

Сжигание газового топлива как один из методов сокращения вредных выбросов в атмосферу

¹АСКАРОВА Алия Сандыбаевна, д.ф.-м.н., профессор, aliya.Askarova@kaznu.kz,

¹БОЛЕГЕНОВА Салтанат Алихановна, д.ф.-м.н., доцент, saltanat.Bolegenova@kaznu.kz,

¹МАКСИМОВ Валерий Юрьевич, PhD, доцент, valeriy.Maximov@kaznu.kz,

¹*КАМЕНСКИХ Александра Вячеславовна, магистрант, alex.sbb98@gmail.com,

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Казахстан, 050040, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможных методов снижения негативного воздействия основных энергетических объектов тепловых электростанций на окружающую среду. В статье рассмотрена история развития использования углеводородного топлива с вытекающими последствиями для окружающей среды и человечества. Предложено оптимальное решение для снижения количества вредных выбросов при сжигании органического топлива, а именно переход с угольного топлива на природный газ. Проведена графическая интерпретация полученных с помощью компьютерного эксперимента основных характеристик процесса теплопереноса в виде двумерных и трехмерных графиков, в зависимости от высоты топочной камеры и на выходе из нее. В работе также показаны области минимальной и максимальной концентрации вредных продуктов сжигания природного газа, проведено сравнение с предельно допустимыми концентрациями, принятыми в Республике Казахстан.

Ключевые слова: углеводородное топливо, загрязнение атмосферы, вредные выбросы, природный газ, экспериментальная установка, 3D-моделирование, оксид углерода CO_2 , диоксид азота NO_2 , распределение скорости, распределение температуры, предельно допустимая концентрация.

Введение

Загрязнение окружающей среды и глобальное потепление – суровые и честные реалии 21 века. Продолжающаяся зависимость от ископаемого топлива и отсутствие альтернативных источников зеленой энергии берут свое. Таяние ледяных шапок и постоянно растущий список исчезающих видов подтверждают чрезмерное использование природных и драгоценных ресурсов Земли и злоупотребление ими. Перенаселение, перепроизводство и чрезмерное потребление виноваты в нынешнем состоянии нашей планеты. Важно понимать, почему изменение климата является проблемой, но еще важнее знать способы, как именно возможно снизить уровни загрязнения окружающей нас среды, сократить выбросы парниковых газов и уменьшить объемы использования токсичных химикатов во всем мире [1].

Постановка задачи

В настоящее время самым актуальным видом органического топлива остается уголь. Доля использования угля в мировой энергетике находится на уровне 30%. В Казахстане процент потребления угольного топлива для выработки электроэнергии составляет 76% [2-4].

По данным мирового обзора энергетики

(Statistical Review of World Energy) за 2020 год, Казахстан разместился на 10 месте в мире по объемам доказанных мировых запасов угля.

Согласно прогнозам экспертов, разведанных запасов угля в нашем государстве насчитывается 25 млрд 605 миллионов тонн или 2,4% от общемировых запасов. Всего же считается, что во всем мире имеется около 1,1 трлн тонн запасов угля [5, 6].

В то же время энергетический сектор относится к одному из главных источников загрязнения воздуха. При горении угля химические связи, удерживающие его атомы углерода, разрываются, высвобождая энергию. Однако происходят и другие химические реакции, многие из которых переносят в окружающую среду токсичные загрязнители и тяжелые металлы.

К таким загрязнителям воздуха относят:

1. Ртуть. На угольные предприятия приходится 42% выбросов ртути в мире токсичного тяжелого металла, который может повредить нервную, пищеварительную и иммунную системы и представляет серьезную угрозу для развития ребенка. Считается, что для того, чтобы сделать добытую из озера рыбу непригодной и опасной для жизни человека, необходимо всего лишь 0,014 чайной ложки Hg, попавшей в это озеро, имеющее пло-

щадь 10 гектаров.

2. Диоксид серы (SO_2). Диоксид серы (SO_2) образуется, когда сера в угле реагирует с кислородом, SO_2 соединяется с другими молекулами в атмосфере с образованием небольших кислых частиц, которые могут проникать в легкие человека. Вследствие чего у человека могут начать развиваться симптомы респираторных заболеваний наподобие астмы или бронхита. Кроме того, появление смога и кислотных дождей также связаны с загрязнением атмосферы оксидами серы, которые наносят ущерб посевам и другим экосистемам, а также подкисляют озера и реки.

3. Оксиды азота (NO_x). К одной из первостепенных причин формирования в слоях атмосферы фотохимического смога относят выбросы NO_x , которые помимо прочего наносят непоправимый ущерб как окружающей среде, так и сильнейший вред человеку, а именно оксиды азота даже в небольших концентрациях раздражают легочную ткань, обостряют астму и делают людей более восприимчивыми к хроническим респираторным заболеваниям, таким как пневмония и грипп.

4. Твердые частицы. Более известное как «сажа», это пепельно-серое вещество в угольном дыме, вызывающее обострение астмы, хронический бронхит, сердечно-сосудистые заболевания нервной системы, способно даже спровоцировать преждевременную смерть.

К прочим вредным загрязнителям угольной промышленности можно отнести также свинец, кадмий и другие тяжелые металлы, мышьяк, летучие органические соединения (ЛОС), образующие озоновый слой, а также окиси углерода (CO и CO_2), которые в свою очередь вызывают головные боли и создают дополнительную нагрузку на людей с сердечными заболеваниями.

Помимо этого, выбросы углекислого газа (CO_2), являющиеся основным побочным продуктом сжигания угля, приводят к повышению средней температуры окружающей среды, тем самым вызывая глобальное потепление. На каждый грамм сжигаемого углерода образуется около 4 граммов CO_2 (в зависимости от вида угля, в нем может содержаться от 60 до 80% углерода).

В связи с чем в настоящее время остро стоит вопрос о сокращении количества вредных выбросов в атмосферу, в частности, в нашем государстве. Например, Казахстан, являясь одним из полноправных участников мирового сообщества, возложил на себя обязательства по выполнению задач, озвученных в повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Здесь освещаются 17 основных целей, которые направлены на ликвидацию бедности, борьбу с неравенством и несправедливостью, а также решение проблем, связанных с климатическими изменениями. Как известно, Казахстан, подписав в 2016 году Парижское соглашение, присоединился к 193 другим странам, поставив при этом перед собой задачу не допустить увеличения средней температуры на

нашей планете более чем на 2 градуса по Цельсию и в целом сократить выбросы вредных веществ, снизив техногенную нагрузку на окружающую среду [7].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что необходимо как можно скорее акцентировать пристальное внимание на проблемах инновационного сектора, и в первую очередь, конечно же, в области технического улучшения предприятий отраслей теплоэнергетики.

Методика решения поставленной задачи

Среди многообразия всевозможных методов решения данной проблемы был выбран актуальный на сегодняшний день для Казахстана способ сокращения количества вредных выбросов от теплоэнергетических установок в атмосферу, реализованный к настоящему времени на многих энергетических объектах нашей страны, а именно перевод тепловых электростанций с угля на газ путем реконструкции действующих энергетических котлоагрегатов.

Так, например, в городе Алматы уже несколько лет решается вопрос о модернизации ТЭЦ-2 в Бурундае. Уже в марте – апреле 2022 года в соответствии с графиком намечается начало строительных работ на площадке ТЭЦ-2, а ввести первый блок станции на газовом топливе планируют к концу 2023 года.

В целом в Казахстане газифицированы уже 10 из 14 областей. За 2021 год уровень газификации населения достиг 49,6%. По данным экспертов, 9,2 млн жителей нашей республики используют в тех или иных целях природный газ. Количество газифицированных предприятий по нашей стране выросло до 48 тысяч. Самыми активными пользователями голубого топлива являются жители Западного и Южного регионов страны. А именно степень газификации в Мангистауской области составляет практически 100%, в Атырауской области – 98,4%, Западно-Казахстанская область газифицирована на 95,5%, а такие крупные города, как Алматы и Шымкент на 98,2% и 92% соответственно) [5-6, 8].

У газового топлива имеются явные преимущества в сравнении с тем же угольным. Природный газ дешевле, нежели другие виды ископаемого топлива и дешевле, чем электричество, которое используется для снабжения бытовой техники. Приборы, работающие на природном газе, также дешевле, чем работающие на электричестве.

1. Экологичность. Природный газ не загрязняет землю или подземные воды, поскольку его побочные продукты находятся в газообразной форме. Еще один важный факт: природный газ горит без выделения сажи или диоксида серы. Он также выделяет на 45% меньше углекислого газа, чем уголь, и на 30% меньше, чем нефть.

2. Транспортировка. Транспортировка осуществляется по морю (танкеры) и по суше (трубопроводы и небольшие цистерны). Это позволяет

легко перекачивать природный газ с электростанций в жилые районы.

3. Многоцелевое использование. Природный газ – это многоцелевое топливо. Он используется внутри дома для приготовления пищи, обогрева, сушки и т.д. Его можно использовать для выработки электроэнергии, питания транспортных средств (путем замены дизельного топлива и бензина), производства пластмасс, красок, удобрений и во многих других целях.

4. Доступность. Газов много, и он доступен почти во всем мире. Казахстан входит в ТОП-30 стран по добыче природного газа.

Основным оператором добычи газа является Национальная компания «КазМунайГаз». По информации компании, АО «НК «КазМунайГаз» добывает 28% от общего объема добычи нефти и газоконденсата в Казахстане и 16% – природного и попутного газа, а также обеспечивает 95% транспортировки природного газа по магистральным газопроводам [8].

5. Природный газ – надежный источник энергии. В то время как другие источники энергии работают с перебоями (солнце, ветер и т.д.), природный газ может стать стабильным и надежным источником низкоуглеродной энергии, когда это необходимо. Природный газ также является надежным источником тепла и горячей воды зимой, который продолжает работать даже в очень суровые погодные условия.

6. Переход на водородное топливо. Водород – элемент, очень распространенный в известной нам Вселенной, но здесь, на планете, производство водорода – не очень дешевый процесс. Од-

нако природный газ считается одним из самых дешевых источников ископаемого топлива, используемого для производства водорода [9-11].

Моделирование процесса горения природного газа в экспериментальной камере сгорания

В качестве объекта исследования была выбрана экспериментальная камера сгорания A1-FLAMME, International Flame Research Foundation. Международный фонд исследований пламени – IFRF – это некоммерческая исследовательская ассоциация и сеть, созданная в 1948 году в Эймёйдене (Нидерланды), учрежденная в Ливорно (Италия) в период с 2005 по 2016 год (Fondazione Internazionale per la Ricerca Sulla Combustione – ONLUS) и в Шеффилде (Великобритания) с 2017 г. Мередит Тринг была одним из основателей. 3D-модель камеры сгорания с ее геометрическими размерами представлена на рисунке 1.

Для проведения компьютерного эксперимента был выбран природный газ с месторождения Узень плотностью 0,893 кг/м³ следующего состава: CH₄ – 83,53%, C₂H₆ – 8,73%, C₃H₈ – 3,98%, C₄H₁₀ – 1,92%, C₅H₁₂ – 0,7%, C₆H₁₄ и др. – 0,36%, N₂ – 0%, H₂S – 0%, CO₂ – 0,78%.

Для проведения численного моделирования процессов теплопереноса при сжигании природного газа в экспериментальной камере сгорания применялся пакет прикладных программ FLOREAN.

Для проведения эксперимента и компьютерной обработки данных была построена геометрия камеры сгорания A1-FLAMME (рисунок 1), а

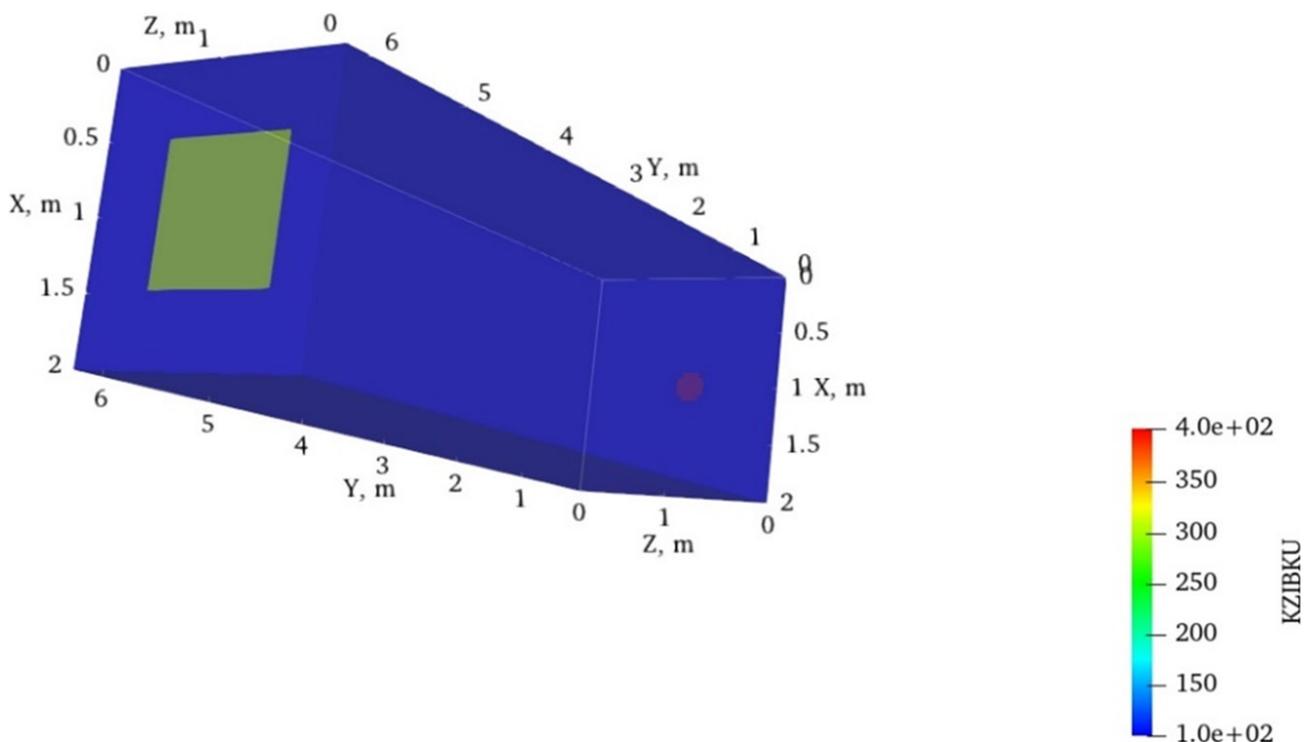


Рисунок 1 – Геометрия камеры сгорания A1-FLAMME

также получена его конечно-разностная сетка. На рисунке 2 изображено получение контрольных объемов исследуемого объекта и расположение входного и выходного отверстия камеры.

Результаты компьютерного исследования

В ходе эксперимента исследовались аэродинамические особенности сжигания природного газа и были получены распределения вектора полной

скорости, а также температурные и концентрационные поля углекислого газа CO_2 и диоксида азота NO_2 на выходе из экспериментальной камеры сгорания.

В результате компьютерного эксперимента были получены распределения температуры по высоте и на выходе из камеры сгорания (рисунок 3-4).

Исследование распределений температуры

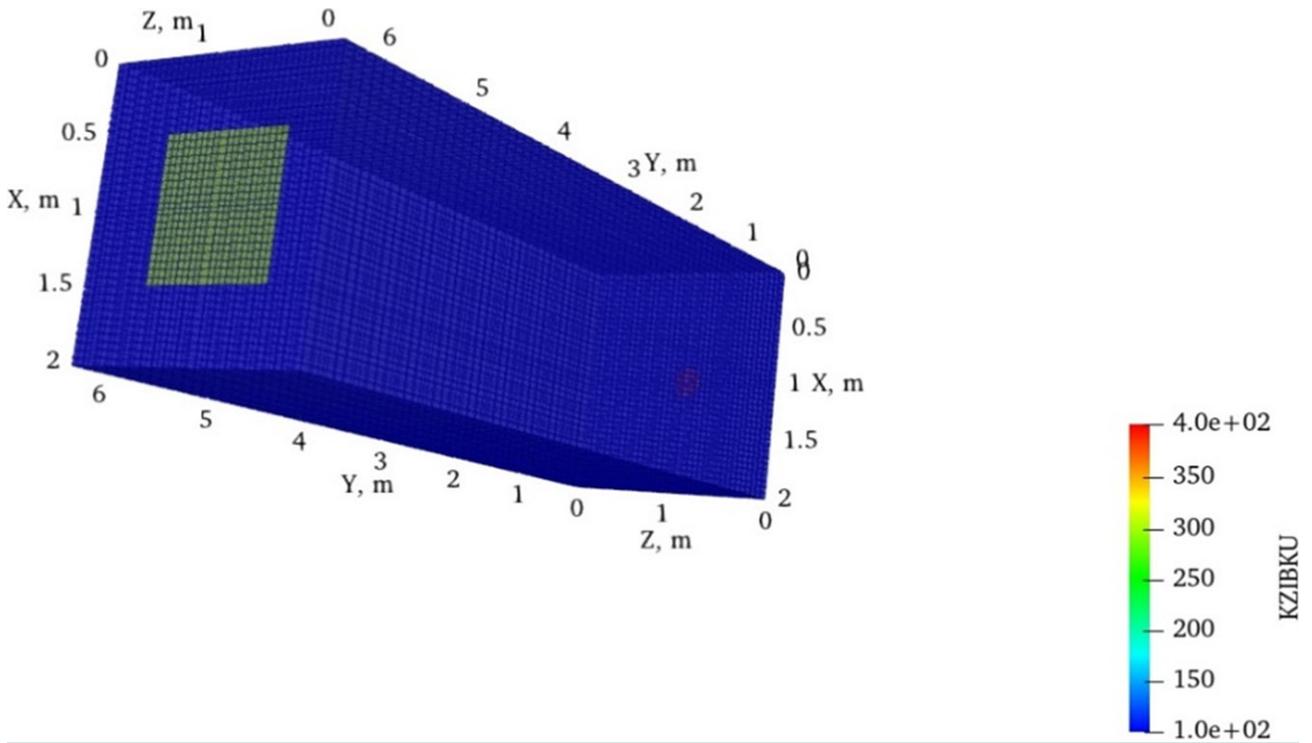


Рисунок 2 – Конечно-разностная сетка исследуемого объекта

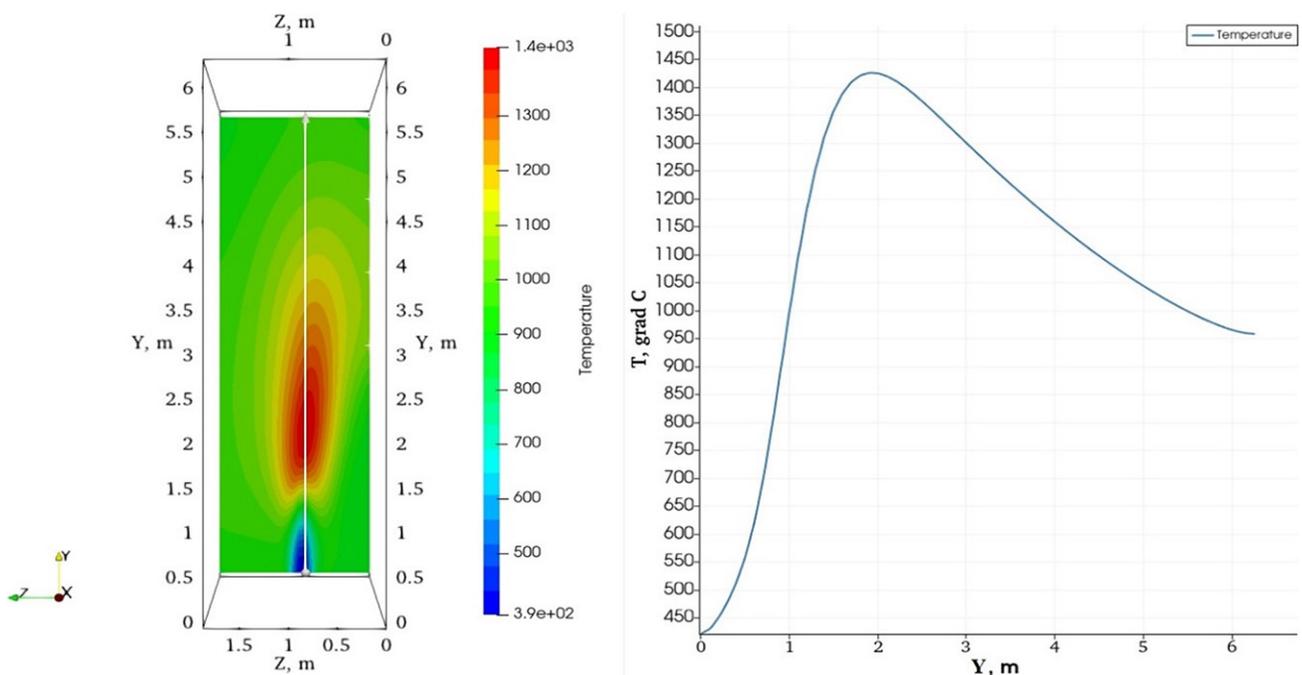


Рисунок 3 – Распределение температуры по высоте камеры сгорания

показывает, что максимальная температура в камере сгорания находится на высоте от 2 до 2,5 метров и составляет 1426°C. На выходе из камеры сгорания температура упала до 895°C. Снижение температуры можно увидеть из графиков, представленных на рисунках 3 и 4.

Распределение скорости по высоте и на выходе из камеры сгорания представлены на рисунках 5 и 6.

Согласно полученным распределениям максимальная скорость на входе в камеру сгорания составила 24 м/с. На высоте 4-х метров скорость снизилась до 4 м/с. Максимальное значение составило 3,1 м/с на выходе из камеры сгорания.

Распределения концентраций углекислого газа CO₂ и диоксида азота NO₂ представлены на рисунках 7-10.

Проанализировав данные распределения, можно заметить, что максимальная концентрация оксида углерода CO₂ в камере сгорания составила 224 мг/м³, в то время как максимально разовая предельно допустимая концентрация углекислого газа, принятая в Республике Казахстан, составляет 450 мг/м³. А концентрация диоксида азота на выходе из камеры сгорания составила 1210 мг/нм³, при разрешенной концентрации NO₂ в Казахстане, равной 3680 мг/нм³ [12].

Заключение

В ходе компьютерного исследования был проведен эксперимент по сжиганию казахстанского природного газа в экспериментальной установке, который показал изменения основных характери-

стик (температуры T, скорости v и концентраций оксидов углерода CO азота NO₂) при переходе котельных установок на газовое топливо. Кроме того, можно заключить, что значения температур, скорости и концентраций CO₂ и NO₂, полученные благодаря компьютерному эксперименту, наиболее точно совпадают с данными реального эксперимента.

Главным результатом исследования является снижение концентраций углекислого газа CO₂ и диоксида азота NO₂ вследствие использования природного газа в качестве основного вида топлива. Так, для углекислоты максимально разовая концентрация составила 224 мг/м³, по сравнению с разрешенной в Казахстане предельно допустимой концентрацией 450 мг/м³. Концентрация диоксида азота на выходе из камеры сгорания и вовсе снизила свое значение в 3 раза по сравнению с ПДК, принятой в нашей стране, а именно составила 1210 мг/нм³.

Проделанный компьютерный эксперимент наиболее точным образом отображает реальную картину процесса горения топлива в камере сгорания, что подтверждается увиденным интенсивным образованием оксидов углерода и азота именно в области расположения входных отверстий, т.е. в области активного горения.

Исходя из вышесказанного следует заключить, что применение методов 3D-моделирования является одним из современных путей интеллектуального развития теплоэнергетической отрасли (и не только), на которые необходимо обратить свое внимание. Кроме того, в работе было

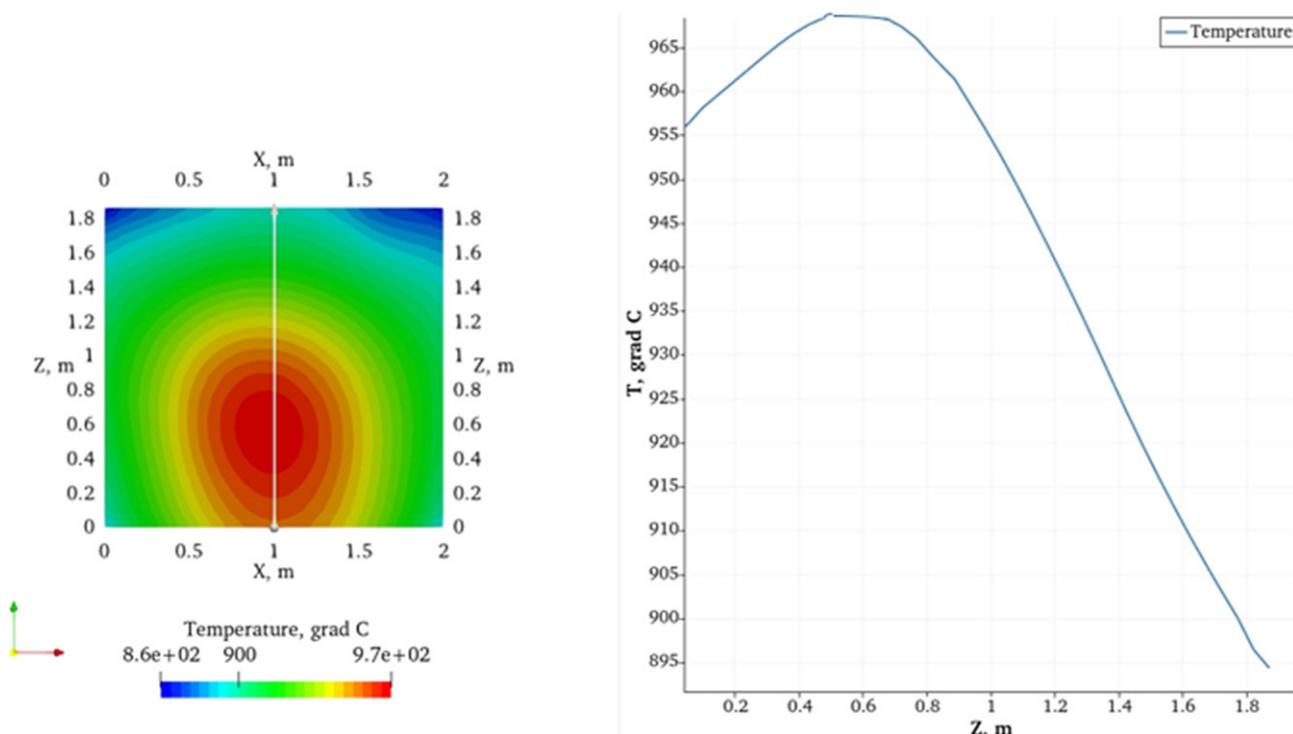


Рисунок 4 – Распределение температуры на выходе из камеры сгорания

показано, что использование природного газа в энергетической сфере также дает значительное

преимущество перед устаревшим углем как в экономическом отношении, так и в экологическом, а

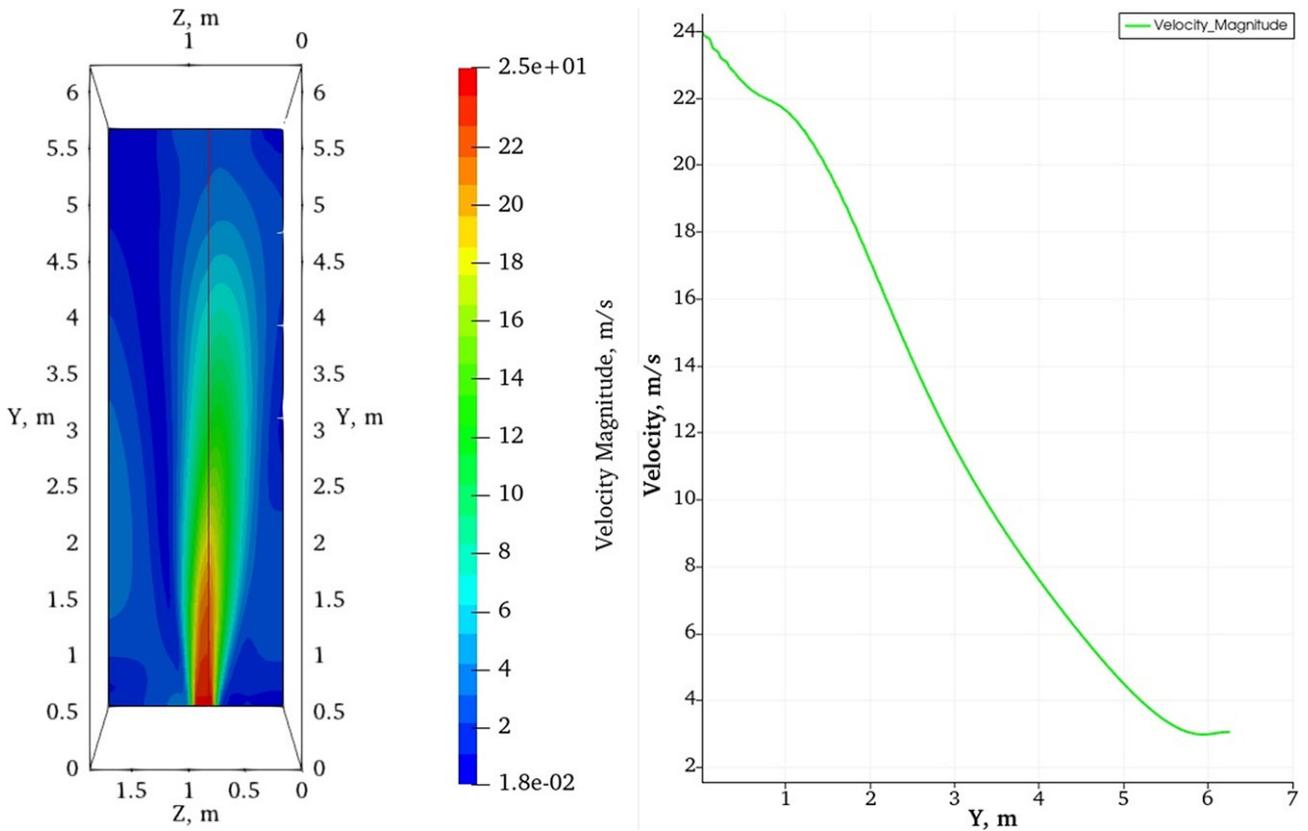


Рисунок 5 – Распределение скорости по высоте камеры сгорания

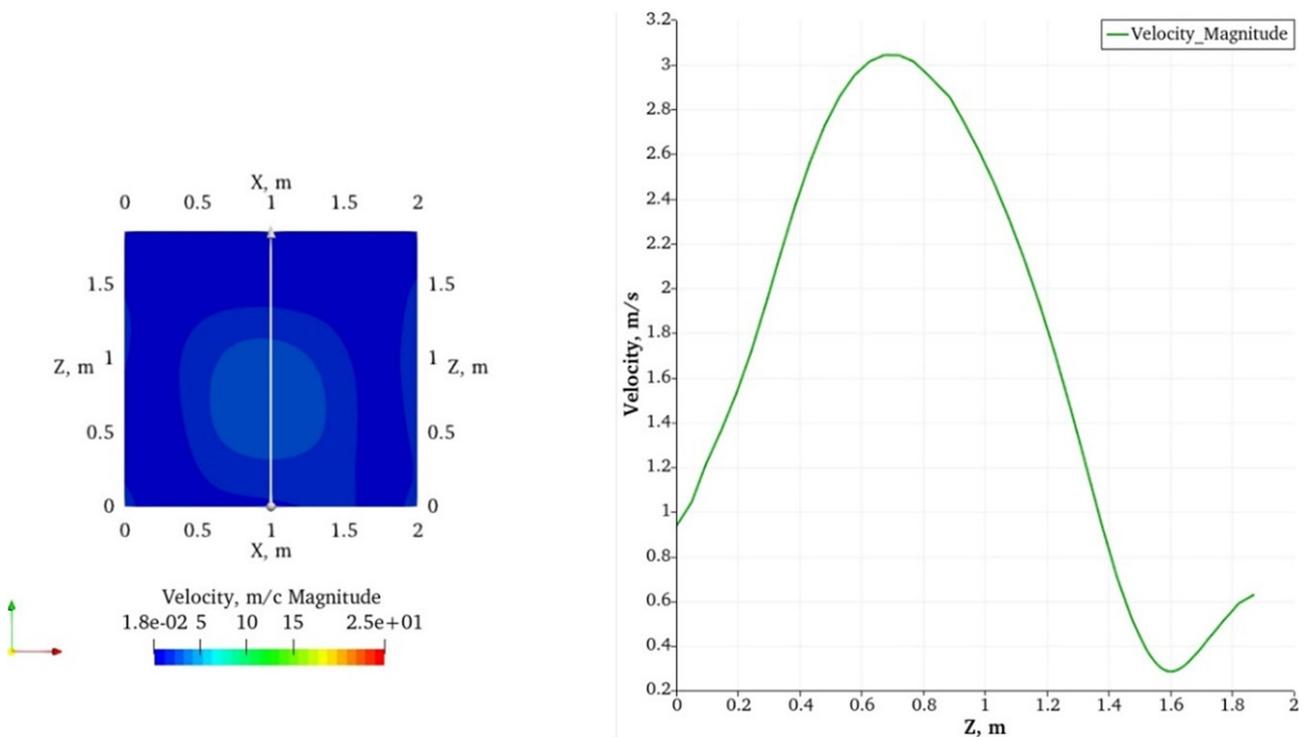


Рисунок 6 – Распределение скорости на выходе из камеры сгорания

именно позволяет значительно снизить выбросы вредных веществ от работы тепловых электро-

станций в атмосферу нашей страны и планеты в целом.

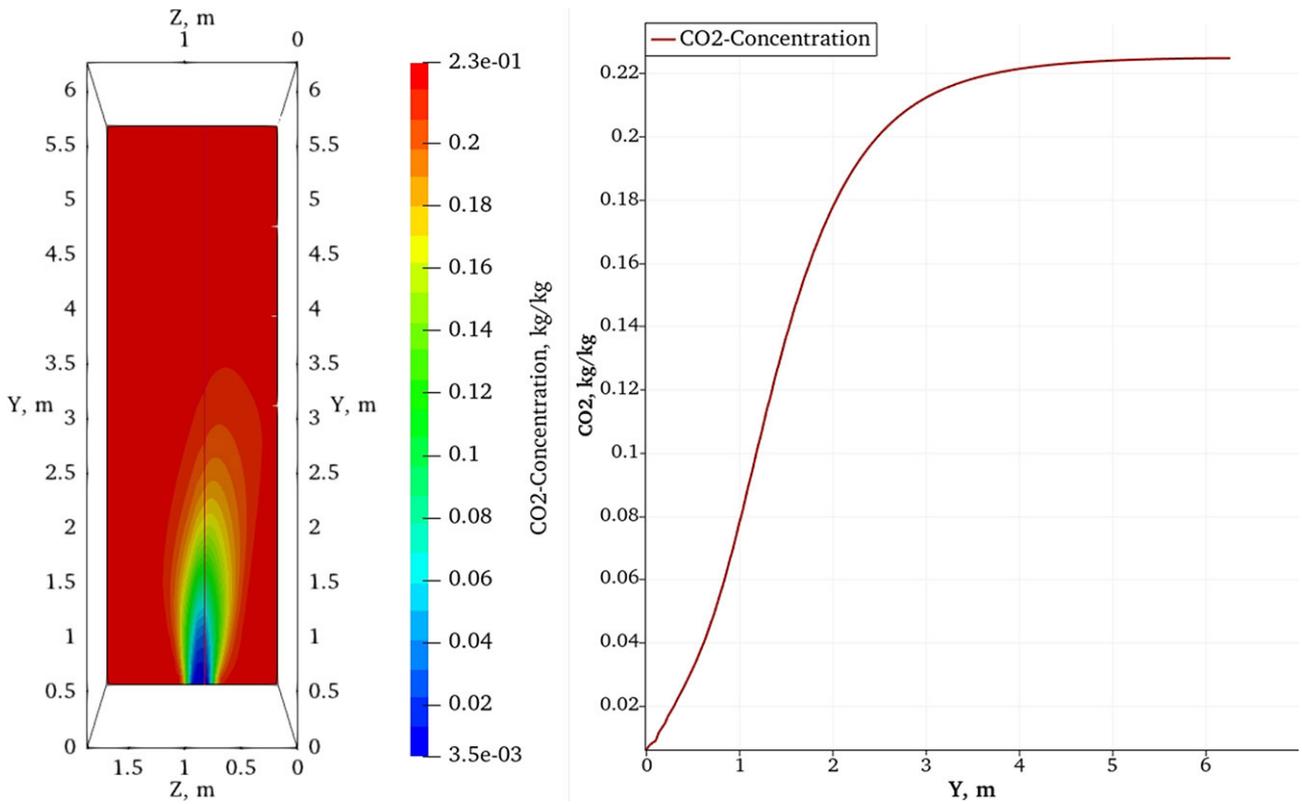


Рисунок 7 – Распределение концентрации CO₂ по высоте камеры сгорания

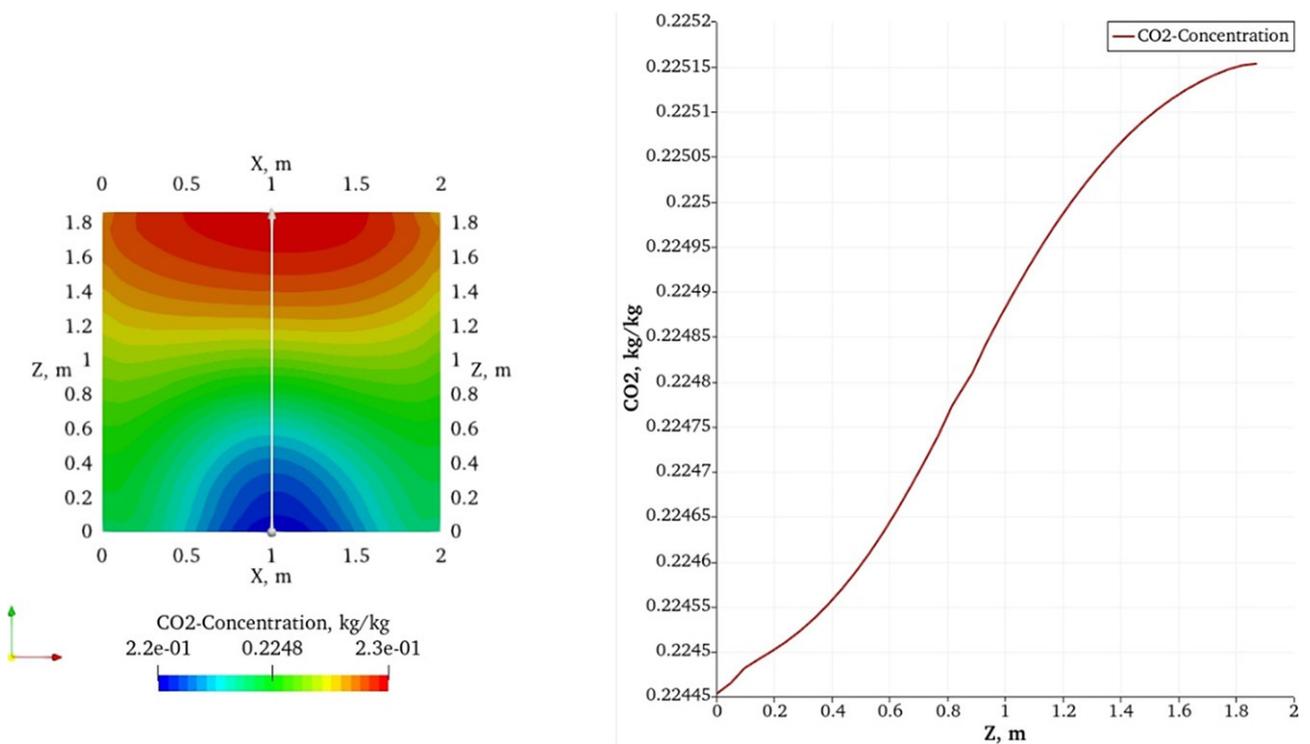


Рисунок 8 – Распределение концентрации CO₂ на выходе из камеры сгорания

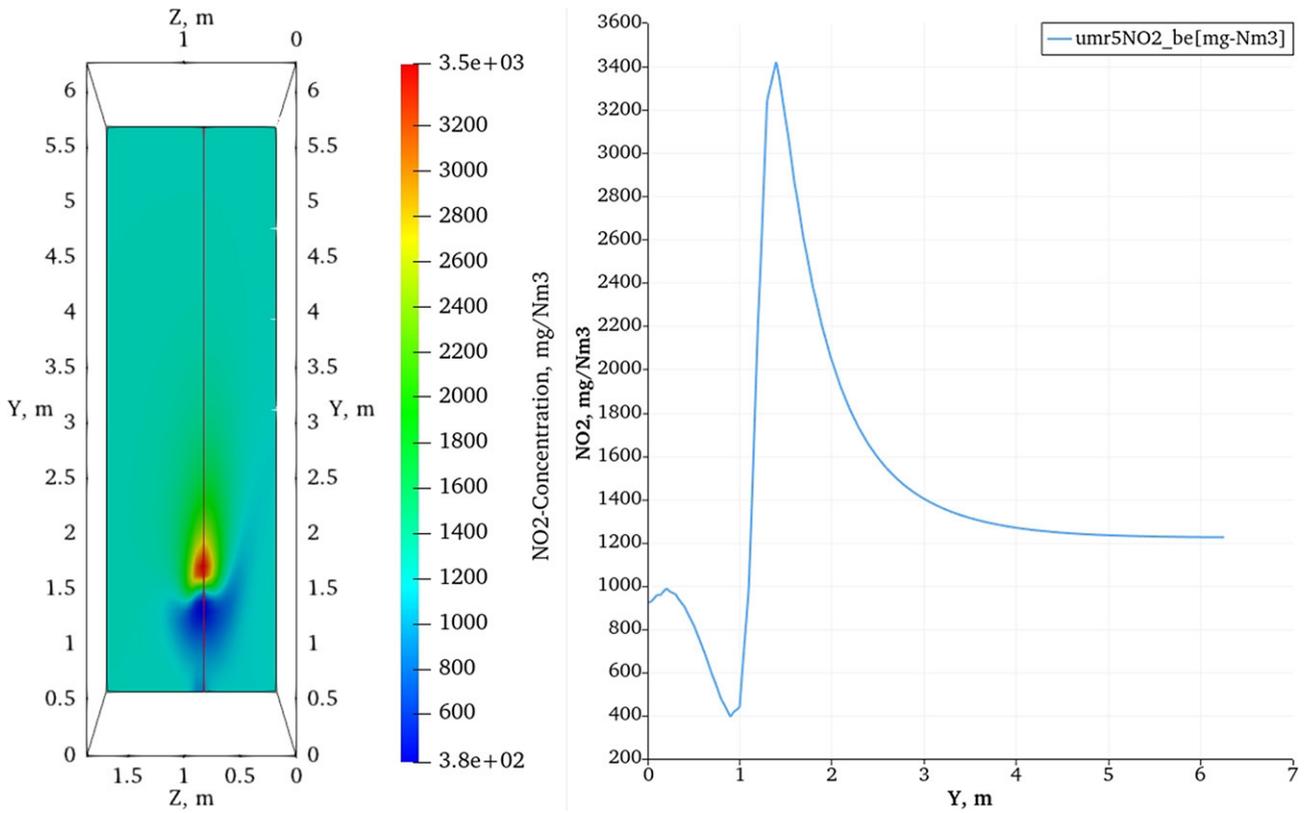


Рисунок 9 – Распределение концентрации NO₂ по высоте камеры сгорания

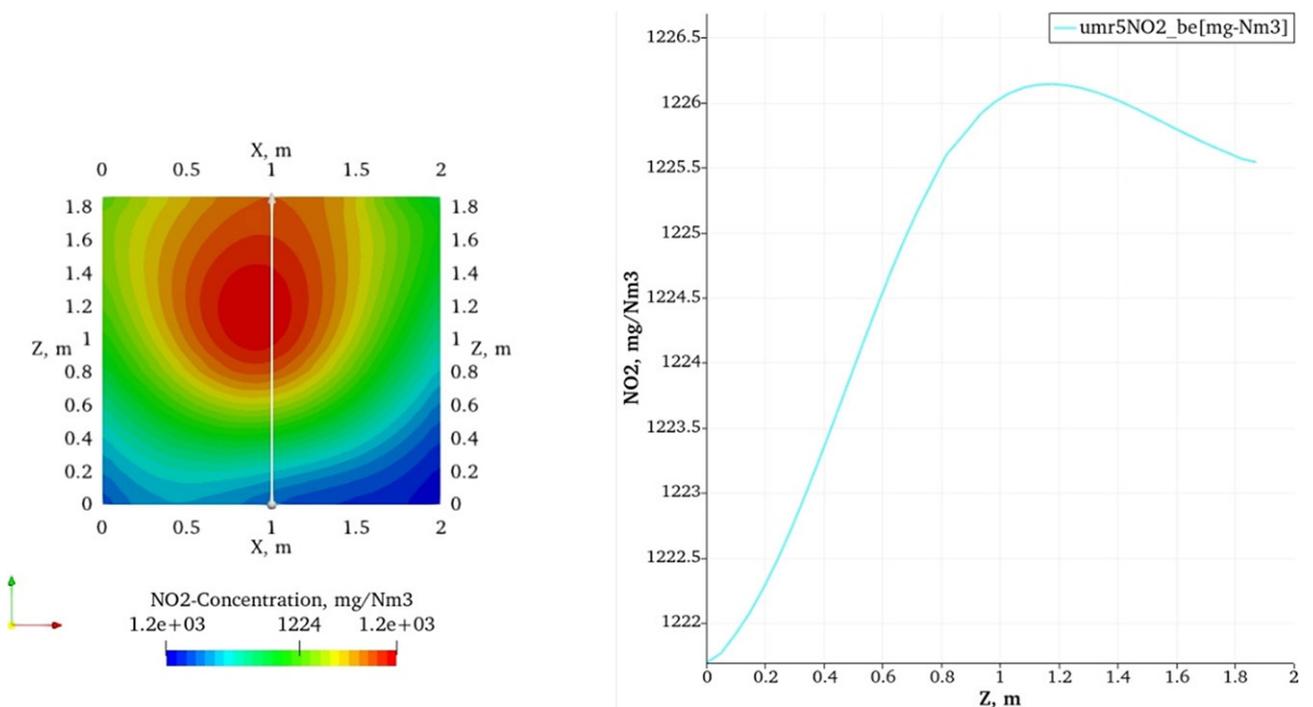


Рисунок 10 – Распределение концентрации NO₂ на выходе из камеры сгорания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корытный, Л.М. Экологические основы природопользования: учеб. пособие для СПО / Л.М. Корытный, Е.В. Потапова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 374 с.
2. Энергетика: история, настоящее и будущее. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики / Е.Т. Базеев, Б.Д. Билека, Е.П. Васильев, Г.Б. Варламов, И.А. Вольчин; Ред.: В.Н. Клименко, Ю.А. Ландау, И.Я. Сигал. – К., 2011. – 400 с.
3. Родионов В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. – М.: ЭНАС, 2010. – 352 с.
4. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 288 с.
5. BP Statistical Review of World Energy [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world.html>
6. Report air quality-KZ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://naturalresources-centralasia.org/flermoneca/assets/files/Report%20air%20quality-KZ.pdf>
7. Колесников, Е.Ю. Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Е.Ю. Колесников, Т.М. Колесникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 469 с.
8. Национальный Энергетический Доклад KAZENERGY [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.kazenergy.com/ru/analyst/>
9. Асылбек, Аманбекович Батталханов. Метан на транспорте. Проблемы, задачи и перспективы развития рынков компримированного природного газа: моногр. / Асылбек Аманбекович Батталханов. – М.: Издательские решения, 2014. – 783 с.
10. Джон, Кэрролл. Гидраты природного газа / Кэрролл Джон. – М.: Премиум Инжиниринг, 2016. – 559 с.
11. Соколов, В.А. Геохимия природных газов / В.А. Соколов. – М.: Недра, 2016. – 336 с.
12. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к зданиям и сооружениям производственного назначения» Республики Казахстан от 3 августа 2021 года.

Атмосфераға зиянды шығарындыларды азайту әдістерінің бірі ретінде газ отынын жағу

¹АСКАРОВА Әлия Сандыбайқызы, ф.-м.ф.д., профессор, aliya.Askarova@kaznu.kz,

¹БОЛЕГЕНОВА Салтанат Әлиханқызы, ф.-м.ф.д., доцент, saltanat.Bolegenova@kaznu.kz,

¹МАКСИМОВ Валерий Юрьевич, PhD, доцент, valeriy.Maximov@kaznu.kz,

¹*КАМЕНСКИХ Александра Вячеславовна, магистрант, alex.sbb98@gmail.com,

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, 050040, Алматы, Әл-Фараби даңғылы, 71,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақала жылу электр станцияларының негізгі энергетикалық нысандарының қоршаған ортаға теріс әсерін төмендетудің ықтимал әдістерін зерттеуге арналған. Қоршаған орта мен адамзат үшін салдары бар көмірсутекті отынды пайдаланудың даму тарихы қарастырылған. Органикалық отынды жағу кезінде зиянды шығарындылардың мөлшерін азайту үшін оңтайлы шешім ұсынылды, атап айтқанда көмір отынынан табиғи газға көшу. Компьютерлік эксперимент көмегімен алынған жылу беру процесінің негізгі сипаттамаларын екі өлшемді және үш өлшемді графиктер түрінде, жану камерасының биіктігіне және одан шығуға байланысты графикалық түсіндіру жүргізілді. Сондай-ақ, жұмыста табиғи газды жағудың зиянды өнімдерінің ең аз және ең жоғары концентрациясы көрсетілген, Қазақстан Республикасында қабылданған шекті рұқсат етілген концентрациялармен салыстыру жүргізілген.

Кілт сөздер: көмірсутекті отын, атмосфераның ластануы, зиянды шығарындылар, табиғи газ, эксперименттік қондырғы, 3D-модельдеу, CO₂ көміртегі оксиді, NO₂ азот диоксиді, жылдамдықты бөлу, температураны бөлу, шекті рұқсат етілген концентрация.

Combustion of Gas Fuel as One of the Methods to Reduce Harmful Emissions into the Atmosphere

¹ASKAROVA Aliya, Dr. of Phys. and Math. Sci., Professor, aliya.Askarova@kaznu.kz,

¹BOLEGENOVA Saltanat, Dr. of Phys. and Math. Sci., Associate Professor, saltanat.Bolegenova@kaznu.kz,

¹MAKSIMOV Valery, PhD, Associate Professor, valeriy.Maximov@kaznu.kz,

¹*KAMENSKIKH Alexandra, master student, alex.sbb98@gmail.com,

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, 050040, Almaty, Al-Farabi Avenue, 71,

*corresponding author.

Abstract. The article is devoted to the study of possible methods to reduce the negative impact of the main energy facilities of thermal power plants on the environment. The article considers the history of the development of the use of hydrocarbon fuels with the ensuing consequences for the environment and humanity. An optimal solution has been proposed to reduce the amount of harmful emissions from the combustion of fossil fuels, namely the transition from coal fuel to natural gas. A graphical interpretation of the main characteristics of the heat and mass transfer process obtained using a computer experiment in the form of two-dimensional and three-dimensional graphs was carried out,

depending on the height of the combustion chamber and at the exit from it. The paper also shows the areas of minimum and maximum concentrations of harmful products of natural gas combustion, compared with the maximum allowable concentrations adopted in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: hydrocarbon fuel, atmospheric pollution, harmful emissions, natural gas, experimental setup, 3-D modeling, carbon monoxide CO₂, nitrogen dioxide NO₂, velocity distribution, temperature distribution, maximum allowable concentration.

REFERENCES

1. Korytny, L.M. Ecological foundations of nature management: textbook allowance for SPO / L.M. Korytny, E.V. Potapova. – 2nd ed., corrected and additional – Moscow: Yurayt Publishing House, 2019. – 374 p.
2. Energy: history, present and future. Development of heat and hydropower / E.T. Bazeev, B.D. Bilek, E.P. Vasiliev, G.B. Varlamov, I.A. Volchin; Editor: V.N. Klimenko, Yu.A. Landau, I.Ya. Segal. – K., 2011. – 400 p.
3. Rodionov V.G. Energetika: problems of the present and opportunities for the future. – Moscow: ENAS, 2010. – 352 p.
4. Bystritsky, G.F. Fundamentals of Energy. – Moscow: INFRA-M, 2007. – 288 p.
5. BP Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – Electron. Dan. – Mode of access: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-.html>
6. Report air quality-KZ [Electronic resource]. – Electron. Dan. – Access mode: <http://naturalresources-centralasia.org/flermoneca/assets/files/Report%20air%20quality-KZ.pdf>
7. Kolesnikov, E.Yu. Environmental impact assessment. Safety expertise: textbook and workshop for undergraduate and graduate students / E.Yu. Kolesnikov, T.M. Kolesnikova. – 2nd ed., revised and additional – Moscow: Yurayt Publishing House, 2017. – 469 p.
8. KAZENERGY National Energy Report [Electronic resource]. – Electron. Dan. – Access mode: <http://www.kazenergy.com/ru/analyst/>
9. Asylbek, Amanbekovich Battalkhanov Methane in transport. Problems, tasks and prospects for the development of compressed natural gas markets: monograph. / Asylbek Amanbekovich Battalkhanov. – Moscow: Publishing solutions, 2014. – 783 p.
10. John, Carroll. Hydrates of natural gas / Carroll John. – Moscow: Premium Engineering, 2016. – 559 p.
11. Sokolov, V.A. Geochemistry of natural gases / V.A. Sokolov. – Moscow: Nedra, 2016. – 336 p.
12. Sanitary rules «Sanitary and epidemiological requirements for buildings and structures for industrial purposes» of the Republic of Kazakhstan dated August 3, 2021.