

А.К. Хасенов*
ТОО «Energy Partner»
*e-mail: khak@kazep.kz

ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕВОДА АЛМАТИНСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Аннотация. В статье представлен широкий анализ ситуации с загрязнением воздуха и влиянием тепловых станций на окружающую среду. Представлена структура потребления топливных ресурсов, а также анализ основных источников электрической и тепловой энергии в рамках исследования проблемы. Показаны основные источники генерации парниковых газов, к которым относятся энергетика и автомобильный транспорт. В заключении приведен анализ ситуации при замене Алматинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на природный газ.

Показано, что наиболее целесообразно строительство тепловых электростанций, работающих на газе с современным комбинированным парогазовым циклом, который обеспечит производство электроэнергии с КПД более 50 % и обеспечит коэффициент использования топлива в комбинированном производстве тепла и электроэнергии 80 – 85 %. В статье также рассмотрен вопрос модернизации ТОО «АТКЭ», после которой крупные котельные могли бы вырабатывать электроэнергию на базе теплового потребления, при том, что они сжигают природный газ только на нужды теплоснабжения

Ключевые слова: окружающая среда, ТЭЦ, загрязнение, парниковые газы, парогазовые циклы.

Введение. В Алматы высокий уровень загрязнения воздуха, и энергетический комплекс в этом играет не последнюю роль [1, 2]. С расширением границ города в 2014 году ТЭЦ-2 перешла в разряд основных стационарных городских источников выбросов (68 % от общих выбросов стационарных источников). Вопросы экологии для города на сегодняшний день стоят как никогда остро и требуют срочного решения и поиск путей существенного снижения выбросов ТЭЦ-2 является актуальной задачей, так как ТЭЦ-2 является основным энергоисточником города, работая в централизованной системе теплоснабжения совместно с ТЭЦ-1 и ЗТК.

Несмотря на то, что ТЭЦ-3 находится за городом, оно также оказывает влияние на экологическое состояние региона, поэтому необходим поиск решений, который позволил бы существенно уменьшить влияние ТЭЦ-3 на окружающую среду, при этом необходимо учитывать важное значение станции для надежного снабжения региона электрической и тепловой энергиями.

Одним из направлений решения экологических проблем региона является перевод ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 на газ.

Понятно, что перспектива дальнейшего роста мегаполиса, его устойчивости и привлекательности во многом связаны с решением экологических проблем, однако в противовес этому всегда стоит вопрос цены комфортной жизни, решит ли перевод ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 на газ экологические проблемы города, сколько же будет стоить кВт*ч электрической энергии и Гкал тепла для жителей г. Алматы и его пригорода?

Цель данной работы - выяснить, что изменится в работе электростанций, сжигающих Экибастузский уголь, при переводе их на природный газ, выяснить есть ли альтернатива природному газу и будут ли решены экологические проблемы города.

Все данные и значения, представленные в данной работе взяты из открытых источников: публичных отчетов и тарифных смет, размещенных на сайтах компаний и организаций. Также в работе использованы ссылки на публикации, в которых также рассматривались вопросы, связанные с темой настоящей работы.

Для начала попробуем разобраться, кто же обеспечивает город Алматы и его ближайшие

регионы электрической энергией и теплом и в каком объеме, на каком топливе работают энергоисточники г. Алматы.

Основные источники электроэнергии и тепла

Поставщиком электроэнергии является АО «АлматыЭнергоСбыт», которое в свою очередь приобретает электроэнергию у местных электростанций АО «Алматинские электрические станции» (производственные департаменты АО «АлЭС»: ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, Капшагайская ГЭС и Каскад ГЭС, которые обеспечивают 58 % общей потребности в электроэнергии); транспортируемую по системным линиям электропередачи АО «КЕГОС» от АО «Мойнакская ГЭС» – 4 % и от ТОО «Экибастузская ГРЭС-1» в объеме 38 %. Объемы поставки электроэнергии за 2020 год от поставщиков показаны на рисунке 1.

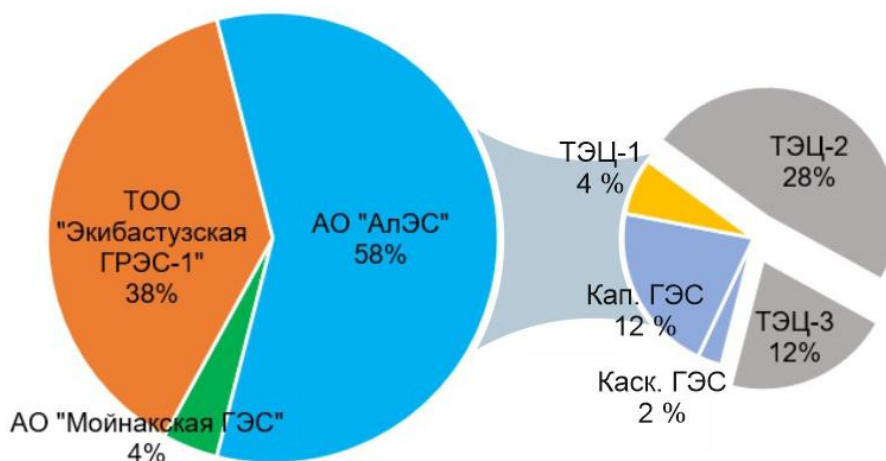


Рисунок 1. Распределение поставки ЭЭ от поставщиков и производителей

Поставщиком тепловой энергии (далее – ТЭ) является ТОО «Алматинские тепловые сети», которое приобретает ТЭ у ТОО «АТКЭ» – 28 % и АО «АлЭС» – 72 %. Объемы поставки за 2020 год от поставщиков тепловой энергии показаны на рисунке 2.

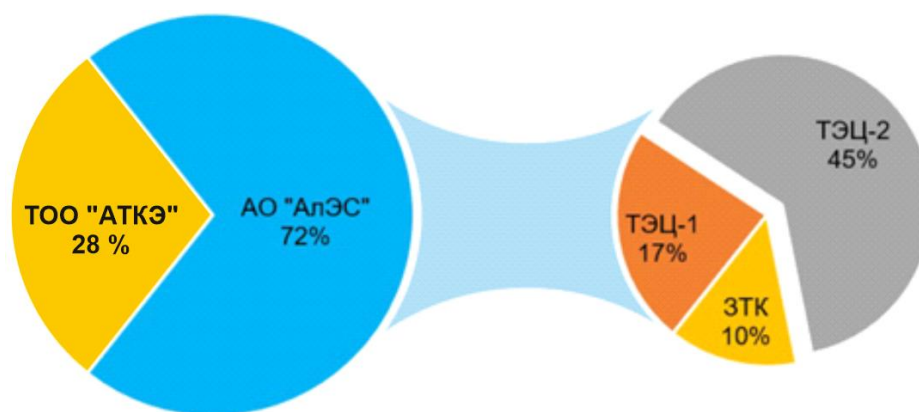


Рисунок 2. Распределение поставки ТЭ от поставщиков и производителей

Из представленных диаграмм видно, что объемы поставки электрической и тепловой энергии от регионального поставщика АО «АлЭС» составляют больше половины всего объема потребления. Внутри же самой компании основной объем производства ЭЭ приходится на производственные подразделения ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, т.е. без работы этих тепловых электростанций обеспечить достаточным количеством электрической и тепловой энергии город Алматы и его пригороды будет невозможно. Выполнить поставку ЭЭ в данный

регион от других электростанций извне нельзя по причине ограниченной пропускной способности линий электропередач АО «KEGOC».

Следует сказать, что ТЭЦ-1 и ЗТК в качестве основного топлива используют природный газ, а в качестве резервного топлива сжигают мазут, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 работают на Экибастузском угле и в качестве растопочного топлива используют мазут (годовое потребление менее 1 % от общего потребления топлива). Котельные ТОО «АТКЭ» на 99 % работают на природном газе и в качестве резервного топлива также используют мазут.

Второй немаловажный вопрос. Какие основные источники загрязнения атмосферного воздуха существуют в городе Алматы и какие источники выбросов парниковых газов являются основными?

Основные источники выбросов парниковых газов в г. Алматы

Объемы образующихся парниковых газов в тоннах CO₂ эквивалента по потребляемым энергоресурсам в городе Алматы, не включая Алматинскую область представлены в таблице 1 [3]. Расчеты проведены только для выбросов CO₂, т.к. данный расчет наиболее прост и не зависит от типа установок, где происходит сжигание энергоресурса (печного или моторного топлива). Расчет по другим компонентам парниковых газов не представляется возможным в виду отсутствия достоверных данных, при том, что их доля незначительна и составляет менее 3 % от общего объема.

Таблица 1. Топливо-энергетический баланс г. Алматы за 2019 год

Топливо-энергетический ресурс	Ед. изм.	Потребление на внутреннем рынке	Выбросы тCO ₂ , тонн	Доля, %
Уголь каменный, включая лигнит	тонн	2 422 200,00	4 240 999,15	47,21
Моторный бензин	тонн	680 300,00	2 111 553,16	23,51
Газ природный	тыс. м ³	656 800,00	1 260 888,32	14,04
Газойли	тонн	277 900,00	876 638,42	9,76
Битум нефтяной и сланцевый	тонн	73 500,00	238 503,13	2,66
Пропан и бутан сжиженный	тонн	60 200,00	179 781,07	2,00
Керосин	тонн	15 300,00	49 250,04	0,55
Мазут топочный	тонн	7 600,00	23 919,23	0,27
Топливо печное бытовое	тонн	300,00	950,31	0,01
Общая сумма		–	8 982 482,84	100,00

В таблице 1 не учтено потребление угля и дров на нужды отопления частных домостроений (0,16 %) из-за отсутствия данных. Следует сказать, что приземные продукты сгорания, которые образуются при сжигании моторного бензина, газойлей, битума нефтяного, пропана и бутана сжиженного, топлива печного бытового составляют 3 407 426,10 тCO₂ в год или 37,93 %.

Доля ТЭЦ-2 в общем объеме выбросов CO₂ в г. Алматы составляет 44,0 %. В целом доля АО «АлЭС» (за вычетом ТЭЦ-3, которая относится к Алматинской области) составляет 50,4 % от всего объема выбросов CO₂ в г. Алматы. Также одним из крупных источников выбросов парниковых газов является транспорт (сжигающий моторный бензин и газойли) с долей 33,2 %. В целом в приземном слое за счет сжигания топливо-энергетических ресурсов, непосредственно на поверхности земли или на небольшой высоте, выбрасывается до 38 % от общих выбросов по г. Алматы.

Здесь необходимо сделать уточнение о разнице между основными источниками выбросов, а именно, между электростанциями и транспортом.

Электростанции, сжигая топливо выбрасывают продукты сгорания через дымовую трубу, высота которой более 100 метров от поверхности земли и основное назначение которой состоит в рассеивании выбросов (золы, оксидов серы, азота и других вредных примесей) на

большой площади с тем расчетом, чтобы концентрации их у поверхности земли были меньше допустимых. Основным фактором, определяющим высоту дымовых труб, является содержание оксидов серы и азота в дымовых газах.

Транспорт в процессе сжигания топлива осуществляет выбросы непосредственно на поверхности земли в зоне области дыхания людей и в безветренной обстановке тяжелые выхлопные газы и продукты сгорания застилают приземную территорию и порой становятся видны невооруженным глазом.

Примерный состав выхлопных газов в зависимости от типа двигателя представлен в таблице 2 [4].

Таблица 2. Состав выхлопных газов автомобильного транспорта

Компонент	Объемная доля в двигателе, %		Токсичность
	бензиновом	дизельном	
Азот, N ₂	74 – 77	76 – 78	Нетоксичен
Кислород, O ₂	0,3 – 8	2 – 18	Нетоксичен
Водород, H ₂	0 – 5,0	–	Нетоксичен
Водяной пар, H ₂ O	3 – 5,5	0,5 – 4	Нетоксичен
Диоксид углерода, CO ₂	5 – 12	1 – 10	Нетоксичен
Оксид углерода (CO – угарный газ)	0,5 – 12	0,01 – 5	Токсичен
Углеводороды C _x H _y	0,2 – 3	0,009 – 0,5	Токсичны
Альдегиды	0 – 2	0,001 – 0,009	Токсичны
Диоксид серы, SO ₂	0 – 0,002	0 – 0,03	Токсичен
Сажа, г/м ³	0 – 0,04	0,1 – 1,1	Канцерогены
Бензапирен, г/м ³	0,01 – 0,02	0 – 0,01	Канцерогены

Большая часть топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР) расходуется на создание комфортных условий в осенне-зимний период на нужды отопления, исходя из чего, распределение потребления ТЭР в течение года имеет неравномерный характер: максимальное потребление в холодный период и минимальное в теплое время года. Оценочный вид потребления основных видов ТЭР представлен на рисунке 3.

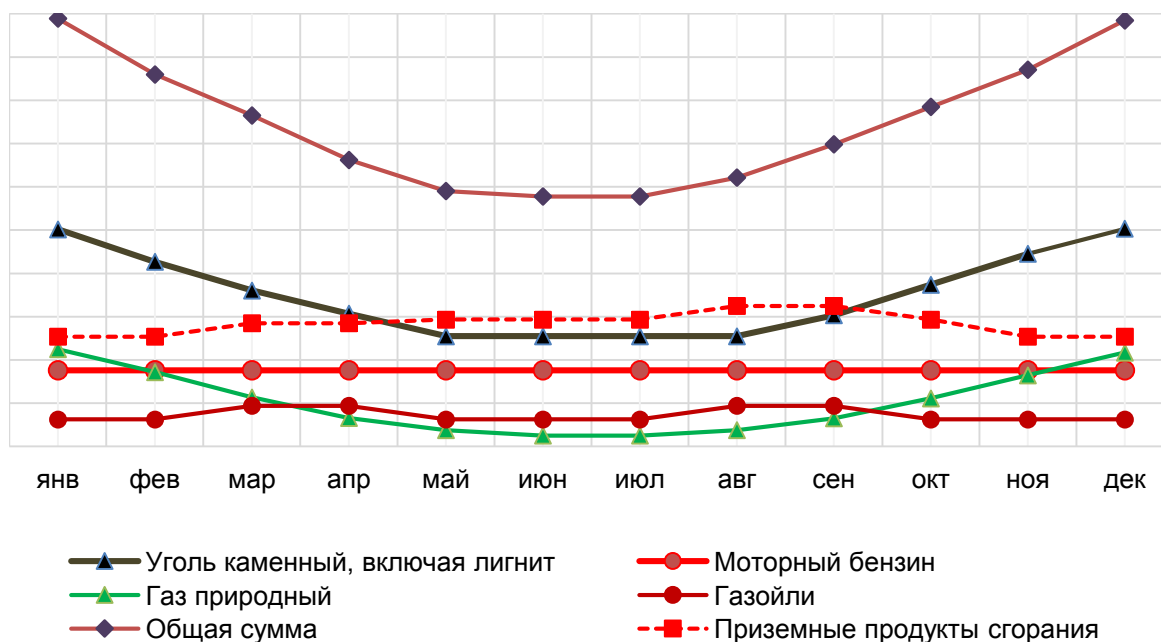


Рисунок 3. Распределение образования выбросов CO₂ в г. Алматы по месяцам года

Следует отметить, что выбросы парниковых газов, несмотря на такое пристальное внимание к ним в последние годы, не являются загрязнителями атмосферы – они нетоксичны. Человек сам генерирует до 1,5 кг углекислого газа в сутки.

Основные источники выбросов вредных веществ в г. Алматы

К основным загрязнителям относятся:

- Твёрдые вещества (зола, пыль) – энергетика и транспорт;
- Сернистый ангидрид – энергетика, транспорт;
- Оксид углерода – энергетика, транспорт;
- Углеводороды – автотранспорт;
- Оксиды азота – транспорт, энергетика.

По расчетам, в 2019 году в атмосферу г. Алматы поступило 144 тысячи тонн загрязняющих веществ. На долю теплоисточников приходится 34 % (ТЭЦ-2 – 26 % и ТЭЦ-3 – 8 %), на автотранспорт – 52 % и частный сектор – 14 %. Всего выбросы в 2019 году по ТЭЦ-2 составили 38 322 тонн.

Попробуем разобраться, в чем разница между природным газом и углем. В процессе окислительных процессов взаимодействия энергетического топлива с кислородом образуются идентичные продукты сгорания: углекислый газ – CO_2 , диоксид серы – SO_2 , водяные пары – H_2O , инертный азот – N_2 , не использованный кислород – O_2 и зола с разным процентным составом в объеме уходящих газов.

От элементного состава энергетического топлива зависит его энергетическая ценность, чем она выше, тем меньшее количество топлива необходимо для выработки одинакового количества тепла. В таблице 3 показан примерный элементный состав энергетических топлив и образующиеся при их окислении продукты сгорания, которые получаются при его сгорании в идеальных условиях с избытком воздуха 1,2 (избыток воздуха необходим для полного сгорания топлива, компенсировать неравномерное смешение топлива и окислителя).

Сравнивая из таблицы 3 значения продуктов сгорания угля и природного газа видно, что на выходе образуются идентичные газы, за исключением появления диоксида серы (SO_2) и золы в случае сжигания угля, а также различным распределением газов в общем объеме дымовых газов.

Кроме того, в зависимости от методов сжигания и при нарушении режима работы котельных установок в процессе сжигания всех видов топлива образуются загрязняющие вещества, такие как: оксиды азота – NO_x , серный ангидрид – SO_3 , угарный газ – CO .

Таблица 3. Элементный состав энергетического топлива и состав продуктов сгорания

Вид топлива	Элементный состав рабочего топлива, %		Теплота сгорания, ккал/кг	Процентный состав продуктов горения, %	
Каменный уголь	Углерод (C^p)	51,89	4 770	Углекислый газ (CO_2)	14,33
	Водород (H^p)	3,41		Диоксид серы (SO_2)	0,05
	Кислород (O^p)	9,37		Влага (H_2O)	8,48
	Азот (N^p)	1,81		Азот (N_2)	73,89
	Сера (S^p)	0,47		Кислород (O_2)	3,26
	Зола (A^p)	26,04		Загрязняющие вещества (зола, оксиды азота)	
	Влага (W^p)	7,00			
Топочный мазут	Углерод (C^p)	84,60	9 400	Углекислый газ (CO_2)	11,78
	Водород (H^p)	10,80		Диоксид серы (SO_2)	0,03
	Кислород (O^p)	0,50		Влага (H_2O)	10,87
	Азот (N^p)	0,40		Азот (N_2)	74,04
	Сера (S^p)	0,50		Кислород (O_2)	3,28

Вид топлива	Элементный состав рабочего топлива, %		Теплота сгорания, ккал/кг	Процентный состав продуктов горения, %	
	Зола (A ^p)	0,20		Загрязняющие вещества (зола, оксиды азота, углеводороды)	
	Влага (W ^p)	3,00			
Природный газ	Метан (CH ₄)	97,00	8 500	Углекислый газ (CO ₂)	7,97
	Этан (C ₂ H ₆)	0,50		Диоксид серы (SO ₂)	0
	Пропан (C ₃ H ₈)	0,30		Влага (H ₂ O)	17,28
	Бутан (C ₄ H ₁₀)	0,10		Азот (N ₂)	71,58
	Пентан (C ₅ H ₁₂)	0,20		Кислород (O ₂)	3,17
	Углекислый газ (CO ₂)	0,10		Загрязняющие вещества (оксиды азота, углеводороды)	
	Азот (N ₂)	0,80			
	Влага (H ₂ O)	1,00			

Диоксид серы SO₂ (третий класс опасности) имеет значительную долю в общем объеме загрязняющих веществ при сжигании угля и мазута, удаляется с дымовыми газами в дымовую трубу. До 10 – 12 % диоксида серы SO₂ улавливается системой мокрого золоулавливания (эмульгаторы, скрубберы). Систем сероочистки, технологический процесс которых состоит из очистки дымового газа водным раствором известняка, в результате чего оксид и диоксид серы превращается в гипс, на ТЭЦ не установлено.

В процессе сжигания угля в топке котла основная часть золы (до 95 %) уносится дымовыми газами, которая в последующем попадает в различные золоулавливающие устройства (далее – ЗУУ) на выходе из котла, после чего очищенные дымовые газы через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу. ЗУУ – это различные технические решения по улавливанию мелких золовых частиц, движущихся в потоке дымовых газов, такие как электрофильтры, мокрые скрубберы, эмульгаторы, рукавные фильтры и т.п. Современные установки ЗУУ достигают эффективности по улавливанию золы из потока до 99,5 %.

В результате чего, вся уловленная в дымовых газах зола и шлак, выпавшей в нижней части топки, отправляется на золоотвал для длительного хранения. Не уловленная зола в количестве 0,47 % от всего объема золы уносится дымовыми газами в дымовую трубу и затем рассеивается в атмосфере. Принципиальная схема очистки дымовых газов представлена на рисунке 4.

Образующиеся золошлаковые отходы (ЗШО) складированы на специальном гидротехническом сооружении-золоотвале, конструкция которого представляет собой огромную чашу в земле, изолированную от земляного слоя различными изоляционными материалами, не позволяющими ЗШО просачиваться в почву. Для строительства золоотвала необходимо отчуждать значительные площади земли, где будет располагаться данное дорогостоящее гидротехническое сооружение, предназначенное для длительного хранения ЗШО.

По мере заполнения золоотвала, когда не остается свободного места для последующего складирования ЗШО, встает вопрос о возможности дальнейшей работы электростанции, так как в отсутствии места хранения ЗШО работа станции на угле не возможна. Данное обстоятельство не допустимо с точки зрения обеспечения надежного тепло- и электроснабжения, в связи с чем встает вопрос необходимости строительства нового золоотвала, что в свою очередь, потребует новых площадей земли и значительных финансовых инвестиций.

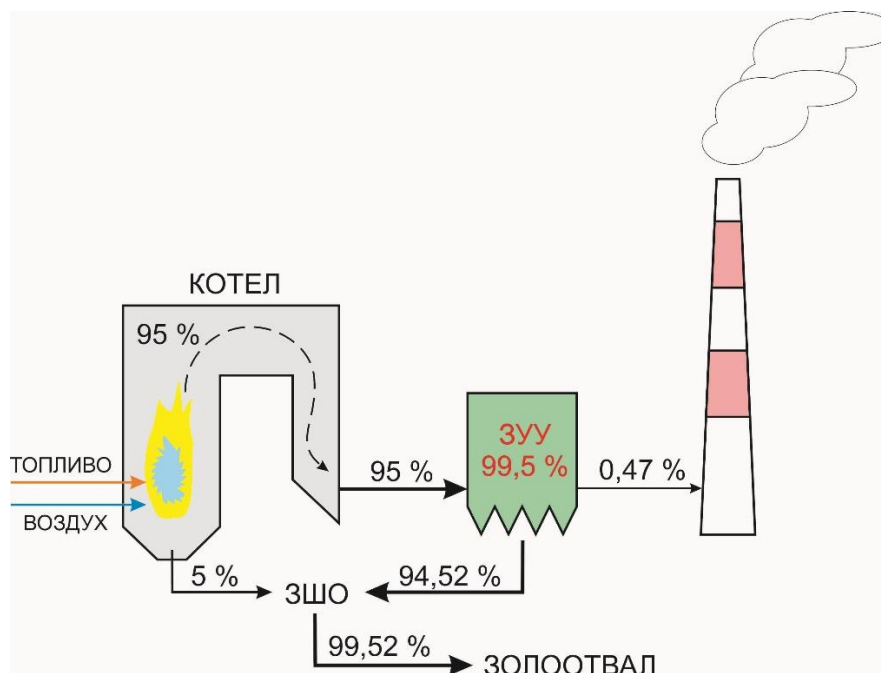


Рисунок 4. Принципиальная схема очистки дымовых газов

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что основное различие между работой электростанции на угле и природном газе является наличие золы в составе угля и значительное количество выбросов SO_2 . Если уменьшить долю золы в угле до минимально возможной величины и установить современную сероочистку, то с определенной оговоркой, можно поставить знак равенства между использованием угля и природного газа.

Сравнение сжигания различных видов топлива и образующихся выбросов парниковых газов и золы, а также площадь отчуждаемых земель представлены в таблице 4.

Калорийность топлива определена исходя из элементного состава на рабочую массу топлива и может отличаться от фактической калорийности поставляемого топлива на электростанцию.

Казахстан присоединился к Рамочной конвенции ООН по изменению климата (далее РКИК ООН) в 1995 году. Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН по изменению климата представляет собой международно-правовой инструмент по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Казахстан ратифицировал Киотский протокол в марте 2009-го. Одним из основных обязательств Республики Казахстан (РК) по РКИК ООН и Киотскому протоколу является ежегодное предоставление Национального доклада о кадастре выбросов ПГ (НДК) в Секретариат РКИК ООН. В соответствии с этим обязательством Казахстан, начиная с 2010 года, ежегодно разрабатывает и предоставляет свой НДК и таблицы общего формата отчетности (ОФО) в Секретариат РКИК ООН.

Национальный доклад о кадастре ПГ РК включает эмиссии шести основных газов с прямым парниковым эффектом (диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ) и гексафторид серы (SF_6)). Дополнительно для некоторых категорий источников проводится оценка эмиссий четырех загрязняющих веществ, являющихся газами с косвенным парниковых эффектом – окиси углерода (СО), окислов азота (NO_x), неметановых летучих органических соединений (НМЛОС) и диоксида серы (SO_2). Они не включаются с общие национальные эмиссии ПГ.

Расчеты объема парниковых газов CO_2 выполнены в соответствии с методическими указаниями № 280-ө от 05 «ноября» 2010 г. по расчету выбросов парниковых газов от тепловых электростанций и котельных (Уровень 1).

• **Технические науки**

Представленные расчеты основываются на том, что электростанции ежегодно производят примерно одинаковое количество электрической и тепловой энергии (которое может незначительно меняться в зависимости от погодных условий и потребности в электроэнергии), для производства которых сжигается Экибастузский уголь и растопочный мазут. Так как представленные виды топлива имеют различную энергетическую ценность, то общий расход топлива представлен в условном топливе (условное топливо с калорийностью 7 000 ккал/кг). В таблице предлагаются несколько альтернатив сжигания Экибастузского угля, которое обеспечивает такое же количество энергии. Удельные показатели электростанций считаются условно постоянными и в дальнейшем не рассматриваются, однако, необходимо помнить, что изменение вида топлива влияет на расход электроэнергии на собственные нужды электростанций, связанные с транспортировкой топлива и его подготовкой для сжигания.

Таблица 4. Расход топлива и образующиеся выбросы при одинаковом режиме работы на разных видах топлива в течении года

Наименование	Объект	Ед. изм.	Условное топливо	Уголь			Природный газ
				Экибастузский (фактический)	Карагандинский (проектный)	Шубаркольский (экспортный)	
Низшая теплота сгорания топлива		ккал/кг; ккал/м ³	7 000	4 447	4 770	6 092	8 538
Расход топлива в год	ТЭЦ-2	тонн/ 10 ³ м ³	1 412 917	2 223 883	2 073 486	1 623 507	1 158 404
	ТЭЦ-3		540 400	850 571	793 049	620 945	443 056
	Сумма		1 953 317	3 074 455	2 866 535	2 244 451	1 601 461
Масса образующихся парниковых газов CO ₂	ТЭЦ-2	тонн		3 948 180	3 948 067	3 897 164	3 143 061
	ТЭЦ-3			1 510 065	1 510 022	1 490 553	1 202 130
	Сумма			5 458 245	5 458 088	5 387 717	4 345 191
Масса образующихся золошлаковых отходов	ТЭЦ-2	тонн		763 667	537 398	97 243	
	ТЭЦ-3			292 081	205 539	37 193	
	Сумма			1 055 748	742 937	134 436	
Выбросы золы через дымовую трубу	ТЭЦ-2	тонн		3 606	2 538	459	
	ТЭЦ-3			1 379	971	176	
	Сумма			4 985	3 508	635	
Отвод земли под золоотвал на 50 лет работы (средняя глубина 8,5 м)	ТЭЦ-2	га		225	158	29	
	ТЭЦ-3			86	60	11	
	Сумма			311	219	40	

Проектным топливом для Алматинских ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 является карагандинский уголь с зольностью (A^p) до 26,0 % и низшей теплотой сгорания ($Q_{н^p}$) 4 770 ккал/кг, однако, из-за более высокой цены выше озвученные станции были переведены на сжигание более дешевого Экибастузского угля с зольностью (A^p) от 34,5 % и выше и низшей теплотой сгорания ($Q_{н^p}$) до 4 447 ккал/кг.

Обратный перевод станций на проектное топливо улучшит ситуацию, расход топлива уменьшится на 7 %, объем образующихся золошлаковых отходов уменьшится на 30 %, но масса образующихся парниковых газов останется такой же, сравнительный анализ представлен в таблице 5.

Одновременно это позволит увеличить располагаемую мощность ТЭЦ-2, т.к. при сжигании экибастузского угля производительность котлов сократилась 10 %. Переход на проектное топливо не потребует финансовых затрат на модернизацию технологического оборудования, но увеличит расходы на топливо. При этом необходимо понимать ситуацию, что строительство золоотвала довольно затратное мероприятие и уменьшение в долгосрочной перспективе затрат на его строительство, а равно как и заполнение позволит уменьшить расходы на амортизационные отчисления.

Для оценки возможности замены природного газа, рассмотрим ситуацию сжигания на электростанциях перспективного малозольного Шубаркольского угля, отправляемого на экспорт в другие станы с зольностью (A^p) 6,0 – 15,0 % и низшей теплотой сгорания ($Q_{н^p}$) 6 092 ккал/кг.

Таблица 5. Сравнительный анализ перевода с Экибастузского на Карагандинский уголь

Наименование	Ед. изм.	Уголь		Изменение ситуации
		Экибастузский (фактический)	Карагандинский (проектный)	
Расход топлива в год	тонн	3 074 454,71	2 866 535,10	- 6,8 %
Масса образующихся парниковых газов CO ₂	млн. нм ³	5 458 244,52	5 458 088,08	0,0 %
Масса образующихся золошлаковых отходов	тонн	1 055 747,55	742 937,44	- 29,6 %
Выбросы золы через дымовую трубу	тонн	4 985,45	3 508,29	- 29,6 %
Отвод земли под золоотвал на 50 лет работы (средняя глубина 8,5 м)	га	310,51	218,51	- 29,6 %

Перевод станций на перспективное топливо существенно улучшит ситуацию, расход топлива уменьшится на 27 %, объем образующихся золошлаковых отходов уменьшится на 87 %, масса образующихся парниковых газов практически не изменится, сравнительный анализ представлен в таблице 6.

Таблица 6. Сравнительный анализ перевода с Экибастузского на Шубаркольский уголь

Наименование	Ед. изм.	Уголь		Изменение ситуации
		Экибастузский (фактический)	Шубаркольский (экспортный)	
Расход топлива в год	тонн	3 074 454,71	2 244 451,36	- 27,0%
Объем образующихся парниковых газов	млн. нм ³	5 458 244,52	5 387 716,61	- 1,3%
Золошлаковые отходы	тонн	1 055 747,55	134 436,25	- 87,3%
Выбросы золы через дымовую трубу	тонн	4 985,45	634,83	- 87,3%
Отвод земли под золоотвал на 50 лет работы	га	310,51	39,54	- 87,3%

Сжигание угля с малой зольностью и более высоким выходом летучих газов, потребует проведения наладочно-испытательных работ, обучение персонала по работе с данным топливом, а также модернизацию системы пожарной сигнализации и пожаротушения. Безусловно стоимость перспективного топлива выше стоимости Экибастузского угля и это увеличит расходы на топливо. Как было сказано выше, уменьшение объема ЗШО потребует значительно меньших затрат на строительство золоотвала и меньшего отчуждения земель близ крупного мегаполиса.

Изменение зольности угля влияет на удельные выбросы от электростанции. Замена угля на малозольный позволит приблизиться к удельному показателю соответствующего для большинства европейских станций работающих на угле. Сравнение удельных выбросов по углям показано в таблице 7.

Таблица 7. Удельные выбросы золы в атмосферу воздуха, кг/т у.т.

Объект	Условное топливо, т у.т.	Выбросы золы через дымовую трубу для углей, кг		
		Экибастузский (фактический)	Карагандинский (проектный)	Шубаркольский (экспортный)
ТЭЦ-2	1 412 917,00	3 606,18	2 537,70	459,20
ТЭЦ-3	540 400,00	1 379,26	970,6	175,63
Сумма	1 953 317,00	4 985,45	3 508,29	634,83
Удельные выбросы, кг/т у.т.		2,55	1,80	0,33

С целью улучшения экологической ситуации в городе Алматы и его прилегающих территориях компанией АО «АлЭС» прорабатывается вопрос замены основного топлива угля на природный газ для станций низшей теплотой сгорания ($Q_{н^p}$) 8 540 ккал/тыс. м³. В мире существует достаточно много примеров перевода котлов на газ [5,6,7,8,9].

Перевод станций на сжигание природного газа существенно улучшит ситуацию, сравнительный анализ представлен в таблице 8, где можно увидеть, что расход топлива уменьшится в половину, объем парниковых газов сократится на 20 %. Выбросы загрязняющих веществ снизятся на 70 – 80 %.

Таблица 8. Сравнительный анализ перевода с Экибастузского угля на природный газ

Наименование	Ед. изм.	Экибастузский (фактический) уголь	Природный газ	Изменение ситуации
Расход топлива в год	тонн/тыс. м ³	3 074 454,71	1 601 460,56	- 47,9 %
Объем образующихся парниковых газов	млн. нм ³	5 458 244,52	4 345 191,21	- 20,4 %

Ко всему вышесказанному по части перевода станций на сжигание природного газа необходимо добавить следующее, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 не имеют технологического оборудования для сжигания газа, также отсутствуют газораспределительные пункты и магистральные газопроводы к электростанциям. Имеется ряд технических ограничений для ТЭЦ-2, главный корпус электростанции частично размещен под землей на глубину минус 12,0 м. Данное обстоятельство создает угрозу для персонала при появлении утечки газа, тяжелые компоненты газа, содержащиеся в природном газе, такие как пропан, бутан, углекислый газ и т.д. тяжелее воздуха будут скапливаться в нижней точке главного корпуса. Горючие компоненты могут образовывать взрывоопасные смеси, а инертные и токсичные приводить к отравлениям и удушью персонала.

Строительство необходимой инфраструктуры потребует значительных финансовых расходов, которые через амортизационные отчисления лягут в тариф на электрическую и тепловую энергию. Также оператору АО «КазТрансГаз» необходимо ежегодно выделять объем природного газа для электростанций в объеме 1,6 млрд. м³, при том, что стоимость газа в несколько раз выше стоимости угля и эти расходы безусловно будут перенесены на плечи потребителей, т.к. это рыночные взаимоотношения между поставщиком и потребителем, а участие государства по компенсации стоимости газа маловероятно.

Раскрывая вопрос поставки природного газа в южный регион, можно отметить, что АО «КазТрансГаз» является газотранспортной компанией РК и обеспечивает международный транзит и занимается продажей газа на внутреннем и внешнем рынках. АО «КазТрансГаз» обеспечивает транзит туркменского и узбекского газа в Китайскую Народную Республику (далее КНР) по транснациональному газопроводу «Центральная Азия – Китай» с пропускной способностью трех линий в 55 млрд. м³ газа в год. Введенный в 2017 году в эксплуатацию газопровод «Бейнеу-Бозой-Шымкент» соединил в единую газотранспортную систему все магистральные газопроводы РК, после чего Казахстан начал экспортировать свой газ с месторождений Тенгиз, Кашаган и Жанажол в КНР.

Нынешняя ситуация с эпидемией Covid-19 немного снизила объемы потребления природного газа в КНР, но в будущем с восстановлением производств, объем потребления будет только расти, на сегодняшний день стоимость экспортного газа РК для Китая 162 \$/тыс. м³, при том, что стоимость природного газа на внутреннем рынке составляет 74,7 \$/тыс. м³ (31 990,00 тенге/тыс. м³). Из чего можно сделать вывод, что перенаправление газа с экспорта на внутренний рынок на нужды энергетического сектора будет приводить к потере экспортной прибыли РК в размере 87,2 \$ с каждой тыс. м³ (порядка 48 млрд. тенге в год).

Для оценки влияния на потребителя изменения вида топлива на ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 оценим изменения тарифа на электрическую энергию и тепловую энергию для конечного потребителя. Расчеты будут производиться интерполяцией между разными режимами работы исходя из данных собранных с открытых источников размещенных на сайтах компаний производителей и поставщиков электрической и тепловой энергии.

Прогнозы выполнены на базе отчетов за 2020 год из расчета, что производится замена топлива и как следствие изменяются общие затраты при одинаковом отпуске продукции, тогда как другие статьи расхода остаются неизменными, неизменными остаются объем отпуска от АО «АлЭС» в общем объеме производства, а также тарифы других поставщиков и производителей электрической и тепловой энергии. Прогнозы изменения тарифа представлены в таблице 9. Для наглядности все значения отнесены на затраты и стоимость фактического топлива, сжигаемого на ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 (Экибастузского угля).

Предположим, что электростанции ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 перевели со сжигания Экибастузского угля на газ и что изменилось?

Компания АО «АлЭС» получила все необходимые разрешения и нашла ответы на неразрешимые технические вопросы, инвестировала существенные денежные средства в инфраструктуру по доставке и сжиганию природного газа на станциях, при этом использовала в меньшей степени собственные средства, в большей степени заемные средства под определенные проценты по кредиту, ссуде или государственные средства. С учетом более высокой стоимости природного газа в сравнении с ценой на угли общие затраты увеличились. Стоимость отпускного тарифа на электрической и тепловой энергии от АО «АлЭС» повысилась.

Таблица 9. Прогноз изменения стоимости электроэнергии и тепла для конечного потребителя при замене текущего топлива на ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, при прочих неизменных затратах и объемах производства электроэнергии и тепловой энергии

Наименование	Уголь			Природный газ
	Экибастузский (фактический)	Карагандинский (проектный)	Шубаркольский (экспортный)	
Стоимость топлива за тонну (тыс. м ³), отнесенная к стоимости экибастузского угля	1,00	2,73	4,23	6,99
Себестоимость на отпуск электроэнергии				
ТЭЦ-2	1,00	1,28	1,49	1,59
ТЭЦ-3	1,00	1,45	1,79	1,95
Отпускной тариф ЭЭ «АлЭС»	1,00	1,26	1,46	1,55
Стоимость электроэнергии от АО «АлматыЭнергоСбыт»	1,00	1,08	1,15	1,18*
Себестоимость на отпуск тепла				
ТЭЦ-2	1,00	1,83	2,48	2,77
ТЭЦ-3	1,00	1,90	2,61	2,91
Отпускной тариф ТЭ «АлЭС»	1,00	1,34	1,60	1,71
Стоимость тепловой энергии от АО «Алматинские тепловые сети»	1,00	1,15	1,27	1,32*

Примечание: Расчеты выполнены на базе открытых источников размещенных на сайтах производителей и поставщиков электроэнергии и тепла, недостающие сведения найдены методом интерполяции. Расчеты могут иметь отклонения от действительных значений, которые могут определяются изменением цены на энергоносители, изменения объемов производства и как следствие удельных показателей, а также не учитываются () капитальные затраты и инвестиции которые потребуются для строительства новой инфраструктуры для возможности работы ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 на природном газе.*

Что получила компания АО «АлЭС»: замену основного топлива для электростанций ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, снижение удельных расходов на собственные нужды из-за исключения затрат на транспортировку и подготовку угля к сжиганию; повысилась пожароопасность. Теперь вместо угля резервным топливом будет выступать мазут и его объемы хранения и сжигания возрастут, т.к. при перерывах в газоснабжении предприятие должно работать непрерывно.

Золотые отходы в большей степени исключены, в результате чего можно отказаться от золоотвалов, золу, лежащую на золоотвале, накрывают гидроизоляционными материалами, а сверху накрывают плодородным слоем земли, территория облагораживается и возвращается в земельный фонд государства.

Объем образующихся парниковых газов уменьшился на 20 %, что дает компании возможность выработать большее количество продукции и выбрать разрешенную квоту на выбросы парниковых газов до разрешенного лимита, в результате объем парниковых газов останется на том же уровне, что и раньше, при этом увеличится объем электро- и тепловой энергии с более высокой себестоимостью, что будет безусловно замещать менее дорогую электроэнергию от Экибастузской ГРЭС-1 транспортируемой с севера РК, в результате средневзвешенный тариф на ЭЭ для конечного потребителя возрастет. В объеме поставки тепла компания занимает 72 %, при росте ее тарифа на тепло конечный тариф будет повышаться существенно.

АО «АлЭС» имеет в своем составе основное оборудование (котлы, турбины) срок службы которого в скором времени достигнет предела и эксплуатация которого будет невозможна и уже сейчас необходимо продумывать вопрос последовательной замены исчерпавшего срок службы на новое оборудование, но это очень капиталоемкое и дорогостоящее оборудование, затраты на приобретение и установку которого также осуществляется через тариф на основную продукцию.

Значительный объем инвестиций направлен на строительство инфраструктуры для возможности работы ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 на газе и вливание дополнительных финансовых расходов на решение ключевой задачи по обновлению активов будет восприниматься критически и не найдет поддержки заинтересованных сторон, что усугубит финансовую ситуацию компании.

Что получили жители г. Алматы: Увеличение стоимости базовых товаров, таких как электроэнергия и тепловая энергия приведет к каскадному увеличению стоимости всех товаров и услуг, увеличится плата за коммунальные услуги.

И при этом остается вопрос, достигнут эффект, ради чего все затевалось? Много вероятно нет и причиной тому то, что ключевой источник загрязнения – транспорт (33,2 % от общего объема выбросов парниковых газов и 52 % выбросов загрязняющих веществ), который производит выхлопы на уровне дыхания людей остался без изменения. Продукты сжигания от электростанций за счет рассеивания в верхних слоях атмосферы достигая уровня земли имеют меньшее значение чем предельно допустимая концентрация для различных газов и отходов и человеком не воспринимается, как что-то существенное.

В итоге жители задаются все большим количеством вопросов, как же получилось, что стоимость жизни в городе возросла, а качество жизни практически не изменилось?

Что получают местные исполнительные органы г. Алматы: увеличение бюджетных расходов на содержание ведомственных и государственных объектов. Снижение доходов от экспорта газа в КНР. Не решенный вопрос энергетической безопасности региона, в связи увеличением износа и последовательным выбытием электрической и тепловой мощности генерирующих источников.

Как же повысить качество жизни, что бы эффект был ощутим? В этой ситуации наиболее эффективным будет исключение или удаление основного источника загрязнения от жителей, данный сценарий безусловно не достигим, но уменьшить объем производимых транспортом выбросов в непосредственной близости от людей возможен.

Пути решения данного вопроса уже в процессе реализации, часть необходимо реализовать, повторим их еще раз:

- Транзитный транспорт, движущийся через город, должен объезжать по объездным дорогам;
- Дальнейшее развитие общественного транспорта, последовательный перевод на газообразное топливо и увеличение доли электрифицированного транспорта;
- Уменьшить количество легкового транспорта пересадив большую часть пассажиров в общественный транспорт;
- Развитие метрополитена в г. Алматы;
- Развитие станций заправок компримированным газом и обеспечением их достаточным количеством газа;
- Популяризация электрифицированного транспорта, повсеместное строительство станций зарядки электрифицированного транспорта;
- Создание выделенных полос общественного транспорта на всех основных маршрутах его движения, повысить ответственность водителей за нарушение ПДД при блокировании движения общественному транспорту;
- Перераспределение общественного транспорта в часы пик на ключевые направления движения людей;

• Технические науки

- Прогрессивный контроль на токсичность автотранспорта по мере его старения;
- Повысить качество дорог;
- Осуществлять контроль качества топлива, реализуемого на пунктах автозаправки;
- Восстановление тротуаров вдоль проезжей части, пешеходных улиц;
- Перевести частные домостроения на сжигание природного газа.

Как видно, ничего нового, но решение данных вопросов не простая задача, т.к. нельзя принуждать или запрещать, эти методы не популярны и никогда не найдут поддержки от жителей города. Единственный путь – это создание благоприятной альтернативы.

Каждый житель города Алматы, знает, что в будние дни начинается бесконечная миграция огромных масс людей из спальных районов и пригорода Алматы к месту работы людей, а вечером начинается обратное движение. На помощь для решения данного вопроса из Алматинской и других областей приезжает большое количество частного изношенного транспорта, чья экологическая безопасность вызывает сильную озабоченность.

Огромные потоки машин часами движутся к месту назначения, при том, что данное расстояние машина может преодолеть за десятую часть времени, которое тратится в действительности. Все это время машина движется чуть быстрее скорости велосипедиста и сжигает большое количество моторного топлива, которое создает дискомфорт в виде загазованного воздуха.

При этом практически все отмечают, что в легковом транспорте находится 1 или 2 человека, т.е. заполнение не превышает 30 %. Так почему же этих людей нельзя пересадить в общественный транспорт? Все эти люди хотят быстрее добраться до места назначения и не беспокоиться о поиске места парковки. Единственное что их удерживает от предпочтения общественного транспорта это в большей степени комфорт, который они ощущают во время движения, отсутствие стесненных обстоятельств и т.п.

Оценим, как изменится ситуация если людей пересадить с легкового авто на общественный транспорт. Сравнение представлено в таблице 10.

Таблица 10. Сравнение общественного и легкового транспорта

Наименование	Ед. изм.	Автобус	Автомобиль
Количество перевозимых людей	человек	50	1,5
Расход топлива на 100 км, в городском режиме	литров	35,0	9,5
Количество транспорта для перевозки 50 человек	единиц	1,0	33,0
Общий расход топлива на 100 км	литров	35,0	313,5

Из представленной таблицы видно, что потребление топлива уменьшилось почти в 9 раз. Допустим, что это произошло и 70 % людей предпочло пересесть на общественный транспорт, 30 % легкового транспорта осталось (службы доставки, такси и т.п.), тогда возможный эффект – это уменьшение объема потребления моторного бензина с 680,3 тыс. тонн до 257,0 тыс. тонн, т.е. произойдет сокращение в 2,6 раза, на эту же величину уменьшатся выбросы парниковых газов и других производных. В результате доля выбросов транспорта уменьшится почти в два раза с 33,2 % до 18,6 %.

Что бы это стало возможным, необходимо создать комфортные условия, а именно достаточное количество транспорта в часы пик по ключевым направлениям. На сегодняшний день жители города видят, что общественный транспорт в часы пик движется гораздо быстрее чем легковые автомобили за счет выделенных полос, но количество общественного транспорта недостаточно и они всегда перегружены людьми, что не повышает мотивацию людей имеющих личный транспорт пересаживаться в общественный. В условиях ограниченного количества парка общественного транспорта единственным путем решения проблемы является рациональная диспетчеризация, перераспределение в часы пик с менее загруженных участков на ключевые направления.

Данная статья на основе статистических отчетов, предлагает шире взглянуть на текущую экологическую ситуацию в городе и понять, что же в итоге мы можем получить и удовлетворит ли это наши ожидания?

Выводы:

По моему мнению изначально спроектированные станции для работы на угле, должны остаться таковыми, но в условиях повышения экологических требований следует рассмотреть вопрос перевода станций на сжигание углей с минимальным содержанием золы и установкой системы сероочистки на уходящих дымовых газах, а также оптимизировать их работу.

Существующее оборудование котлы и турбины, установленные на ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 в скором времени, исчерпают свой ресурс и в этой связи встанет ключевым вопрос, что делать дальше? Производить замену котлов и турбин на новые, как правило более эффективные в том же самом здании и на том же месте или же все-таки строить новые электростанции? Безусловно ответом будет являться стоимость строительства электростанции и себестоимость продукции. Вынос электростанции за пределы города положительно скажется на экологичности, но при этом необходимо помнить, что чем больше длина теплотрассы, соединяющая станцию и город, тем выше гидравлические потери на перекачку теплоносителя и потери тепла от рассеивания через наружную изоляцию трубы. Иными словами, станцию можно выносить дальше за пределы города, но до определенного предела, который определяется экономической эффективностью системы теплоснабжения.

Наиболее целесообразно строительство тепловых электростанций, работающих на газе с современным комбинированным, парогазовым циклом, который обеспечит производство электроэнергии с КПД более 50 % и обеспечит коэффициент использования топлива в комбинированном производстве тепла и электроэнергии 80 – 85 %.

Наряду с вопросом перевода ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 на газ необходимо рассмотреть вопрос модернизации ТОО «АТКЭ», после которой крупные котельные могли бы вырабатывать электроэнергию на базе теплового потребления, при том, что они сжигают природный газ только на нужды теплоснабжения. Сейчас это повсеместно решают установкой газовых турбин с котлами утилизаторами, в итоге ТОО «АТКЭ» сжигая природный газ, кроме тепловой энергии будет производить электроэнергию, что положительно скажется на экономичности и надежности электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кибарин А.А. Огай В.Д., Торгаев А., Галиев Р.А. К вопросу о переводе Алматинской ТЭЦ-2 АО «АлЭС» на газ//В кн.: Экология в энергетике. - Москва: ВТИ, 2019. - С. 57-62.
- [2] Коробков М.С., Бахтыбаева Г.К., Олжабаев М.С. возможности снижения негативного влияния ТЭЦ-2 АО «АлЭС» на экологию г.Алматы при работе по тепловому графику// OPEN INNOVATION: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – С.27-32.
- [3] Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 273 с.
- [4] Методические указания № 280-9 от 05 «ноября» 2010 г. по расчету выбросов парниковых газов от тепловых электростанций и котельных. Уровень 1.
- [5] Jing Zhao, Yaoqi Duan, Xiaojuan Liu, ‘Study on the policy of replacing coal-fired boilers with gas-fired boilers for central heating based on the 3E system and the TOPSIS method: A case in Tianjin, China’, *Energy*, 189, 2019, p116206.
- [6] Ya Lan Ye, Hong Ming Wang, Xiang An, ‘Calculation Method of Pulverized Coal Mass Flow Into Coal and Gas Dual-Fired Boiler’, *Procedia Computer Science*, 154, 2019, p838-844.
- [7] Hao Zhang, et. al., ‘Waste heat recovery from coal-fired boiler flue gas: Performance optimization of a new open absorption heat pump’, *Applied Thermal Engineering*, 183 (1), 2021, p116111.
- [8] Dušan Strušnik, et. al., Optimisation of an old 200 MW coal-fired boiler with urea injection through the use of supervised machine learning algorithms to achieve cleaner power generation, *Journal of Cleaner Production*, 290, 2021, p125200.

[9] Hsi-Hsien Yang, et. al., Comparative investigation of coal- and oil-fired boilers based on emission factors, ozone and secondary organic aerosol formation potentials of VOCs, *Journal of Environmental Sciences*, 92, 2020, p245-255

А.К. Хасенов*
«Energy Partner» ЖШС
*e-mail: khak@kazep.kz

АЛМАТЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫН ТАБИҒИ ГАЗҒА АУЫСТЫРУ ПЕРСПЕКТИВАСЫ

Аннотация. Мақалада ауаның ластануы және жылу станцияларының қоршаған ортаға әсері туралы кең талдау берілген. Отын ресурстарын тұтыну құрылымы, сондай-ақ мәселені зерттеу аясында электр және жылу энергиясының негізгі көздерін талдау ұсынылған. Парниктік газдарды өндірудің негізгі көздері, яғни энергетика және автомобиль көлігі көрсетілген. Қорытындыда, Алматы қаласының ЖЭО-1 және ЖЭО-2 табиғи газға ауыстыру кезіндегі жағдайға талдау жасалған.

Тиімділігі 50 % – дан асатын электр энергиясын өндіруді қамтамасыз ететін және жылу мен электр энергиясын аралас өндіруде отынды пайдалану коэффициентін 80-85 % қамтамасыз ететін заманауи аралас бу-газ циклімен, газбен жұмыс істейтін жылу электр станцияларын салу аса орынды екендігі көрсетілген. Мақалада сондай-ақ "АЖЖЭ" ЖШС жаңғырту мәселесі қарастырылған, яғни жаңғырту нәтижесінде табиғи газды тек жылумен жабдықтау қажеттіліктері үшін ғана жағатын болса, ірі қазандықтар жылу тұтыну негізінде электр энергиясын өндіре алар еді.

Негізгі сөздер: қоршаған орта, ЖЭО, ластану, парниктік газдар, бу-газ циклдері.

А.К. Khassenov *
LLP «Energy Partner»
*e-mail: khak@kazep.kz

THE PROSPECT OF CONVERTING ALMATY POWER PLANTS TO NATURAL GAS

Abstract. The article presents a broad analysis of the situation with air pollution and the impact of thermal power plants on the environment. The structure of fuel consumption is presented, as well as an analysis of the main sources of electrical and thermal energy in the framework of the study of the problem. The main sources of greenhouse gas generation, which include energy and road transport, are shown. In conclusion, an analysis of the situation when replacing Almaty CHP-1 and CHP-2 with natural gas is given.

It is shown that it is most expedient to build thermal power plants running on gas with a modern combined cycle, combined cycle, which will provide electricity production with an efficiency of more than 50% and provide a fuel utilization factor in combined heat and electricity production of 80-85%. The article also discusses the issue of modernization of ATKE LLP, after which large boiler houses could generate electricity based on thermal consumption, despite the fact that they burn natural gas only for the needs of heat supply.

Keywords: Environment, CHP, pollution, greenhouse gases, combined-cycle gas cycles.