

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Рысбаева Аружан Амирбековна

Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) на газ

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B05206– Инженерная экология

Алматы 2025г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

коммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»
Канд. техн. наук, доцент
Ш. Н. Кубекова
«09» 06 2025г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) на газ»

6B05206– Инженерная экология

Выполнила:

Рысбаева А.А.

Рецензент
Канд. техн. наук,
ассоциированный профессор

Ажиева Г. И.
«9» 06 2025 г.

Научный руководитель
ДВА, старший
преподаватель кафедры
«Химические процессы и
промышленная экология»
Кезембаева Г. Б.
«5» 06 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

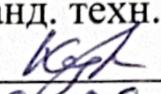
Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

6B05206 – Инженерная экология

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»

Канд. техн. наук, доцент

 Ш. Н. Кубекова
«09» 06 2025г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Рысбаева Аружан Амирбековна

Тема: «Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) на газ»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам № 26-п/бт от "29" 01 20 25 г.

Срок сдачи законченной работы «09» июня 2025 г.

Исходные данные к дипломной работе: материалы ОВОС, проектной документации, а также статистические данные по загрязнению воздуха в г. Алматы.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Проведение анализа текущего состояния ТЭЦ-2 и её экологических характеристик.

б) Описание принципов работы парогазовой установки и её преимуществ по сравнению с угольной технологией.

в) Расчёт эколого-экономического эффекта от модернизации.

г) Оценка риска здоровью населения в районе воздействия выбросов до и после модернизации.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

представлены слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 12 наименований учебных материалов

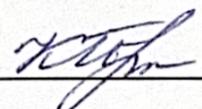
ГРАФИК
подготовки дипломной работы

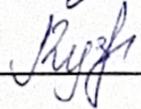
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение, обоснование актуальности, цели и задачи	07.03.2025	Выполнено
Анализ ТЭЦ-2, экологическая оценка и расчёты	02.04.2025	Выполнено
Разработка технологического решения и экономических обоснований	21.04.2025	Выполнено
Оценка риска здоровью населения, оформление выводов	08.05.2025	Выполнено
Оформление главы заключения	05.06.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф. И. О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Кезембаева Г. Б., ДВА, старший преподаватель	05.06.25г.	

Научный руководитель: _____  Кезембаева Г. Б.

Задание приняла к исполнению обучающаяся: _____  Рысбаева А.А.

Дата: " 29 " мая 2025г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Алматы ЖЭО-2 станциясын газға көшірудің техникалық - экономикалық негіздемесін талдау жобасы қарастырылады, оның мақсаты - көмірден табиғи газға көшу. Жұмыста станцияның қазіргі жағдайын талдау, оның қоршаған ортаға әсерін бағалау және газ турбиналық қондырғыны енгізудің экологиялық және экономикалық тиімділігі есептелген. Жаңғырту нәтижесінде зиянды заттардың шығарылуы едәуір азайып, күл - қоқыс қалдықтарының түзілуі жойылып, энергетикалық тиімділік артады деп күтілуде. Жоба Алматы қаласының экологиялық жағдайын жақсартуға және энергиямен жабдықтаудың сенімділігін арттыруға бағытталған

Дипломдық жұмыс 6 бөлімнен және қорытындыдан тұрады, көлемі 50 бет. Жұмыста графиктер, сызбалар, кестелер және 12 дереккөзден тұратын әдебиеттер тізімі берілген.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассматривается проект по разработке технико - экономического обоснования перевода Алматинской ТЭЦ-2 с угольного топлива на природный газ. Работа содержит анализ текущего состояния станции, оценку её воздействия на окружающую среду, а также расчёты экологических и экономических эффектов от внедрения парогазовой установки. В результате модернизации ожидается значительное сокращение выбросов вредных веществ, устранение образования золошлаковых отходов и повышение энергоэффективности. Проект направлен на улучшение экологической обстановки в городе Алматы и повышение надёжности энергоснабжения.

Дипломная работа состоит из 6 глав и заключения, изложена на 50 страницах, содержит графики, схемы, таблицы, а также список использованной литературы из 12 источников

Annotation

The thesis considers a project to develop a feasibility study for the transfer of the Almaty CHPP-2 in order to switch from coal fuel to natural gas. The work contains an analysis of the current state of the plant, an assessment of its environmental impact, as well as calculations of the environmental and economic effects of the introduction of a combined-cycle gas installation. As a result of the modernization, it is expected to significantly reduce emissions of harmful substances, eliminate the formation of ash and slag waste and increase energy efficiency. The project is aimed at improving the environmental situation in Almaty and increasing the reliability of energy supply.

The thesis consists of 6 chapters and a conclusion, presented on 50 pages. It includes charts, diagrams, tables, and a list of 12 references.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. Обоснование проекта	8
1.1 Социально-экономические условия региона	8
1.2 Природно-климатические и географические особенности	9
1.3 Инженерно-геологические и экологические характеристики	11
1.4 Критерии выбора стратегии модернизации ТЭЦ-2	12
2. Общие сведения о предприятии	13
2.1 Технология производства	15
3. Основные направления воздействия ТЭЦ-2 на окружающую природную среду	18
3.1. Выбросы в атмосферу	19
3.2. Водопотребление и водоотведение	20
3.3. Вклад валовых выбросов ТЭЦ-2 в общегородские выбросы	21
3.4. Условия рассеивания загрязняющих веществ	22
3.5 Воздействие в жилой зоне	24
4. Технологическое решение	28
5. Эколого-экономический эффект	30
6. Оценка риска здоровью населения от воздействия выбросов ТЭЦ-2	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39
ПРИЛОЖЕНИЕ А	40

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие урбанизированных территорий всё более ориентировано на принципы экологической устойчивости, что требует обновления и адаптации энергетических объектов к новым требованиям охраны окружающей среды. В этой связи проблема снижения антропогенного влияния в крупных городах становится особенно острой. Алматы, как один из самых густонаселённых и промышленных центров Казахстана, регулярно сталкивается с превышением допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Особенно тяжёлая экологическая ситуация наблюдается в холодное время года, когда неблагоприятные метеоусловия способствуют накоплению вредных примесей в нижних слоях атмосферы.

Наиболее значимым источником загрязнений в пределах городской черты остаётся ТЭЦ-2, обеспечивающая тепловую и электрическую энергию за счёт сжигания экибастузского угля. Технология её работы сопровождается значительными выбросами диоксида серы, оксидов азота, а также пылевых загрязнителей, что напрямую влияет на здоровье населения и качество городской среды. В качестве одного из приоритетных решений рассматривается перевод станции на природный газ - более экологичный и эффективный вид топлива.

При выполнении оценки риска для здоровья населения, связанного с действующими выбросами станции, были использованы положения и расчётные подходы, изложенные в статье «Мониторинг качества атмосферного воздуха в городе Алматы и его влияние на здоровье населения», предоставленная в приложении А. Это позволило обоснованно применить методику количественной оценки воздействия вредных веществ на атмосферный воздух и подтвердить значимость предлагаемой модернизации.

Ожидается, что данная разработка технико – экономического обоснования позволит достичь ряда положительных эффектов: сокращение объёмов эмиссий, исключение образования твёрдых отходов в виде золы и шлака, снижение тепловой нагрузки на атмосферу и улучшение технико-экономических характеристик работы станции.

Целью данной работы является формирование технико-экономического обоснования перевода Алматинской ТЭЦ-2 на природный газ, ориентированного на минимизацию воздействия на природную среду.

Основные задачи исследования включают:

1. Проанализировать существующую технологическую схему ТЭЦ-2 и её экологические характеристики.
2. Определить уровень воздействия станции на компоненты окружающей среды.
3. Обосновать целесообразность перехода на парогазовые технологии.

1. Обоснование проекта

1.1 Социально-экономические условия региона

Город Алматы - крупнейший мегаполис Республики Казахстан, в котором сосредоточены ведущие промышленные предприятия, деловые и административные центры, а также культурные и образовательные учреждения. В условиях стремительного прироста населения и активного расширения городской инфраструктуры значительно возрастает потребность в стабильном энергоснабжении, в частности - в надёжном электроснабжении и централизованном теплоснабжении.

Существенная часть жилых массивов, медицинских, образовательных и промышленных объектов города получает тепловую энергию от Алматинской теплоэлектроцентрали №2 (ТЭЦ-2). Данный объект играет ключевую роль в системе теплоснабжения Алматы, обеспечивая по различным оценкам до 50% потребностей города в тепловой энергии. Однако технологическая схема станции, основанная на сжигании экибастузского угля, сопровождается значительным уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Согласно данным на 2024 год, валовой региональный продукт Алматы превысил 5,3 триллиона тенге, продемонстрировав рост на почти 6% по сравнению с предыдущим годом. Высокая экономическая активность, наличие крупных вузов, логистических и IT-компаний делает город не только центром притяжения для инвестиций, но и местом постоянного прироста населения, особенно молодёжи: почти половина жителей младше 30 лет, а число студентов превышает 200 тысяч человек.

Тем не менее, наряду с ростом экономики и численности населения, усиливаются и экологические проблемы. Загрязнение воздуха остаётся одним из наиболее острых вопросов для города. В 2024 году среднегодовая концентрация мелкодисперсных частиц PM_{2.5} достигла 24,08 мкг/м³, что почти в 5 раз превышает предельно допустимые значения, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения. Основные источники загрязнения - автотранспорт, устаревшие котельные установки и работающие на угле теплоэлектростанции, в том числе ТЭЦ-2. Особенно тяжёлая экологическая обстановка наблюдается в зимний период, когда в условиях инверсий и застоя воздушных масс загрязняющие вещества накапливаются в приземном слое атмосферы.

Повышенное содержание в городском воздухе диоксида серы, оксидов азота и твёрдых частиц вызывает серьёзную обеспокоенность не только со стороны экологического сообщества, но и специалистов в области здравоохранения. В этих условиях перевод ТЭЦ-2 на природный газ рассматривается как стратегически важное направление, направленное на снижение техногенной нагрузки на окружающую среду и улучшение качества жизни населения.

1.2 Природно-климатические и географические особенности

Станция располагается в промышленной зоне северо-западной части Алматы. Санитарно-защитная зона включает золоотвал, тепловые сети, насосные станции, резервуары и трубопроводы. Уровень загрязнения воздуха в районе ТЭЦ-2 превышает нормативы, особенно в зимний период. Основными загрязнителями являются оксиды серы, азота и пыль.

Климат в этом районе города характеризуется жарким летом, холодной зимой и умеренным уровнем осадков. В зимний период часто наблюдается отсутствие ветра и термальные инверсии, что способствует накоплению вредных примесей в приземном слое атмосферы. Географическое расположение Алматы в котловине между горными хребтами усиливает эффект загрязнения, особенно в районе ТЭЦ, где происходит выброс дыма с двух 129-метровых труб.

Типичным для ее климата является материковый режим температуры воздуха, который отличается большой контрастностью и разностью сезонных и межгодовых колебаний, значительной суточной и годовой амплитудой. Одной из основных характеристик термического режима служат средние месячные температуры воздуха. В таблице 1 представлены среднемесячные температуры воздуха г. Алматы по месяцам, а также на рисунке 1 представлен график среднегодовой температуры города Алматы [7].

Таблица 1 - Среднемесячные температуры воздуха г. Алматы

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя температура воздуха 0С	-5,3	-3,6	2,9	11,5	16,5	21,5	21,5	23,8	22,7	17,5	9,9	-2,9

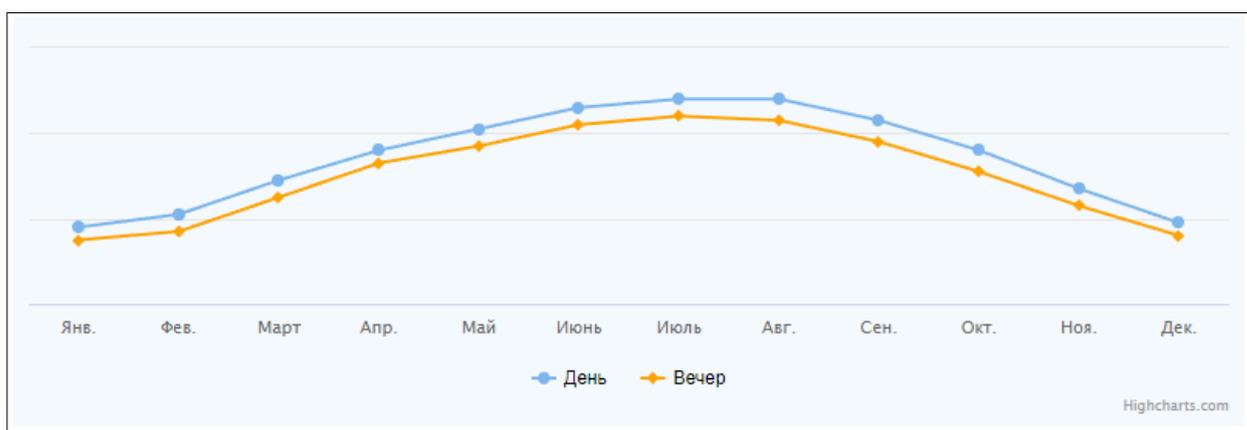


Рисунок 1 - График среднегодовой температуры по г. Алматы

В рамках оценки экологической ситуации в городе Алматы важным

показателем выступает индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитываемый на основании концентраций ряда приоритетных загрязняющих веществ. На рисунке 1.1 представлена динамика ИЗА за период с 2010 по 2024 годы [5]. Данные свидетельствуют о том, что в 2010-2014 годах индекс находился на высоком уровне, достигая значений выше 10, что классифицируется как «очень высокий уровень загрязнения». С 2015 года наблюдается устойчивая тенденция к снижению ИЗА, что связано с рядом природоохранных мероприятий, в том числе - с изменением нормативов по формальдегиду и частичной газификацией частного сектора.

Минимальное значение было зафиксировано в 2021-2022 годах (до 5 баллов), что соответствует уровню «высокого загрязнения». Однако в 2024 году индекс вновь увеличился до 8 баллов, что может быть обусловлено сезонными климатическими факторами и возросшей активностью автотранспорта. Это подчёркивает необходимость системного подхода к экологической политике города, включая модернизацию крупных промышленных источников - в первую очередь ТЭЦ-2.

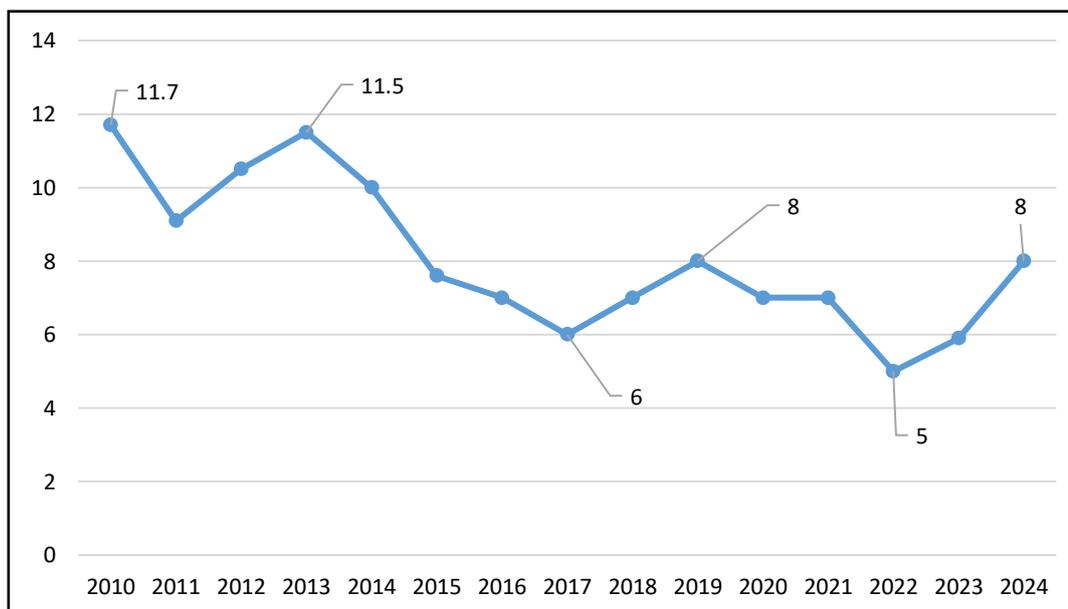


Рисунок 1.1 - Индекс загрязнения атмосферы в г. Алматы с 2010 по 2024гг.

1.3 Инженерно-геологические и экологические характеристики

Территория, на которой расположена Алматинская ТЭЦ-2, характеризуется ровным рельефом местности и стабильными инженерно-геологическими условиями. Поверхностный слой преимущественно представлен суглинистыми и супесчаными грунтами, обладающими достаточной несущей способностью при условии грамотного расчёта инженерных сооружений. Уровень грунтовых вод в районе размещения станции считается умеренным и не создаёт чрезмерных рисков подтопления, что упрощает реализацию строительных и инфраструктурных проектов.

Однако регион отличается повышенной сейсмичностью: Алматы и прилегающие к нему районы относятся к зонам с высоким уровнем сейсмической опасности. Это требует обязательного соблюдения специальных норм и стандартов при проектировании и строительстве инженерных конструкций, включая основания зданий, фундаменты, опоры теплотрасс и трубопроводов. Конструктивные элементы, расположенные на территории станции, должны обеспечивать устойчивость при сейсмических нагрузках, а проектные решения - учитывать соответствующий уровень сейсмического воздействия.

В пределах санитарно-защитной зоны ТЭЦ-2 размещены важные технологические объекты, обеспечивающие её непрерывное функционирование. Среди них - золоотвалы для хранения золошлаковых отходов, насосные станции, тепломагистраль, резервуары, распределительные узлы, а также система инженерных коммуникаций. Территория полностью используется в технологических целях и имеет развитую инженерную инфраструктуру.

С экологической точки зрения деятельность ТЭЦ-2 оказывает значительное антропогенное воздействие на окружающую среду. Основными загрязняющими факторами являются выбросы в атмосферу пыли, оксидов серы (SO_2) и азота (NO_x), а также накопление твёрдых отходов - золы и шлака - на специальных картах хранения. В зимний период, когда наблюдаются неблагоприятные климатические условия и застой воздушных масс, фиксируется устойчивое превышение концентраций вредных веществ в приземном слое воздуха вблизи станции.

Учитывая плотную жилую застройку в непосредственной близости от ТЭЦ-2, а также присутствие других промышленных объектов в районе, уровень техногенного загрязнения воздуха достигает значений, требующих принятия срочных мер. В этих условиях модернизация станции и перевод её на экологически более безопасное топливо - природный газ - становится важнейшей предпосылкой для улучшения экологической обстановки. Снижение объёмов выбросов, исключение образования золошлаковых отходов и повышение эффективности улавливающих установок рассматриваются как первоочередные меры по минимизации воздействия на окружающую среду и население прилегающих микрорайонов.

1.4 Критерии выбора стратегии модернизации ТЭЦ-2

В рамках настоящего технико-экономического обоснования к основным критериям выбора стратегии модернизации ТЭЦ-2 относятся следующие положения:

- сохранение ТЭЦ-2 в статусе ключевого источника теплоснабжения города;
- обеспечение надёжной и бесперебойной подачи тепловой энергии потребителям в зоне действия станции;
- способность покрывать перспективные (прогнозируемые) тепловые нагрузки;
- сохранение технологии комбинированной выработки электрической и тепловой энергии как наиболее эффективной;
- внедрение наилучших доступных технологий (НДТ) для повышения эффективности и экологической безопасности, в том числе в части очистки дымовых газов;
- автоматизация производственных процессов с использованием современных АСУ ТП (автоматизированных систем управления технологическими процессами);
- достижение нормативов по выбросам вредных веществ, соответствующих требованиям стран Европейского союза;
- минимизация негативного воздействия на окружающую среду;
- реализация мероприятий по модернизации в пределах существующей производственной площадки, с возможностью выделения дополнительных земельных участков при необходимости.

2. Общие сведения о предприятии

Теплоэлектроцентр-2 (ТЭЦ-2) АО «АлЭС» расположена в Республике Казахстан, в городе Алматы, на территории Алатауского района, в микрорайоне Алгабас, по адресу: улица 7, дом 130. Станция занимает две обособленные площадки: основную производственную (площадка №1) и золоотвальную (площадка №2), которые представлены на рисунках 2 и 2.1 [2].

На производственной площадке №1 размещены основные и вспомогательные объекты, обеспечивающие выработку тепловой и электрической энергии. Площадка №2 предназначена для размещения золоотвала комбинированной системы золошлакоудаления.



Рисунок 2 - Общий вид промплощадки ТЭЦ-2



Рисунок 2.1- Общий вид золоотвала ТЭЦ-2

Промплощадка ТЭЦ-2 располагается на северо-западной окраине города Алматы и вытянута с юга на север на расстояние около 1,5 км. Южную границу участка пересекает магистральный газопровод Бухарского газоносного района, соединяющий Ташкент, Бишкек и Алматы. Восточнее, за объездной автодорогой, находятся сельскохозяйственные земли, а также асфальтобетонный завод, размещённый за автохозяйством вдоль подъездного железнодорожного пути.

На расстоянии около 2,5 км к югу от промплощадки расположен микрорайон Алгабас, а в 3 км — микрорайон Коккайнар. По западной границе площадки протекает ручей Кокузек, в пойме которого размещены дачные участки. На выходе из посёлка Алгабас водоток с помощью вододелителя уходит в подземный бетонный коллектор, который впадает в Кокузекское водохранилище у северной дамбы золоотвала. Само водохранилище расположено на расстоянии около 2 км к северо-западу от промплощадки.

2.1 Технология производства

ТЭЦ-2 – крупнейший поставщик тепла в централизованную систему теплоснабжения города, входящий в состав АО "АлЭС".

Основная продукция ТЭЦ-2 АО «АлЭС» – тепло и электроэнергия.

Принцип работы ТЭЦ основан на преобразовании энергии топлива (химической) в тепловую и электрическую. В котлах, где сжигается топливо, образуется пар высокого давления и температуры. Этот пар приводит в движение турбины, которые, в свою очередь, вращают электрические генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

Электроэнергия на ТЭЦ может производиться в трех режимах: когенерации (одновременное производство тепла и электроэнергии), конденсационном (только электроэнергия) или в смешанном режиме.

ТЭЦ-2 покрывает более 45% общей потребности в тепле в зоне теплоснабжения АО "АлЭС" и поставляет электроэнергию в единую энергосистему. Тепло от ТЭЦ-2 поступает в виде горячей воды для отопления и горячего водоснабжения Алматы, а также в виде пара для промышленных предприятий, расположенных рядом.

ТЭЦ-2 работает в режиме базовой нагрузки по теплоснабжению, а Западный тепловой комплекс (ЗТК) – в режиме пиковых нагрузок.

Летом горячее водоснабжение потребителей, подключенных к системе АлЭС обеспечивается ТЭЦ-2 через ЗТК и по теплотрассе, соединяющей ТЭЦ-2 и ТЭЦ-1.

В состав ТЭЦ-2 АО «АлЭС» входят ключевые функциональные системы, обеспечивающие выработку и распределение тепловой и электрической энергии, а также поддержание технологических и инфраструктурных процессов, которые наглядно показаны на рисунке 2.2 [2].

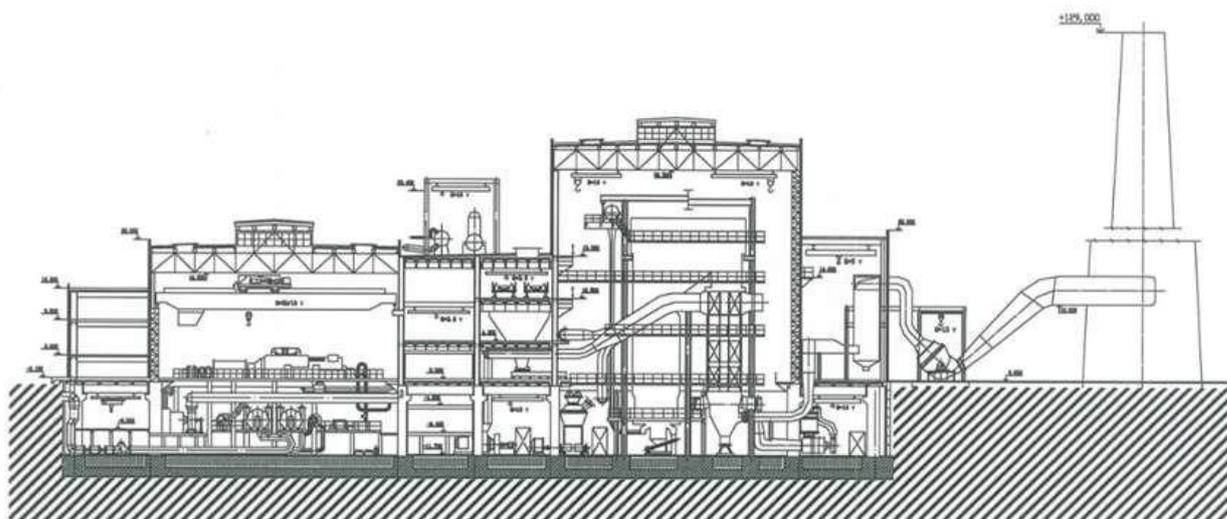


Рисунок 2.2 - Схема поперечного разреза главного корпуса ТЭЦ-2

К основным системам относятся:

- главный корпус, в котором размещены энергетические котлы, паровые турбины и соответствующее вспомогательное оборудование;
- система теплофикации, включающая сетевые подогреватели, насосное оборудование, систему подпитки теплосети и тепловые выходы;
- система приёма и передачи тепловой энергии по тепломагистрали ТЭЦ-2 — ТЭЦ-1 с аккумуляторными баками;
- система топливоснабжения, предназначенная для подачи твёрдого и жидкого топлива, а также маслохозяйство;
- система водоподготовки для подпитки котлов и теплосетей;
- система выдачи электрической мощности в энергосистему;
- система рециркуляционного технического водоснабжения, включающая в себя вентиляторные градирни;
- система комбинированного золошлакоудаления;
- система водоснабжения и водоотведения.

Ниже на рисунке 2.3 представлена схема генерального плана ТЭЦ-2, на которой отражены ключевые структурные элементы станции, их конфигурация и функциональное зонирование [5]. Данная информация служит основой для принятия проектных решений при переходе станции на природный газ и размещении новых технологических объектов.



Рисунок 2.3 - Схема генерального плана ТЭЦ-2 АО "АлЭС"

В настоящее время в качестве основного вида топлива на ТЭЦ-2 АО «АлЭС» используется экибастузский каменный уголь, характеризующийся

низшей теплотворной способностью $Q_{рн} = 4111$ ккал/кг, содержанием золы $A_p = 41,27$ %, влажностью $W_p = 5,0$ %, и содержанием серы $S_p = 0,5-0,7$ %. В качестве растопочного топлива применяется мазут. Среднегодовое потребление угля составляет порядка 2,5 млн тонн.

Паровые котлы ст. №1–7 изначально были спроектированы под сжигание Карагандинского угля. Однако в связи с прекращением поставок проектного топлива, в течение длительного периода на котлах используется экибастузский уголь. Это привело к превышению допустимой скорости движения дымовых газов в конвективной шахте и, как следствие, к ускоренному износу поверхностей нагрева. После выполнения реконструкции шахты с монтажом обводного газохода (по проекту РСПП «Казтехэнерго») паропроизводительность котлов №1–7 была ограничена 380 т/ч при сжигании непроектного топлива.

Котлоагрегаты ТЭЦ-2 представляют собой вертикально-водотрубные, однобарабанные, однокорпусные установки с естественной циркуляцией. Топочные камеры выполнены с твердым шлакоудалением и оснащены пылеугольными горелками, интегрированными с мазутными форсунками.

Горелочные устройства установлены в один ярус на боковых стенках топки и располагаются встречно на одной высотной отметке.

Станция эксплуатируется более 30 лет, что привело к естественному износу основного и вспомогательного оборудования. На текущий момент его техническое состояние оценивается как удовлетворительное.

Очистка дымовых газов от твердых частиц осуществляется с помощью мокрых золоуловителей — батарейных эмульгаторов, эффективность которых достигает $\leq 99,5$ %. В этих установках также улавливается незначительная доля диоксида серы (в пределах 8–12 %). Батарейные эмульгаторы являются наиболее распространенным типом золоулавливающего оборудования, применяемым на ТЭЦ в Республике Казахстан. В рамках мероприятий по снижению эмиссий проведена реконструкция котлов, направленная на уменьшение образования оксидов азота.

3. Основные направления воздействия ТЭЦ-2 на окружающую природную среду

Основные направления воздействия на окружающую среду при эксплуатации ТЭЦ-2 представлены схематично на рисунке 3 [5].

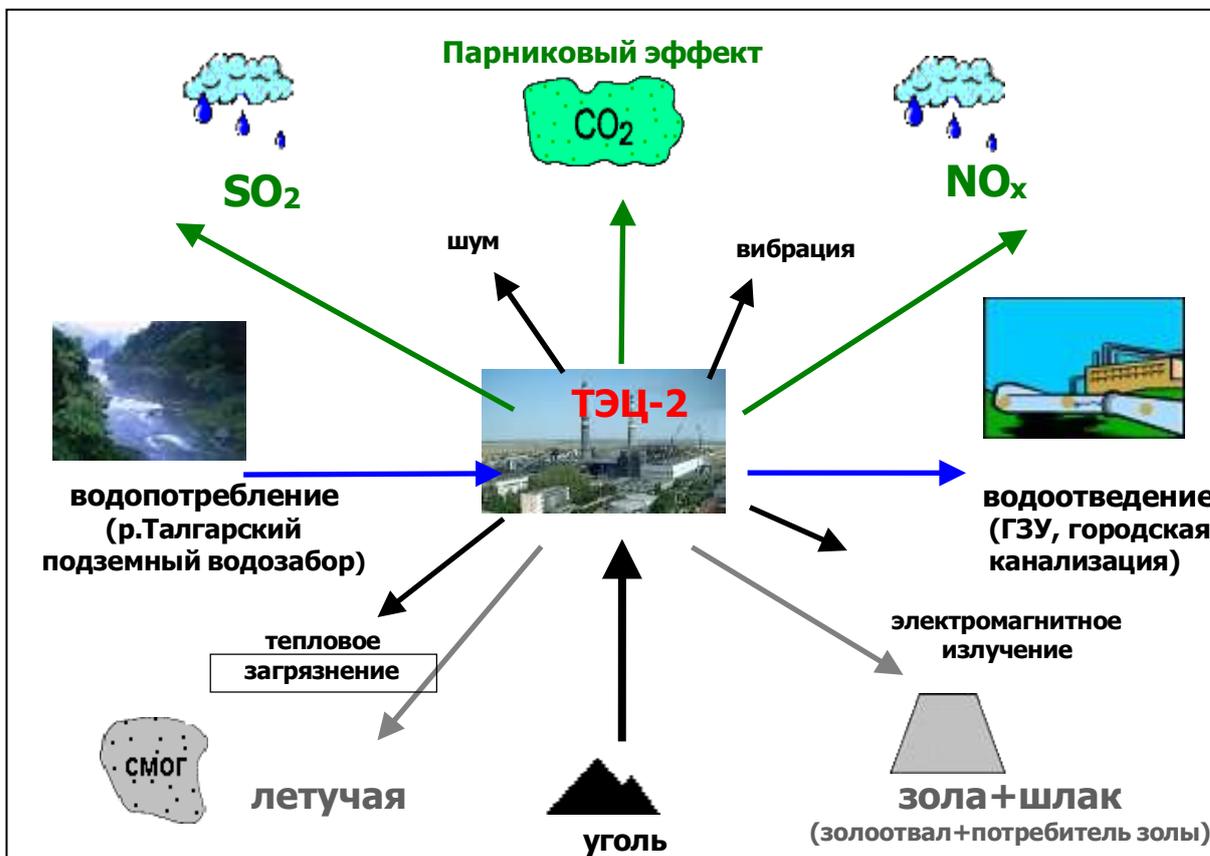


Рисунок 3. Основные направления воздействия ТЭЦ-2 на окружающую среду

Процесс выработки электроэнергии на угольной теплоэлектростанции сопровождается сжиганием органического топлива, в результате чего образуются продукты сгорания, включающие летучую золу, несгоревшие частицы топлива, оксиды серы и азота, а также другие газообразные соединения, возникающие при неполном сгорании. В золе нередко присутствуют тяжелые металлы, свободный диоксид кремния, оксид кальция и другие соединения.

Эти выбросы оказывают неблагоприятное влияние на состояние окружающей среды, способствуя формированию кислотных осадков и усилению парникового эффекта, который в перспективе может привести к засухам. Дополнительным направлением воздействия являются выбросы, возникающие при транспортировке и складировании топлива, включая этапы пылеприготовления и золоудаления. В этих процессах возможно пылевое загрязнение и выброс продуктов окисления топлива.

Значительные участки земельных ресурсов заняты под золошлакоотвалы. Эти участки в течение долгого времени не вовлекаются в хозяйственную

деятельность и становятся источником накопления тяжёлых металлов, которые могут распространяться по воздуху или попадать в водную среду. Для обеспечения технологических процессов ТЭЦ-2 потребляет значительные объёмы воды, в том числе из природных источников и, в ряде случаев, питьевого качества.

Дополнительное воздействие на окружающую среду оказывает шум, вибрация, тепловое и электромагнитное излучение, возникающее в процессе работы оборудования.

На основании анализа текущей деятельности установлено, что основными направлениями воздействия ТЭЦ-2 являются:

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- потребление водных ресурсов для охлаждения оборудования и технологических нужд станции;
- размещение золошлаковых отходов на территории золоотвала.

Эти виды воздействия являются устойчивыми и имеют длительный характер, сохраняющийся на протяжении всего срока эксплуатации станции. Наиболее значительное влияние оказывает загрязнение атмосферного воздуха, особенно за счёт выбросов через дымовые трубы. Остальные источники воздействия можно охарактеризовать как локальные и ограниченные территорией санитарно-защитной зоны ТЭЦ-2.

Воздействие, связанное с использованием водных ресурсов, также имеет ограниченный масштаб, поскольку осуществляется преимущественно в пределах промплощадки и территории золоотвала. Аналогичным образом, размещение золошлаковых отходов влияет на окружающую среду в пределах отведённого под золоотвал участка.

3.1. Выбросы в атмосферу

Выбор эффективной стратегии по снижению загрязнения атмосферного воздуха в городе требует предварительного анализа текущего состояния воздушного бассейна и определения ключевых источников выбросов. Одним из таких источников является ТЭЦ-2, оказывающая значительное влияние на экологическую обстановку в городе.

В процессе сжигания экибастузского каменного угля в котельных установках станции образуются и выбрасываются в атмосферу различные загрязняющие вещества. Среди них — неорганическая пыль (в составе золы 70–20 % диоксида кремния SiO_2), диоксид азота, диоксид серы, а также оксид углерода. Все эти вещества отводятся с дымовыми газами через две дымовые трубы, каждая высотой 129 метров.

Основной вклад в общий объём загрязняющих выбросов ТЭЦ-2 приходится именно на газообразные компоненты, доля которых составляет около 80 %. Из них наиболее значимыми по объёму являются диоксид серы — 55 % и диоксид азота — 21 % от общего объёма газовых выбросов станции. Данные по эмиссиям представлены в таблице 2 [5].

Таблица 2 - Эмиссии загрязняющих веществ после модернизации ТЭЦ-2, мг/нм³

Показатели	Текущее состояние	Требования РК	Требования ЕС	Перевод на газ
Топливо	уголь	Уголь/газ	Уголь/газ	100
NO _x	650	650/125/50*	200/100/50*	-
SO ₂	1500	2000	200	-
Зола	400	400	20	-

* котел на угле/ котел на газе/ газовая турбина

3.2. Водопотребление и водоотведение

Источниками водоснабжения ТЭЦ-2 АО «АлЭС» являются:

– подземные воды питьевого качества Талгарского месторождения, расположенного в 25 км от города Алматы. Подача воды осуществляется по договору с ГКП на ПВХ «Бастау»;

– подземные воды Боралдайского месторождения (питьевого качества), поступающие из скважин собственного водозабора станции. Использование данного ресурса осуществляется на основании разрешения на специальное водопользование №19-08-02-83/670 от 28.10.2015 года.

Вода из Талгарского месторождения транспортируется на производственную площадку ТЭЦ-2 по четырём магистралям: двум водоводам диаметром 700 мм и двум диаметром 800 мм. Основными направлениями её использования являются:

- подпитка теплосети города для нужд горячего водоснабжения;
- компенсация безвозвратных потерь в системе технического водоснабжения станции;
- восполнение безвозвратных потерь в технологическом цикле станции;
- водоснабжение подсобно-вспомогательных зданий и сооружений.

Вода из скважин собственного водозабора используется преимущественно для получения химически обессоленной воды, необходимой для подпитки паровых котлов.

В таблице 3 представлены данные по водопотреблению и водоотведению [5].

Таблица 3 - Водопотребление и водоотведение ТЭЦ-2 (отчет), тыс. м³ /год

Наименование	2018г.	2019г.	2020г.
Водопотребление, всего, в т.ч.:	306100,172	316620,564	317221,200
Водопотребление свежей воды из источника	33100,083	36124,264	33847,400
Использование оборотной воды	270258,480	277280,300	281676,000
Повторное использование	2741,609	3216,000	1697,800
Водоотведение в городскую канализацию	73,442	77,400	86,700
Коэффициент использования водных ресурсов, %	99,98%	99,98%	99,97%

3.3. Вклад валовых выбросов ТЭЦ-2 в общегородские выбросы

Одним из ключевых экологических вызовов для мегаполиса Алматы остаётся высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. Основными источниками эмиссии загрязняющих веществ в городской черте являются автотранспортные средства, объекты теплоэнергетики, а также индивидуальные системы отопления частного жилого сектора. Однако вопрос о доминирующем влиянии тех или иных секторов на общее состояние воздушного бассейна остаётся дискуссионным из-за отсутствия актуальной и унифицированной системы государственного учёта выбросов от передвижных источников.

С 2005 года в официальной статистике Республики Казахстан прекратилось регулярное опубликование данных по выбросам от автотранспорта. Это связано, прежде всего, с отсутствием утверждённой государственной методики оценки таких выбросов, а также с недостаточной обеспеченностью современными средствами мониторинга. В результате оценка вклада автомобильного транспорта осуществляется фрагментарно — в основном в рамках научных и проектных исследований.

По результатам оценки, выполненной в 2010–2014 годах рядом научных коллективов, доля автотранспортных выбросов в структуре общего загрязнения воздуха в Алматы достигала 80–90 %. Аналогичные выводы были сделаны профессором Е.А. Джайлаубековым, проводившим инвентаризацию выбросов автотранспорта на базе методик Европейского агентства по охране окружающей среды (ЕЕА). В тот же период вклад энергетического сектора оценивался в диапазоне от 3 до 13 %, что подчёркивало относительную вторичность стационарных источников по сравнению с транспортными.

Ситуация начала меняться после административного включения ТЭЦ-2 в границы города в 2014 году. Согласно расчётам, объём выбросов станции составил около 33 тыс. тонн в год, что эквивалентно 11,5 % от общего объёма городских эмиссий. По данным экологического отчёта, подготовленного ТОО «Экосервис-С», к 2018 году вклад станции в загрязнение атмосферы увеличился до 27 %, несмотря на то, что уровень выбросов ТЭЦ-2 практически не изменился.

Основным фактором роста доли энергетики стало относительное снижение доли автотранспорта, связанное с улучшением качества топлива, технического состояния автомобилей, а также частичной заменой старого парка на новые модели.

Тем не менее, автомобильный транспорт продолжает оставаться доминирующим источником загрязнения в городе. По оценкам на 2018–2020 годы, его вклад составляет около 65 %, что обусловлено высокой плотностью автотранспорта: в городе зарегистрировано свыше 500 тысяч транспортных средств, к которым ежедневно добавляется порядка 200 тысяч автомобилей, прибывающих из пригородов и других регионов.

Таким образом, на фоне изменения структуры источников загрязнения доля Алматинской ТЭЦ-2 в формировании экологической нагрузки возрастает. Это подчёркивает необходимость её модернизации, в том числе с точки зрения выполнения целевых показателей по снижению выбросов. В таблице 4 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) и классы опасности отдельных веществ, эмитируемых в атмосферу при работе ТЭЦ-2 [5].

Таблица 4 – ПДК и класс опасности некоторых загрязняющих веществ

Код ЗВ	Наименование вещества	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Класс опасности
0301	Азота (IV) диоксид (Азота диоксид)	0,2	0,04	3
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,4	0,06	3
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый, Сернистый газ, Сера (IV) оксид)	0,5	0,05	3
0337	Углерод оксид (Окись углерода, Угарный газ)	5,0	3,0	4
2908	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния в %: 70-20 (шамот, цемент, пыль цементного производства – глина, зола угля казахстанских месторождений)	0,3	0,1	3
4008	Взвешенные частицы РМ-10	0,30	0,060	
4010	Взвешенные частицы РМ-2,5	0,16	0,035	

3.4. Условия рассеивания загрязняющих веществ

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха и эффективности его рассеивания важное значение имеют метеорологические параметры, характеризующие климатические особенности района размещения ТЭЦ-2. К ним относятся: температура наружного воздуха, характеристики ветрового режима, коэффициенты рельефа, стратификации атмосферы, а также роза ветров — графическое отображение преобладающих направлений и частоты ветров за определённый период времени.

В таблице 5 представлены основные метеорологические характеристики, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере. Коэффициент А отражает уровень стратификации атмосферы, то есть её устойчивость к вертикальному перемешиванию [5]. Коэффициент рельефа Кр учитывает влияние ландшафта на формирование воздушных потоков. Температурные параметры характеризуют среднюю температуру наиболее холодного и жаркого месяцев, а также среднегодовую температуру воздуха. Также приведены данные по повторяемости ветров по направлениям, включая штиль.

Таблица 5 - Основные метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере

№ пп	Наименование характеристики	Обозначение Размерность	Величина
1.	Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы	А	200
2.	Коэффициент рельефа местности	Кр	1
3.	Средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца	Тз, °С	-5,3
4	Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца	Тл, °С	+29,7
6.	Среднегодовая температура наружного воздуха	t° °С	9,8
7.	Скорость ветра, повторяемость которой не превышает 5%	И*, м/с	3.0
8	Повторяемость ветра по направлениям: - северное (С) - северо-восточное (СВ) - восточное (В) - юго-восточное (ЮВ) - южное (Ю) - юго-западное (ЮЗ) - западное (З) - северо-западное (СЗ) штиль	%	8 12 6 35 15 11 7 6 21

Роза ветров на рисунке 3.2 и 3.3 демонстрирует, что в районе ТЭЦ-2 преобладают юго-восточные и южные ветры, с долей 35 % и 15 % соответственно [6]. Это означает, что перенос выбросов от станции преимущественно осуществляется в северо-западном направлении — именно там формируется зона активного загрязнения, на которую приходится основная

часть приземных концентраций вредных веществ. Наличие штиля (21 %) и слабых ветров усиливает эффект накопления загрязняющих веществ, особенно в зимний период, когда часто наблюдаются температурные инверсии и застой воздуха в нижнем слое атмосферы.



Рисунок 3.2 - Характеристика ветрового режима

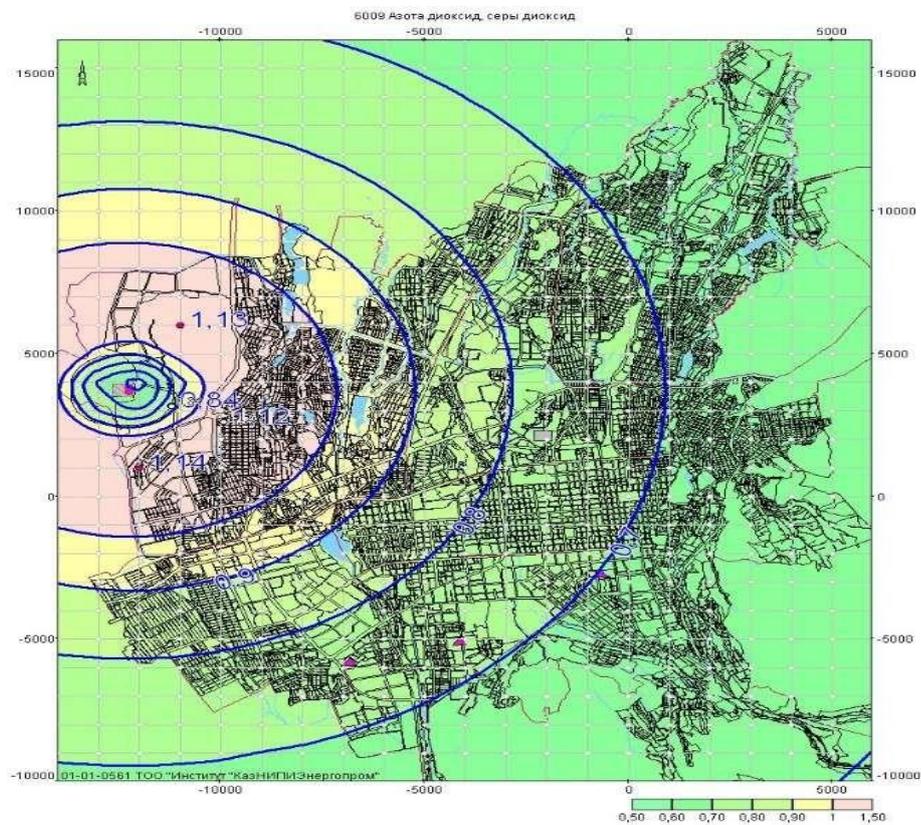


Рисунок 3.3 - Зона активного загрязнения выбросами ТЭС-2

3.5 Воздействие в жилой зоне

Расчёты, проведённые на основании моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, приведенные в таблице 6, показали, что действующая ТЭЦ-2 оказывает разное влияние на общий уровень загрязнения воздуха в городе в зависимости от режима её работы [5].

При максимальной нагрузке на оборудование станции наибольший вклад в загрязнение атмосферы наблюдается по диоксиду серы — до 98 %. Это указывает на то, что уровень содержания этой примеси в воздухе в значительной степени определяется выбросами от ТЭЦ-2. Второе место занимают взвешенные вещества, вклад которых составляет порядка 57 %. Замыкает тройку диоксид азота — 30 % от общего уровня загрязнения. Влияние по оксиду углерода в данных условиях не выявлено.

В случае среднегодовой эксплуатационной нагрузки вклад ТЭЦ-2 по всем основным загрязняющим веществам значительно ниже и не превышает 1 %. Это свидетельствует о том, что при номинальной нагрузке станции её влияние на фоновые концентрации загрязняющих веществ в городской атмосфере является минимальным.

Таким образом, влияние выбросов ТЭЦ-2 на состояние атмосферного воздуха значительно усиливается при неблагоприятных метеоусловиях и работе в пиковом режиме. Наиболее объективную картину участия ТЭЦ-2 в формировании загрязнения воздуха города отражают среднегодовые показатели, так как они учитывают реальный режим эксплуатации оборудования.

Таблица 6 - Анализ влияния существующей ТЭЦ-2 на уровень загрязнения атмосферы в жилой зоне

Наименование	Концентрация ЗВ в атмосферном воздухе							
	при максимальной нагрузке ТЭЦ-2				при среднегодовой нагрузке ТЭЦ-2			
	Всего, доли ПДК _{мр} , в т.ч	фон	ТЭЦ-2	Доля вклада ТЭЦ-2, %	Всего, доли ПДК _{сс} , в т.ч	фон	ТЭЦ-2	Доля вклада ТЭЦ-2, %
Азота диоксид	1,18	0,830	0,35	30%	1,630	1,627	0,0065	0,16%
Сера диоксид	0,41	0,007	0,40	98%	1,540	1,535	0,0054	0,35%
Углерод оксид	0,98	0,980	0,00	0%	1,470	1,47	0	0,00%
Взвешенные вещества (Пыль неорганиче	1,02	0,440	0,58	57%	1,070	1,065	0,0051	0,48%

ская: 70-20% SiO ₂ с учетом фона)								
Азота диоксид, серы диоксид	1,47	0,720	0,75	51%	3,170	3,162	0,008	0,25%

На основании расчётной оценки установлено, что выбросы мелкодисперсных частиц (PM₁₀ и PM_{2.5}) по таблице 7, поступающие от ТЭЦ-2, на существующем уровне эксплуатационной нагрузки не создают в атмосфере концентраций, превышающих санитарно-гигиенические нормативы [5]. Среднегодовые значения показывают, что вклад станции в загрязнение воздуха мелкодисперсными веществами является крайне низким.

Таблица 7 - Приземная концентрация мелкодисперсных взвешенных веществ в атмосферном воздухе города, создаваемая выбросами ТЭЦ-2

Вещество	Среднегодовая концентрация			
	мг/м ³	ПДК сс, мг/м ³	Доли, ПДК сс	Вклад ТЭЦ-2
PM 10	0,6 / 0,017	0,06	10 / 0,20	2,0 %
PM 2,5	0,8 / 0,012	0,035	23 / 0,34	1,5%

В числителе – с учетом фона.

Влияние выбросов ТЭЦ-2 на загрязнение воздушного бассейна города по результатам оценки можно охарактеризовать следующим образом:

- по объёму валовых выбросов: в 2014 году доля ТЭЦ-2 составила 13 % от общегородских выбросов, в 2018 году — 27 %. Разница обусловлена различиями в методиках расчёта выбросов автотранспорта, а также отсутствием точных данных по отдельным ингредиентам, что затрудняет выделение удельной доли ТЭЦ-2 по каждому веществу;
- по влиянию на уровень загрязнения атмосферы при различных режимах работы станции:

При максимальной нагрузке:

– по диоксиду серы вклад составляет до 98 %, что позволяет утверждать, что концентрации этой примеси в атмосфере в основном формируются за счёт выбросов ТЭЦ-2. При этом следует отметить, что фоновый уровень загрязнения по SO₂ остаётся ниже установленной ПДК;

– по взвешенным веществам — 57 %;

– по диоксиду азота — 30 %;

– по оксиду углерода влияние не выявлено.

При среднегодовой нагрузке:

– вклад ТЭЦ-2 по всем загрязняющим веществам не превышает 1 %.

Важно учитывать, что оценки, выполненные для максимального режима работы Алматинской ТЭЦ-2, как правило, основываются на допущении экстремальных условий эксплуатации оборудования. Эти расчёты базируются на наихудших возможных метеоусловиях, когда наблюдаются такие явления, как температурная инверсия, низкая турбулентность воздуха и слабый ветер, что способствует накапливанию загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы. Также они предполагают максимальные объёмы выбросов, соответствующие пиковым нагрузкам на энергосистему. Однако в реальной практике функционирования станции такие режимы наблюдаются эпизодически и не представляют собой постоянный фон работы объекта. В связи с этим для объективной и устойчивой оценки экологической нагрузки, оказываемой ТЭЦ-2 на окружающую среду и, в частности, на прилегающие жилые зоны, целесообразно использовать данные среднегодового мониторинга. Именно такие показатели дают более точное представление об уровне воздействия на здоровье населения и экологическое состояние территории. Анализ результатов многолетнего наблюдения за выбросами показывает, что в среднем по году уровень загрязнения атмосферного воздуха, обусловленного деятельностью станции, не превышает нормативных значений. Более того, в ряде случаев вклад ТЭЦ-2 в общее загрязнение атмосферного воздуха города оказывается минимальным по сравнению с совокупным воздействием других источников, таких как автотранспорт, частные угольные котельные и строительные площадки. Тем не менее, даже в условиях среднегодовых концентраций, экологическая нагрузка со стороны ТЭЦ-2 сохраняет свою актуальность, особенно с точки зрения локального влияния на жилую застройку, расположенную в зоне потенциального воздействия. Основным источником вредного воздействия являются выбросы, образующиеся в результате сжигания экибастузского угля, который отличается высоким содержанием золы и серы. В первую очередь это такие вещества, как диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), а также твёрдые частицы, которые включают золу, пыль и мелкодисперсные фракции. В совокупности эти факторы свидетельствуют о том, что при всей формальной нормативности работы станции, её долгосрочное и накопительное влияние на жилую зону сохраняется. Особенно это касается территорий, расположенных в направлении преобладающих ветров (как правило, северо-западных), где загрязняющие вещества могут достигать жилой застройки, ухудшая качество воздуха и потенциально влияя на здоровье населения.

4. Технологическое решение

Проект модернизации Алматинской теплоэлектростанции №2 (ТЭЦ-2) предусматривает полномасштабную реконструкцию производственной инфраструктуры, включая замену морально и физически устаревшего энергетического оборудования, а также переход с угольного топлива на природный газ. Концептуальная основа модернизации заключается во внедрении инновационных парогазовых технологий (ПГУ), обладающих высоким уровнем топливной эффективности и минимальным уровнем вредных выбросов в окружающую среду.

На момент начала проектирования станция эксплуатирует восемь паровых котлоагрегатов и четыре турбогенераторные установки, работающие на низкокалорийном экибастузском угле. Совокупная электрическая мощность ТЭЦ-2 составляет порядка 510 МВт, а тепловая — 1234 Гкал/ч. Используемая технология сжигания угля сопровождается значительными выбросами загрязняющих веществ. Мониторинг состояния окружающей среды фиксирует регулярное превышение установленных нормативов по загрязнению воздуха в зоне влияния станции, особенно в зимний период, когда условия рассеивания выбросов ухудшаются.

В рамках модернизации предусматривается строительство парогазового энергоблока с установленной мощностью 280–300 МВт. Установка будет включать газовую турбину, котёл-утилизатор и паровую турбину. КПД оборудования составит до 58 %. Энергоблоки будут оборудованы автоматизированной системой управления и экологического мониторинга. Газовое топливо позволит устранить зольные выбросы и сократить выбросы сернистых и азотистых соединений.

Одним из наиболее весомых эффектов модернизации станет снижение техногенного воздействия на окружающую среду. Переход на природный газ полностью исключит образование золошлаковых отходов и пылевых выбросов, а также обеспечит сокращение объёмов выбросов диоксида серы на 88 %, оксидов азота — на 60 %. Это позволит значительно улучшить санитарно-гигиеническую обстановку в районах, прилегающих к ТЭЦ-2, и обеспечить соблюдение экологических нормативов.

Для повышения надёжности работы энергетического оборудования и повышения уровня автоматизации будет внедрена современная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), которая обеспечит стабильность параметров функционирования станции и своевременное реагирование на отклонения. Дополнительно предусмотрено создание системы непрерывного экологического мониторинга, с возможностью отслеживания параметров выбросов в режиме реального времени, что обеспечит прозрачность и контроль за соблюдением экологических требований.

Проект также охватывает ряд инженерно-технических и природоохранных мероприятий, включая установку герметичных систем подачи и распределения газа, установку шумоизолирующих экранов вдоль магистральных коммуникаций, сооружение систем сбора и очистки

производственно-бытовых и ливневых сточных вод. Реализация этих мер позволит не только снизить техногенное давление на природную среду, но и повысить устойчивость городской энергетической системы.

Ожидается, что модернизация ТЭЦ-2 обеспечит не только экологический, но и энергетический эффект: надёжное теплоснабжение жителей города Алматы, снижение эксплуатационных затрат, повышение технологической гибкости станции и соответствие современным международным стандартам. Для визуального сопоставления показателей работы станции до и после модернизации в дипломной работе представлена таблица 8 [5].

Таблица 8 – Сравнительная характеристика ТЭЦ-2 до и после модернизации.

Параметры	До модернизации (уголь)	После модернизации (газ)
Электрическая мощность, МВт	510	300 (1 блок)
Тепловая мощность, Гкал/ч	1234	600–700
КПД станции, %	35–38	55–58
Выбросы твёрдых частиц, т/год	12 000	0
Выбросы SO ₂ , т/год	24 000	3 000
Выбросы NO _x , т/год	16 000	6 500

5. Эколого-экономический эффект

Одной из важнейших составляющих процесса модернизации Алматинской теплоэлектроцентрали №2 (ТЭЦ-2) является комплексная эколого-экономическая оценка проекта. Данный этап необходим для объективного анализа эффективности предлагаемых технических решений не только с точки зрения повышения производительности и снижения эксплуатационных затрат, но и с учётом воздействия на окружающую среду и санитарно-гигиеническую обстановку в прилегающих к станции районах.

Проведение эколого-экономического обоснования (ЭЭО) позволяет установить степень соответствия проекта принципам устойчивого развития, а также определить баланс между технологическим обновлением оборудования, снижением антропогенной нагрузки и экономической рентабельностью вложений. Особое внимание в рамках оценки уделяется объёмам выбросов загрязняющих веществ и их влиянию на состояние атмосферного воздуха, так как ТЭЦ-2 на протяжении многих лет входит в число крупнейших стационарных источников загрязнения в городе Алматы.

Переход на природный газ снизит не только эмиссии, но и затраты на оплату экологических сборов. По расчётам, сумма платы за выбросы до модернизации составляла более 2,6 млрд тенге в год. После перехода — ожидается снижение затрат на 70–80 %.

Помимо положительного экологического эффекта, модернизация ТЭЦ-2 влечёт за собой снижение финансовых затрат предприятия на оплату экологических издержек. Так, замена угольного топлива на природный газ позволяет полностью исключить расходы, связанные с транспортировкой, складированием и утилизацией золошлаковых отходов. Кроме того, значительно уменьшаются суммы платежей за эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу, которые в соответствии с экологическим законодательством Республики Казахстан рассчитываются на основе ставок, дифференцированных по видам загрязнителей и их степени опасности.

В таблице 9 приведены ставки платы за выбросы загрязняющих веществ. Расчёт показал, что переход на газовое топливо позволяет сэкономить сотни миллионов тенге ежегодно, одновременно снижая санитарную нагрузку на население и улучшая качество атмосферного воздуха в городе Алматы [5].

Таким образом, реализация проекта модернизации ТЭЦ-2 обеспечит сочетание экономической выгоды и значительного экологического эффекта, что делает его стратегически целесообразным шагом в развитии городской энергетической системы.

Для количественной оценки экологической и экономической выгоды от перевода ТЭЦ-2 на природный газ выполнен расчёт платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников. Расчёт осуществляется в соответствии с положениями Налогового кодекса Республики Казахстан, на основании установленных ставок платы за выбросы различных загрязняющих веществ. Итоговые данные платежей за эмиссии в ОС до модернизации приведены в таблице 10 [5].

Таблица 9 - Ставки платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников

№ п/п	Виды загрязняющих веществ	Ставки платы за 1 тонну (МРП)	Ставки платы за 1 килограмм (МРП)
1	2	3	4
1.	Оксиды серы (SO _x)	20	
2.	Оксиды азота (NO _x)	20	
3.	Пыль и зола	10	
4.	Свинец и его соединения	3 986	
5.	Сероводород	124	
6.	Фенолы	332	
7.	Углеводороды	0,32	
8.	Формальдегид	332	
9.	Монооксид углерода	0,32	
10.	Метан	0,02	
11.	Сажа	24	
12.	Окислы железа	30	
13.	Аммиак	24	
14.	Хром шестивалентный	798	
15.	Окислы меди	598	
16.	Бенз(а)пирен		996,6

*МРП в 2025 году за 1 тонну составляет 3932 тенге. (Налоговый кодекс)

Расчет платы за размещенный объем отходов ТКО в пределах нормативов эмиссий

Расчет платы за размещенный объем *i*-го вида отходов потребления в пределах нормативов эмиссий осуществляется по следующей формуле:

$$C_{\text{отх.}}^i = N_{\text{отх.}}^i \times M_{\text{отх.}}^i \quad (5.1)$$

Где $C_{\text{отх.}}^i$ – плата за размещение *i*-го вида отходов производства и потребления (МРП);

$N_{\text{отх.}}^i$ – ставка платы за размещение 1 тонны *i*-го вида отходов производства и потребления, установленная в соответствии с налоговым законодательством Республики Казахстан (МРП/тонн), устанавливается по таблице 9;

$M_{\text{отх.}}^i$ – масса *i*-го вида отходов производства и потребления, размещенного природопользователем в процессе производственной деятельности за отчетный период (тонн, Гбк – для радиоактивных отходов).

Таблица 10 – Платежи за эмиссии в ОС до модернизации

Наименование вещества	Масса выбросов, т/год	Ставка платы, тг/т	Сумма платы, тг
Диоксид серы (SO ₂)	24 000	20 * 3932	1 887 360 000
Оксиды азота (NO _x)	16 000	20 * 3932	1 258 240 000
Твердые частицы (пыль)	12 000	10 * 3932	154 606 240
Углеводороды (C _n H _m)	1 500	0,32 * 3932	1 887 360
Итого			3 302 093 600

Кроме газовых выбросов, ТЭЦ-2 ежегодно образует большие объёмы золы — до 135 тысяч тонн. За её размещение на специальных картах тоже взимается плата. Как видно из таблицы 11, эти расходы составляют более 350 миллионов тенге в год. Это ещё один довод в пользу перехода на более экологичное топливо.

Таблица 11 – Платежи за отходы золы и золошлаков

Вид отхода	Масса выбросов, т/год	Ставка платы, тг/т	Сумма платы, тг
Зола и золошлаки	135 000	0,66* 3932	350 341 200

После перевода ТЭЦ на газ отходы золошлаков будут полностью устранены в связи с переводом на газотурбинную установку. Благодаря сокращению выбросов после перехода на газ, значительно уменьшатся и затраты на оплату эмиссий. В таблице 12 представлены расчёты по оксидам азота — даже при наличии этих выбросов сумма платы гораздо меньше, чем раньше. Это подтверждает выгоду модернизации не только для экологии, но и для экономики.

Таблица 12 – Платежи за эмиссии в ОС после модернизации

Наименование вещества	Масса выбросов, т/год	Ставка платы, тг/т	Сумма платы, тг
Оксиды азота (NO _x)	1672,455	20 * 3932	131 521 861

Существующая схема технического водоснабжения ТЭЦ-2 сохраняется в виде замкнутого оборотного контура. Функцию охладителей выполняют шесть действующих вентиляторных градирен плёночного типа, каждая из которых состоит из двух секций и имеет площадь орошения по 648 м². В летний период, при работе станции в режиме конденсации, максимальный расход воды в системе составляет до 48 000 м³/ч.

Охлаждение подшипников котельного и турбинного оборудования осуществляется с использованием циркуляционной воды в пределах оборотного цикла. Продувочные воды циркуляционной системы проходят через установку водоподготовки (ВПУ) и далее направляются на повторное использование — для подпитки тепловой сети города.

Сточные воды, образующиеся при эксплуатации ВПУ циркуляционного цикла, а также очищенные нефтесодержащие стоки от главного корпуса и мазутохозяйства, поступают на испарительное поле, размещённое на территории существующего золоотвала. Хозяйственно-бытовые сточные воды сбрасываются в городскую систему канализации.

После модернизации работа станции будет вызывать меньшее воздействие на окружающую среду. Таблица 13 показывает, какие изменения ожидаются. Самое главное — полное прекращение образования золошлаковых отходов. Также сократятся выбросы в атмосферу. Появятся небольшие объёмы сточных вод, но они будут очищаться, и вреда экологии это не нанесёт.

Таблица 13 - Основные направления воздействия на окружающую среду после модернизации ТЭЦ-2

Компонент окружающей среды	Существующее состояние	После модернизации
Выбросы в атмосферу	+	+
Сбросы в водные объекты	-	+
Захоронение золошлаковых отходов	+	-

6. Оценка риска здоровью населения от воздействия выбросов ТЭЦ-2

В рамках экологического анализа деятельности теплоэлектростанции важно не только оценить объем и состав выбросов в атмосферу, но и определить, насколько они могут повлиять на здоровье населения, проживающего в зоне воздействия. Одним из ключевых инструментов для этого является расчёт индивидуального (хронического) риска — количественного показателя, отражающего вероятность возникновения неблагоприятных последствий при длительном вдыхании загрязнённого воздуха.

Данный раздел посвящён оценке риска здоровью населения, обусловленного действием приоритетных загрязняющих веществ, выбрасываемых ТЭЦ-2. В ходе работы использованы методические рекомендации по гигиенической оценке химических факторов, установленные в Республике Казахстан, а также нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) атмосферных загрязнителей.

Для расчёта риска применяются показатели токсикологической опасности веществ, величины их фактических концентраций в воздухе и соответствующие формулы, позволяющие получить количественную оценку возможного вреда для здоровья человека. Полученные результаты позволяют выявить, какие из загрязнителей являются наиболее опасными, и служат основой для последующих экологических решений и предложений по улучшению качества окружающей среды.

Расчет риска здоровью населения, проживающего вблизи ТЭЦ 2 [12].

Для расчета риска хронической интоксикации организма человека, в результате загрязнения атмосферы, в большинстве случаев используется линейно-экспоненциальная зависимость, которая описывается формулой (6.1) с приложения А.

$$R_z = 1 - \exp \left[-0,174 \left(\frac{C}{ПДК_{с.с.} * K_z} \right)^\beta * t \right], \quad (6.1)$$

где: $1/K_z$ — единичный риск — коэффициент пропорциональности, связывающий риск и концентрацию токсиканта (таблица 3);

β — коэффициент, учитывающий особенности токсикологических свойств веществ ;

C — максимальная приземная концентрация вещества, оказывающая воздействие в течение времени;

$ПДК_{с.с.}$ — предельно допустимая среднесуточная концентрация загрязняющего вещества в воздухе населенных пунктов, $мг/м^3$. Параметры для расчета риска представлены в таблице 14 [12].

Таблица 14. Параметры для расчета риска

Класс опасности вещества	Характеристика веществ	β	K_3
1-й	Чрезвычайно опасные	2,40	7,5
2-й	Высокоопасные	1,31	6,0
3-й	Умеренно опасные	1,00	4,5
4-й	Малоопасные	0,86	3,0

Расчет риска был произведен по формулам представленным в таблице 15.

Таблица 15 – Формулы расчета риска

Класс опасности вещества	Формула
1-й	$ВЭ = -9,15 + 11,66 \lg(C/ПДК_{м.р.})$
2-й	$ВЭ = -5,51 + 7,49 \lg(C/ПДК_{м.р.})$
3-й	$ВЭ = -2,35 + 3,73 \lg(C/ПДК_{м.р.})$
4-й	$ВЭ = -1,41 + 2,33 \lg(C/ПДК_{м.р.})$

где: ВЭ - вероятность эффекта (риск), выраженный в пробитах, определяется по таблице 17 нормального вероятностного распределения.

Расчет риска здоровью жителей проживающих вблизи ТЭЦ был проведен согласно формулам в таблице 15, полученные данные были сведены в таблицу 16 [12].

Таблица 16 - Расчет риска

Наименование загрязняющих веществ	ПДКсс	Класс опасности ЗВ	Концентрация ЗВ в атмосферном воздухе	ВЭ	Риск
Азота диоксид	0,04	3	0,35	1,16369	0,88
Сера диоксид	0,06	3	0,4	-2,31	0,02
Взвешенные вещества (Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂ с учетом фона)	0,1	3	0,58	0,497586	0,692
PM 10	0,06	3	0,6	1,38	0,911
PM 2,5	0,035	2	0,8	-2,82093	0,006

В таблице 16 собраны конкретные данные по основным загрязняющим веществам, выбрасываемым ТЭЦ-2. Для каждого вещества указаны норматив ПДК, фактическое содержание в воздухе, класс опасности, а также расчётные значения ВЭ и риска. Результаты показывают, что наибольший риск представляет пыль РМ10 и диоксид азота — их значения риска превышают 0,8, что указывает на высокую опасность. Наименьший риск показал РМ2.5, что может быть связано как с меньшей концентрацией, так и с особенностями расчёта.

Таблица 17 служит для перевода полученного значения ВЭ (пробит) в конкретную численную вероятность риска. Например, если по расчётам ВЭ составил 1.3, то риск будет равен 0.903, что означает примерно 90% вероятность неблагоприятного воздействия. Таблица позволяет быстро интерпретировать числовые результаты и сделать выводы о степени угрозы.

Таблица 17 - Нормальное вероятностное распределение

ВЭ (пробит)	Риск	ВЭ (пробит)	Риск
-3,0	0,001	0,1	0,540
-2,5	0,006	0,2	0,579
- 2,0	0,023	0,3	0,618
- 1,9	0,029	0,4	0,655
- 1,8	0,036	0,5	0,692
- 1,7	0,045	0,6	0,726
- 1,6	0,055	0,7	0,758
- 1,5	0,067	0,8	0,788
- 1,4	0,081	0,9	0,816
- 1,3	0,097	1,0	0,841
- 1,2	0,115	1,1	0,864
- 1,1	0,136	1,2	0,885
- 1,0	0,157	1,3	0,903
- 0,9	0,184	1,4	0,919
- 0,8	0,212	1,5	0,933
- 0,7	0,242	1,6	0,945
- 0,6	0,274	1,7	0,955
- 0,5	0,309	1,8	0,964
- 0,4	0,345	1,9	0,971
- 0,3	0,382	2,0	0,977
- 0,2	0,421	2,5	0,994
- 0,1	0,460	3,0	0,999
0,0	0,50		

В ходе анализа была проведена количественная оценка индивидуального риска здоровью населения, проживающего вблизи ТЭЦ-2, от воздействия основных атмосферных загрязнителей. Для этого использовались официальные

методики расчёта, учитывающие класс опасности веществ, предельно допустимые концентрации (ПДК) и фактические уровни загрязнения воздуха.

Результаты расчётов показали, что наибольшую потенциальную опасность представляют диоксид азота и взвешенные частицы PM10. Для этих веществ значения риска составили 0,88 и 0,911 соответственно, что свидетельствует о высокой вероятности негативного воздействия при длительном контакте. Такие значения риска считаются критическими и требуют повышенного внимания со стороны природоохранных органов.

Напротив, по таким веществам, как диоксид серы и PM2.5, уровень риска оказался значительно ниже (0,02 и 0,006 соответственно), что указывает на менее выраженное влияние в существующих концентрациях. Это может быть связано как с меньшими объёмами выбросов, так и с более низкой токсичностью указанных веществ в данных условиях.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего контроля за качеством атмосферного воздуха в районе ТЭЦ-2, а также целесообразность внедрения технологических и организационных мер по снижению выбросов наиболее опасных компонентов. Эти данные также могут быть использованы при обосновании санитарно-защитной зоны, корректировке нормативов по охране окружающей среды и формировании стратегии по улучшению экологической ситуации в городе Алматы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломной работы была проведена комплексная оценка существующего состояния Алматинской ТЭЦ-2, а также технико-экономическое обоснование её перевода с угольного топлива на более экологически чистое — природный газ. На основе проведённого анализа установлено, что текущая работа станции оказывает значительное влияние на состояние атмосферного воздуха в городе Алматы, особенно в зимний период, когда наблюдаются неблагоприятные климатические условия, способствующие накоплению вредных выбросов в приземном слое атмосферы.

Основными загрязняющими веществами, поступающими в воздух от ТЭЦ-2, являются диоксид серы, оксиды азота, пыль и мелкодисперсные частицы PM10 и PM2.5. Проведённые расчёты показали, что при максимальной нагрузке станции вклад в загрязнение атмосферы по отдельным компонентам может достигать до 98%. Это серьёзный показатель, который подтверждает необходимость внедрения технологических мер по снижению эмиссий.

Модернизация станции путём внедрения парогазовой установки позволит существенно улучшить экологическую ситуацию. По сравнению с действующей схемой на угле, новая технология обеспечит:

- сокращение выбросов диоксида серы более чем на 85%;
- снижение выбросов оксидов азота до 60%;
- полное исключение пылевых выбросов и образования золошлаковых отходов;
- повышение коэффициента полезного действия оборудования до 58%, что говорит об экономии топлива и уменьшении тепловой нагрузки на атмосферу.

Помимо экологических преимуществ, модернизация также имеет и экономический эффект. Расчёты показали, что ежегодная экономия на экологических платежах может составлять сотни миллионов тенге. Исключение затрат на обращение с золой, упрощение логистики и переход на автоматизированное управление также повысят рентабельность работы станции.

Оценка риска для здоровья населения подтвердила, что при текущем режиме работы станции наибольшую опасность представляют взвешенные вещества (PM10) и диоксид азота, которые могут негативно влиять на органы дыхания и общее самочувствие людей, особенно уязвимых групп населения. После перехода на природный газ уровни этих веществ снизятся до допустимых и безопасных значений.

Таким образом, в дипломной работе доказана экологическая и экономическая целесообразность модернизации Алматинской ТЭЦ-2. Реализация проекта позволит сократить загрязнение окружающей среды, улучшить условия жизни населения, снизить техногенную нагрузку на город и обеспечить устойчивую работу энергетической системы. Полученные результаты могут быть использованы как основа для принятия управленческих решений и разработки дальнейших стратегий в области экологизации энергетики Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2000000400>
2. Официальный сайт АО «АлЭС» – <https://ales.kz>
3. Правительство Республики Казахстан. – <https://primeminister.kz>
4. Ассоциация KAZENERGY. – <https://kazenergy.com>
5. Комитет по статистике Республики Казахстан. – <https://stat.gov.kz>
6. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo>
7. Архив погодных данных по городу Алматы. – <https://world-weather.ru/archive/kazakhstan/almaty/>
8. Проект ОВОС модернизации ТЭЦ-2.
9. Приказ Министра энергетики РК от 11.07.2019 г. № 501 «Об утверждении требований к составу и содержанию технико-экономического обоснования» - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V190001891>
10. Административный кодекс Республики Казахстан от 5 июля 2014 года № 235-V ЗР. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000235>
11. Методические рекомендации по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) в Республике Казахстан. – Министерство экологии РК, 2020.
12. Мониторинг качества атмосферного воздуха в городе Алматы и его влияние на здоровье населения. ТРУДЫ Международной научно-практической конференции «INTERNATIONAL SATBAYEV CONFERENCE 2025 (Сатпаевские Чтения – 2025). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИНЖЕНЕРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ: РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ 12 апреля 2025 г.

<https://doi.org/10.51301/SIC.2025.i1.36>

Monitoring the quality of atmospheric air in the city of Almaty and its impact on public health

G.B. Kezembayeva*, Zh.A. Dyusenova, A.E. Pak, A.R. Zhunusova, A.A. Rysbaeva
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: g.kezembayeva@satbayev.university

Abstract. The article presents the results of a study conducted by students of the "Engineering Ecology" program of the "Chemical Processes and Industrial Ecology" department of the Kazakh National Technical University named after K.I. Satpaeva. The study involved calculating the health risks of students (more than 12,000 people) and university employees (2,312 people) based on the concentration of pollutants in the air in the territory adjacent to the university. To assess the health risks of students, employees and residents of nearby buildings, Professor S.M. Novikov was used, which is based on the average daily values of pollutants exceeding the maximum permissible concentrations (MPCs) and the effect depending on the degree of their excess. This approach allows for a more accurate assessment of health risks, taking into account current and potential long-term risks arising from air pollution.

Keywords: Almaty city, health risk, pollutants, monitoring, industrial enterprises, motor transport.

1. Введение

Загрязнение атмосферного воздуха остается одним из ведущих факторов, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье населения. Как показали многочисленные научные исследования последнего десятилетия, масштабы преждевременной смертности, обусловленные загрязнением воздуха, оказались значительно выше, чем предполагалось ранее [1].

В связи с этим крайне важно внедрение стратегий по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу и ограничению их воздействия на население. Влияние загрязнения воздуха на здоровье людей является значительным и влечет за собой серьезные социально-экономические последствия.

Летом 2024 года Институт влияния на здоровье (Health Effects Institute), в сотрудничестве с ЮНИСЕФ, представил пятое издание доклада «Состояние глобального воздуха – 2024», в котором содержится детальный анализ качества воздуха в различных регионах мира и его воздействия на здоровье.

Согласно этому исследованию, более 90% смертей, вызванных загрязнением воздуха (7,8 млн случаев), связаны с присутствием в атмосфере мелкодисперсных частиц PM_{2.5} (размером 2,5 мкм и менее). Эти частицы оседают в легких, проникают в кровоток, поражая внутренние органы и увеличивая вероятность развития сердечно-сосудистых заболеваний, инсульта, диабета, онкологических патологий легких и хронической обструктивной болезни

© 2025. G.B. Kezembayeva, Zh.A. Dyusenova, A.E. Pak, A.R. Zhunusova, A.A. Rysbaeva

<https://conference.satbayev.university/>. Published by Satbayev University

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

легких. В докладе отмечается, что концентрация PM_{2.5} является наиболее точным индикатором неблагоприятного состояния окружающей среды [2].

Дополнительно в отчете указано, что в 2021 году загрязнение воздуха стало причиной 8,1 млн смертей, заняв второе место среди факторов риска смертности. Миллионы людей по всему миру страдают от хронических заболеваний, связанных с качеством воздуха, что оказывает значительное давление на системы здравоохранения, экономику и общество [2]. Прогнозы свидетельствуют, что к 2060 году число смертей, связанных с загрязнением воздуха, может удвоиться или утроиться [1].

Основными источниками PM_{2.5} являются сжигание ископаемого топлива и биомассы, транспорт, строительство, угольная энергетика, промышленность, а также лесные пожары. Помимо воздействия на здоровье человека, эти выбросы способствуют формированию парниковых газов, что усиливает процесс глобального потепления. В наибольшей степени страдают уязвимые слои населения, испытывая двойной удар – от последствий изменения климата и загрязнения воздуха.

В 2021 году длительное воздействие озона привело к 489 518 случаям смертей по всему миру. В условиях продолжающегося глобального потепления в районах с высоким содержанием диоксида азота концентрация озона, вероятно, будет увеличиваться, что приведет к еще более серьезным последствиям для здоровья населения [3].

Исследования показывают, что высокие концентрации пыли и летучих соединений, выбрасываемых автомобильным транспортом, имеют прямую связь с развитием многих заболеваний. Обеспокоенность населения вопросами охраны окружающей среды растет, поскольку качество воздуха напрямую влияет на здоровье нынешних и будущих поколений.

Наибольший вред загрязненный воздух наносит людям, проживающим вблизи транспортных магистралей. В выхлопных газах содержится множество вредных веществ, в том числе сажа, способная оседать в легких и накапливать тяжелые металлы. Ситуацию усугубляет тот факт, что выбросы автомобилей распространяются на уровне дыхательных путей человека, а плотная городская застройка препятствует их рассеиванию.

Существуют научные доказательства, что люди, живущие рядом с оживленными дорогами, более подвержены онкологическим заболеваниям и воздействию токсичных веществ, таких как диоксид азота, оксид углерода, формальдегид, диоксид серы, свинец, углеводороды и взвешенные частицы. Организм человека не способен эффективно выводить большое количество этих веществ, что приводит к их накоплению и нарушению нормального функционирования [4].

Анализ ситуации показывает, что в последние годы выбросы от стационарных источников стабилизировались на уровне 3 миллионов тонн в год, тогда как выбросы автотранспорта продолжают увеличиваться и уже превысили 1 миллион тонн в год. В крупных городах Казахстана вклад транспорта в загрязнение атмосферы достигает 60% и более, а в Алматы – до 90% от общего объема выбросов [5].

В 2024 году общий объем промышленных выбросов в атмосферу в Алматы составил 2995,912 тонн [6], что оказывает негативное влияние на здоровье населения. В связи с этим студенты образовательной программы «Инженерная экология» кафедры «Химические процессы и промышленная экология» КазНУТУ имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) провели исследование оценки рисков для здоровья 12 000 студентов и 2 312 сотрудников, основываясь на данных о концентрациях загрязняющих веществ в воздухе [7].

В Таблице 1 представлены фактические концентрации загрязняющих веществ, их превышение предельно допустимых нормативов и частота зафиксированных случаев превышения. Данные предоставлены РГП «Казгидромет» по городу Алматы за 2024 год [6].

Таблица 1. Данные по результатам мониторинга атмосферного воздуха города Алматы.

Примесь	Средняя концентрация		Максимальная разовая концентрация		НП	Число случаев превышения ПДКм.р.		
	мг/м ³	Кратность ПДК _{с.с.}	мг/м ³	Кратность ПДК _{м.р.}		%	>ПДК	>5
					ПДК			ПДК
г. Алматы								
Взвешенные частицы (пыль)	0,15	1,0	0,66	1,3	2	64		
Взвешенные частицы РМ2.5	0,02	0,64	0,92	5,7	7	3236	4	
Взвешенные частицы РМ10	0,03	0,46	0,93	3,1	2	1091		
Диоксид серы	0,03	0,65	1,37	2,7	7	2271		
Оксид углерода	0,86	0,29	28,68	5,7	8	4406	10	
Диоксид азота	0,06	1,6	1,02	5,1	19	11024	1	
Оксид азота	0,05	0,78	1,00	2,5	3	1830	0	
Озон	0,04	1,3	1,26	7,9	21	8036	1438	
Фенол	0,001	0,34	0,008	0,80	0			
Формальдегид	0,01	0,76	0,11	2,20	0	1		
Бензол	0,007	0,07	0,02	0,07	0			
Хлорбензол	0,005		0,01	0,10	0			
Этилбензол	0,005		0,01	0,50	0			
Бенз(а)пирен	0,0006	0,56	0,001		0			
Параксилол	0,01		0,02	0,10	0			
Метаксилол	0,00		0,02	0,10	0			
Ортоксилол	0,00		0,02	0,10	0			
Кумол	0,01		0,02	1,43	1	1		
Кадмий	0,001	0,00						

Результаты исследования показали значительное воздействие загрязненного воздуха на здоровье студентов, сотрудников Satbayev University, а также жителей, проживающих в непосредственной близости от университета.

Новизна исследования заключается в том, что впервые на территории Satbayev University были проведены системные измерения качества атмосферного воздуха с целью выявления потенциальных рисков для здоровья студентов и персонала.

Научная и практическая значимость исследования

Ранее проведенные исследования в Казахстане подтверждают, что уровень заболеваемости населения тесно связан с качеством атмосферного воздуха.

Некоторые загрязняющие вещества, такие как оксид углерода (CO) и диоксид азота (NO₂), потенциально опасны, но их роль в развитии рака менее очевидна. Хотя в высоких

концентрациях они могут проявлять канцерогенные свойства, их основное влияние связано с заболеваниями дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

Диоксид серы (SO_2) в основном известен негативным влиянием на дыхательную систему человека и окружающую среду, но при длительном воздействии в сочетании с другими канцерогенными веществами может повышать риск онкологических заболеваний.

Разработанный в рамках данного исследования метод мониторинга качества воздуха может быть применен для оценки экологических рисков на территориях детских садов, школ, колледжей и вузов Алматы и других городов Казахстана.

Объект исследования – атмосферный воздух на территории Satbayev University.

2. Материалы и методы

В проекте были выполнены следующие действия:

1. Отбор проб атмосферного воздуха;
2. Обработка данных и их анализ;
3. Расчет по модели индивидуальных порогов действия загрязняющего вещества на здоровье населения.

Для проведения мониторинга были проведены отборы проб атмосферного воздуха на территории Satbayev University газоанализатором Элан.

Согласно Правилам ручного отбора проб, пробы отбирались 4 раза в сутки в 07, 13, 19, 01 часов. Значения концентраций загрязняющих веществ были зафиксированы на газоанализаторе Элан и занесены в таблицы. Отбор проб проводился в осенне-весенний период, так как концентрация загрязняющих веществ в теплое время года наиболее высокая.

На рисунках 1-4 представлен газоанализатор Элан и процесс ручного отбора проб атмосферного воздуха на улицах Саптаева-Бухар Жырау -Масанчи- Байтурсынова. На рисунке 5 представлена карта с точками отбора проб.



Рисунок 1. Газоанализатор Элан



Рисунок 2. Отбор проб на пересечении улиц Саптаева-Бухар Жырау



Рисунок 3. Отбор проб на пересечении улиц Саптаева-Байтурсынова

Рисунок 4. Отбор проб на пересечении улиц Саптаева-Масанчи



Рисунок 5. Карта отбора проб

3. Результаты и обсуждение

Мониторинг был проведен по пяти загрязняющим веществам, представленным в таблице 2. Данные по мониторингу были усреднены и сведены в таблицу.

Таблица 2. Исходные данные.

Наименование загрязняющих веществ	Среднегодовое значение, мг/м ³	Класс опасности	ПДК _{н.р.} , мг/м ³
CO	0,455792	4	5
NO ₂	0,079708	2	0,085
PM10	0,006792	3	0,3
PM2.5	0,003958	3	0,16
SO ₂	0,057708	3	0,05

Для определения риска здоровью студентов, сотрудников и жителей ближайших домов была использована модель, разработанная профессором С.М. Новиковым (Научно-исследовательский институт экологии человека и ГОС им. Сырина, Россия), которая базируется на двух основных принципах:

- превышение среднесуточной предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вызывает опасность (риск) для здоровья людей;
- уровень воздействия (степень превышения ПДК_{сс.}) загрязняющего вещества и опасность для здоровья человека, вызванная воздействием данного загрязнителя, имеют степенную (логарифмическую) зависимость

Данная модель была выбрана ввиду сложности климатических и социально-экономических условий России и Казахстана, а также при определении воздействия загрязняющих веществ на здоровье людей используется норматив ПДК.

Для расчета риска хронической интоксикации организма человека, в результате загрязнения атмосферы, в большинстве случаев используется линейно-экспоненциальная зависимость, которая описывается формулой 1 [8], [9]:

$$R_s = 1 - \exp\left[-0,174\left(\frac{C}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}} * K_3}\right)^\beta * t\right], \quad (1)$$

где: $1/K_3$ — единичный риск — коэффициент пропорциональности, связывающий риск и концентрацию токсиканта (таблица 3);

β — коэффициент, учитывающий особенности токсикологических свойств веществ (таблица 3);

C — максимальная приземная концентрация вещества, оказывающая воздействие в течение времени;

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ — предельно допустимая среднесуточная концентрация загрязняющего вещества в воздухе населенных пунктов, $\text{мг}/\text{м}^3$. Параметры для расчета риска представлены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры для расчета риска

Класс опасности вещества	Характеристика веществ	β	K_3
1-й	Чрезвычайно опасные	2,40	7,5
2-й	Высокоопасные	1,31	6,0
3-й	Умеренно опасные	1,00	4,5
4-й	Малоопасные	0,86	3,0

Расчет риска был произведен по формулам представленным в таблице 4.

Таблица 4 – Формулы расчета риска

Класс опасности вещества	Формула
1-й	$\text{ВЭ} = -9,15 + 11,66 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{с.с.}})$
2-й	$\text{ВЭ} = -5,51 + 7,49 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{с.с.}})$
3-й	$\text{ВЭ} = -2,35 + 3,73 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{с.с.}})$
4-й	$\text{ВЭ} = -1,41 + 2,33 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{с.с.}})$

где: ВЭ - вероятность эффекта (риск), выраженный в пробитах, определяется по таблице 6 нормального вероятностного распределения [8].

Результаты исследования

Расчет риска здоровью студентов был проведен согласно формулам в таблице 4, полученные данные были сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Расчет риска

Наименование загрязняющих веществ	Среднегодовое значение	Класс опасности	ПДК	ВЭ	Риск
CO	0,455792	4	3	-3,83367	0,0001
NO ₂	0,079708	2	0,04	-5,7191	0,0001
PM10	0,006792	3	0,06	-5,87915	0,0001
PM2.5	0,003958	3	0,035	-5,88079	0,0001
SO ₂	0,057708	2	0,5	-12,5336	0,0001

Таблица 6. Нормальное вероятностное распределение

ВЭ (пробит)	Риск	ВЭ (пробит)	Риск
-3.0	0.001	0.1	0.540
-2.5	0.006	0.2	0.579
-2.0	0.023	0.3	0.618
-1.9	0.029	0.4	0.655
-1.8	0.036	0.5	0.692
-1.7	0.045	0.6	0.726
-1.6	0.055	0.7	0.758
-1.5	0.067	0.8	0.788
-1.4	0.081	0.9	0.816
-1.3	0.097	1.0	0.841
-1.2	0.115	1.1	0.864
-1.1	0.136	1.2	0.885
-1.0	0.157	1.3	0.903
-0.9	0.184	1.4	0.919
-0.8	0.212	1.5	0.933
-0.7	0.242	1.6	0.945
-0.6	0.274	1.7	0.955
-0.5	0.309	1.8	0.964
-0.4	0.345	1.9	0.971
-0.3	0.382	2.0	0.977
-0.2	0.421	2.5	0.994
-0.1	0.460	3.0	0.999
0.0	0.50		

4. Выводы

Выполнена оценка острых токсических воздействий загрязняющих веществ на организм студентов и сотрудников университета.

Вероятность возникновения риска для здоровья студентов, от воздействия химических загрязнителей атмосферного воздуха, обусловлена большим скоплением автотранспорта на пересечении улиц Сатпаева и Масанчи. Пересечение данных улиц характеризуется хорошей продуваемостью, что препятствует длительному скоплению загрязняющих веществ. Расчет показал, что индивидуальный канцерогенный риск, связанный с присутствием в атмосфере оксида углерода, азота диоксид, PM10, PM2.5 и диоксида серы не вызывает риска здоровью студентов и сотрудников университета. Следовательно, студенты, сотрудники университета и жители ближайших домов не подвергаются острому токсическому воздействию по всем выбрасываемым веществам. Данные исследования показывают, что на территории университета хорошее проветривание этой зоны, а также достаточное количество зеленых насаждений, так как вблизи расположен ботанический сквер.

Благодарность

Выражаем огромную благодарность директору компании ТОО «ЛабСЭМ» Ким М.В. за предоставление измерительного прибора газоанализатора Элан, благодаря которому был произведен отбор проб атмосферного воздуха на территории Satbayev University.

References

- [1] OECD (2019), РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В КАЗАХСТАНЕ: Руководящие принципы реформирования политики в области экологических платежей, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4a86e63d-ru>.
- [2] <https://news.un.org/ru/story/2024/06/1453411>
- [3] <https://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2024/06/94551/zagryaznenie-vozdukha-stalo-vtorym-po-znachimosti-faktorom-riska>
- [4] Л.А. Пепина, А.Н. Созонтова. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом. *Alfabuild*. 1 (1). 2017. 99-110
- [5] Джайлаубеков, Е.А. Расчет и анализ выбросов вредных загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух в Республике Казахстан (монография). Под ред. д.т.н, проф. Кулмановой Н.К. Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. 2010г.
- [6] <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesvachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushev-sredy/2024>
- [7] <https://sso.satbayev.university/#1/34>
- [8] Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб: Международный институт 1997. 100с.
- [9] Альмов В.Т., Тарасова Н.П. Технологический риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 118с.: ил.

Алматы қаласының атмосфералық ауасының сапасын және оның халықтың денсаулығына әсерін бақылау

Г.Б. Кезембаева*, Ж.А. Дюсенова, А.Е. Пак, А.Р. Жунусова, А. А. Рысбаева
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
*Корреспонденция үшін автор: g.kezembayeva@satbayev.university

Аннотация. Мақалада Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дың «Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология» кафедрасының «Инженерлік экология» бағдарламасының студенттері жүргізген зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеу университетке іргелес аумақтағы ауадағы ластаушы заттардың концентрациясына негізделген студенттердің (12 000-нан астам адам) және университет қызметкерлерінің (2 312 адам) денсаулығына қауіп-қатерді есептеуге қатысты. Студенттердің, қызметкерлердің және жақын маңдағы ғимараттардың тұрғындарының денсаулығына қауіпті бағалау үшін профессор С.М. Новико қолданылды., ол ластаушы заттардың орташа тәуліктік мөндерінің шекті рұқсат етілген концентрацияларынан (ШРК) асып кетуіне және олардың асып кету дәрежесіне байланысты әсеріне негізделген. Бұл тәсіл ауаның ластануынан туындайтын ағымдағы және ықтимал ұзақ мерзімді қауіптерді ескере отырып, денсаулыққа қатысты тәуекелдерді дәлірек бағалауға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: Алматы қаласы, Денсаулық тәуекелі, ластаушы заттар, мониторинг, өнеркәсіптік кәсіпорындар, автокөлік.

Мониторинг качества атмосферного воздуха в городе Алматы и его влияние на здоровье населения

Г.Б. Кезембаева*, Ж.А. Дюсенова, А.Е. Пак, А.Р. Жунусова, А. А. Рысбаева
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: g.kezembayeva@satbayev.university

Аннотация. Загрязнение атмосферного воздуха является одним из главных факторов экологических рисков здоровью населения. Как установлено в ряде научных исследований, проведенных в текущем десятилетии, загрязнение атмосферного воздуха ведет к значительно большому числу преждевременных смертей, чем считалось ранее. Основными источниками загрязнения в городах являются промышленные предприятия, ТЭЦ и автотранспорт. Здоровье будущих поколений во многом зависит от состояния атмосферного воздуха. Целью устойчивого развития 3 «Хорошее здоровье и благополучие» является обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте.

Институт влияния на здоровье (Health Effects Institute) опубликовал отчет «Состояние глобального воздуха-2024», подготовленное в партнёрстве с ЮНИСЕФ, и представил всесторонний анализ данных о качестве воздуха по всему миру и его воздействии на здоровье. Согласно отчету, серьезное воздействие на здоровье человека во всем мире оказывают такие загрязнители, как мелкодисперсные твердые частицы (PM_{2.5}), озон (O₃) и диоксид азота (NO₂). Наличие данных веществ характерно и для города Алматы.

В статье предоставлены данные исследования, проведенное студентами ОП «Инженерная экология» кафедры «Химические процессы и промышленная экология» КазНТУ имени К.И.Сатпаева по расчету рисков здоровью студентов (более 12 000 человек) и сотрудников (2 312 человек) основываясь на концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере на территории, прилегающей к университету. Для определения риска здоровью студентов, сотрудников и жителей ближайших домов была использована модель, разработанная профессором С.М. Новиковым, которая основывается на превышении ПДК среднесуточного и воздействием загрязнителей в зависимости от степени его превышения.

Ключевые слова: город Алматы, риск здоровью, загрязняющие вещества, мониторинг, промышленные предприятия, автотранспорт.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Рысбаевой Аружан Амирбековны

6B05206 – Инженерная экология

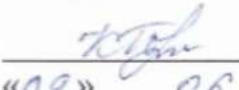
На тему: «Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ
(теплоэлектроцентраль) на газ»

Перед дипломантом были поставлены следующие задачи: проанализировать существующую технологическую схему ТЭЦ-2 и её экологические характеристики; определить уровень воздействия станции на компоненты окружающей среды. обосновать целесообразность перехода на парогазовые технологии. провести расчёт экологического и экономического эффекта от модернизации.

Дипломант успешно справился с заданием, проявив исключительную самостоятельность и инициативу. В работе рассмотрены инженерно-геологические и экологические характеристики ТЭЦ, основные направления воздействия ТЭЦ-2 на окружающую природную среду, проведен сравнительный анализ изменения воздействия на все компонента окружающей среды до и после модернизации. А также рассчитана экономическая эффективность перехода ТЭЦ 2 на газ.

В работе встречаются стилистические ошибки. В целом работа выполнена в соответствии с ГОСТом, и заслуживает оценки 95 баллов (А).

Научный руководитель
старший преподаватель, ДВА


Кезембаева Г.Б.
«09» 06 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Рысбаевой Аружан Амирбековны

6B05206 – Инженерная экология

На тему: «Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ
(теплоэлектроцентраль) на газ»

Выполнено:

- а) графическая часть на 18 листах
- б) пояснительная записка на 28 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена важной и своевременной теме — технико-экономическому обоснованию перевода Алматинской ТЭЦ-2 на природный газ. Автор провёл всесторонний анализ экологической ситуации в городе, описал существующее состояние станции, разработал технико-экономическое обоснование модернизации с учётом современных требований и обосновал его эффективность. В работе представлены расчёты выбросов загрязняющих веществ, плата за эмиссии, а также оценка риска для здоровья населения, что говорит о глубокой проработке темы. Текст структурирован логично, содержит актуальные данные и хорошо иллюстрирован. Особое внимание уделено сопоставлению экологических показателей до и после модернизации, что позволяет сделать обоснованные выводы о значительном снижении нагрузки на окружающую среду.

Замечание: в качестве замечаний можно отметить, что проведен не достаточный анализ экономической части. Тем не менее, данные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Оценка работы

С учетом замечаний, которые не снижают практическую значимость, дипломная работа на тему «Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектроцентраль) на газ», выполненная Рысбаевой Аружан Амирбековной, заслуживает оценки «отлично» (95 баллов, А, 95%).

Рецензент

Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор

Ажишева Т.И.
«09» июня 2025 г.



Подпись Ажишевой Т.И.
заверяю
HR департамент Ф
«___» _____ 20__

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Рысбаева Аружан Амирбековна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектростанция) на газ

Научный руководитель: Гульмира Кезембаева

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, являются законными и не являются плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 06.09.2025

Заведующий кафедрой *М.Н.*
Кудряшова А.Н.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Рысбаева Аружан Амирбековна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка технико-экономического обоснования перевода ТЭЦ (теплоэлектростанция) на газ

Научный руководитель: Гульмира Кезембаева

Коэффициент Подобия 1: 4

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, являются законными и не являются плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: *Совпадение и заимствования не изменяет сути работы и не нарушает самостоятельный характер работы.*

Дата

Ерсау Сагсеитбаев С.В. проверяющий эксперт