 © Авторы статьи / Authors of the article

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ/ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.37 EDN: INJGUJ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И СТРАТЕГИИ ПОВЫШЕНИЯ

Научная статья

Гайнцев К.А.[1, *]

[1] Казанский государственный энергетический университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gaintsev.kirill[at]yandex.ru)

Предложена: 03.07.2026; Принята: 16.09.2026; Опубликована: 17.09.2026

Аннотация

Работа посвящена комплексной оценке экологической безопасности муниципальных систем теплоснабжения, учитывая вид топлива, характеристики источников выбросов, фоновые концентрации и пространственное распределение загрязняющих веществ. Выбор структуры теплоснабжения влечёт экологические последствия, а воздействие теплоисточников на городскую территорию распределено неравномерно, и учитывать нужно оба фактора сразу. Опираясь на современные исследования, авторы формируют методическую основу, которая объединяет инвентаризацию источников, анализ фоновых концентраций, расчёт рассеивания и геоинформационную интерпретацию результатов. В работе использованы материалы схем теплоснабжения Оренбурга, Владимира и Омска, а также расчётные данные по источникам теплоснабжения Омска. Города, которые попали в поле рассмотрения, изначально отличаются друг от друга по уровню загрязнения, и разница здесь существенная: фоновая концентрация NO_2 в Омске держится на отметке 0,072-0,078 мг/м^3, в Оренбурге доходит до 0,084 мг/м^3, а во Владимире падает до 0,031 мг/м^3. Отдельно стоит сказать про источники теплоснабжения Омска, поскольку между ними обнаружилась принципиальная разница в том, где именно располагается максимум приземной концентрации: ТЭЦ-5, труба которой поднимается на 275 м, даёт расчетное расстояние 6521,07 м, тогда как у котельной 2.06 этот показатель составляет всего 66,55 м. Если сравнивать эти цифры с уже существующими исследованиями, видно, что они укладываются в известную логику — вид топлива, техническое состояние оборудования и высота источника действительно определяют экологическую нагрузку, — но при этом полученные данные добавляют к этой картине пространственное сопоставление крупных и локальных теплоисточников внутри одной муниципальной системы теплоснабжения. Практическая польза здесь очевидна: выводы пригодятся при актуализации схем теплоснабжения и при расстановке приоритетов в экологической модернизации.

Ключевые слова: экологическая безопасность, системы теплоснабжения, рассеивание вредных веществ, комбинированная выработка, децентрализованные котельные.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF HEAT SUPPLY IN MUNICIPALITIES: EVALUATION METHODS AND STRATEGIES FOR IMPROVEMENT

Research article

Gaintsev K.A.[1, *]

[1] Kazan State Power Engineering University, Kazan', Russian Federation

* Corresponding author (gaintsev.kirill[at]yandex.ru)

Suggested: 03.07.2026; Accepted: 16.09.2026; Published: 17.09.2026

Abstract

The work is devoted to a complex assessment of the environmental safety of municipal heat supply systems, taking into account the type of fuel, the characteristics of emission sources, background concentrations and the spatial distribution of pollutants. The choice of heat supply structure has environmental consequences, and the impact of heat sources on the urban area is unevenly distributed; both factors must be considered simultaneously. Based on recent research, the authors develop a methodological framework that combines an inventory of sources, an analysis of background concentrations, dispersion calculations and a geoinformational interpretation of the results. The study uses materials from the heat supply schemes of Orenburg, Vladimir and Omsk, as well as calculated data on Omsk's heat supply sources. The studied cities differ from one another in terms of pollution levels, and the difference is significant: the background concentration of NO_2 in Omsk remains at 0.072–0.078 mg/m^3, in Orenburg it reaches 0.084 mg/m^3, while in Vladimir it falls to 0.031 mg/m^3. It is worth mentioning Omsk's heat supply sources separately, as a fundamental difference has been identified between them regarding the exact location of the maximum ground-level concentration: TPP No. 5, whose stack rises to a height of 275 m, has a calculated distance of 6,521.07 m, whereas for the boiler house 2.06 this figure is just 66.55 m. When these figures are compared with existing studies, it is clear that they fit within the established logic — the type of fuel, the technical condition of the equipment and the height of the source do indeed determine the environmental impact — but at the same time, the data obtained add a spatial comparison of large-scale and local heat sources within a single municipal heat supply system to this picture. The practical benefit here is clear: the findings will be useful when updating heat supply schemes and setting priorities for environmental modernisation.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Keywords: environmental safety, heat supply systems, dispersal of harmful substances, combined heat and power generation, decentralised boiler houses.

Введение

Муниципальная система теплоснабжения охватывает целую территорию. В неё входят теплоэлектроцентрали, районные и квартальные котельные, тепловые сети и, конечно, сами потребители — вся эта инфраструктура рассредоточена в пространстве, а не сосредоточена в одной точке. Экологический эффект от работы такой системы зависит не столько от суммарного объёма выбросов, сколько от того, как они распределены по территории, какое топливо используется, в каком техническом состоянии находится оборудование и каковы параметры источников выбросов. Валовая величина выброса сама по себе мало что говорит об экологической ситуации: важно понять, где складываются максимальные приземные концентрации и насколько они превышают фоновое загрязнение.

Современные исследования подтверждают: комплексная оценка нужна. Сначала Бойко и соавт. смотрят на теплоснабжение муниципальных образований сразу с трёх сторон — надежности, экономичности и экологичности, и приходят к выводу, что структуру системы, характеристики источников и потери при передаче теплоты нельзя оценивать по отдельности [1]. Затем Пузаков идёт дальше и разбирает развитие схем теплоснабжения городов России, обращая внимание на техническое состояние теплоисточников, состояние тепловых сетей, расход топлива и возможные пути развития централизованного теплоснабжения [2]. Обе работы раскрывают проблему на системном уровне. Детальной пространственной оценки приземных концентраций загрязняющих веществ для разных типов источников они всё же не дают.

Технологические факторы задают тон и экологическим исследованиям теплоисточников. Чудинова и соавт. изучили квартальные котельные Улан-Удэ — точнее, разницу между угольным и мазутным топливом по влиянию на загрязнение атмосферного воздуха - и обнаружили, что расчетные концентрации загрязняющих веществ у этих источников существенно различаются [3]. Росляков, Кондратьева и Гусева сопоставили действующее оборудование ТЭС с технологическими показателями ИТС 38-2022; выяснилось, что немалая доля установок устарела, и для выхода на современные показатели выбросов им требуется технологическая адаптация [4]. На примере котла БКЗ-420-140 Прохоров и соавт. показали, что организация процесса горения напрямую определяет образование оксидов азота. Значит, этот процесс поддается целенаправленной оптимизации [5].

Отдельное направление в этой области выстроено вокруг идеи пространственного представления результатов экологической оценки. Осокин и соавторы разработали методологический подход к разделу «Экологическая безопасность теплоснабжения» схемы теплоснабжения Москвы: он включает формирование базы источников загрязнения, инвентаризацию выбросов, расчет рассеивания и создание геоинформационного слоя [6]. Эти процедуры работают только вместе. Именно их объединение позволяет уйти от оценки отдельного источника и перейти к анализу того, как вся система теплоснабжения воздействует на территорию муниципального образования.

Проблема в отечественных публикациях распадается на разрозненные куски. Одни авторы изучают системную эффективность теплоснабжения, другие — влияние топлива и технологии сжигания, третьи занимаются состоянием энергетического оборудования и пространственным анализом выбросов, но нигде эти линии не сходятся в вопросе, который остаётся практически нетронутым: как соотносятся крупные и локальные источники теплоснабжения по пространственной характеристике зоны максимальной приземной концентрации, если одновременно учитывать фоновое загрязнение. Отсюда и вырастает предмет этой работы.

Работа направлена на то, чтобы дать комплексную оценку экологической нагрузки муниципальной системы теплоснабжения, сопоставив фоновые концентрации, характеристики источников выбросов и пространственные результаты моделирования рассеивания загрязняющих веществ, и на этой основе наметить пути снижения экологического риска. Для этого поставлены следующие задачи:

1. систематизировать современные российские исследования по экологическим и энергетическим характеристикам теплоснабжения;
2. сопоставить фоновые концентрации загрязняющих веществ для выбранных муниципальных образований;
3. проанализировать влияние вида топлива и технологических характеристик теплоисточников на состав и величину выбросов;
4. сопоставить расчетные расстояния до зон максимальной приземной концентрации для различных типов источников теплоснабжения;
5. соотнести полученные результаты с опубликованными российскими исследованиями и определить их согласованность с известными закономерностями;
6. сформулировать практические направления повышения экологической безопасности систем теплоснабжения.

Методы и принципы исследования

Основу работы составляют расчеты и анализ, а не собственные измерения: авторы не проводили натурных замеров, а сопоставляли уже существующие расчетные и официальные данные. Информационной базой послужили материалы схем теплоснабжения муниципального образования «город Оренбург» до 2033 г., муниципального образования город Владимир до 2041 г. и города Омска на период до 2040 г. [7], [8], [9], дополненные опубликованными российскими исследованиями по экологической безопасности и эффективности теплоснабжения [1], [4], [6]. Исходную экологическую нагрузку описывали через фоновые концентрации диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, взвешенных веществ и сажи — эти данные брались из схем теплоснабжения рассматриваемых городов.

Условия сопоставления заданы в исходных материалах. Скорость ветра принята в диапазоне 0–2 м/с, а рассеивание выбросов рассматривается по методам, утвержденным приказом Минприроды России от 06. 06. 2017 № 273. Документ

 © Авторы статьи / Authors of the article

предусматривает расчеты максимальных разовых приземных концентраций, учитывает фоновые концентрации и, если это необходимо, влияние застройки [10]. В работе используются опубликованные расчетные характеристики источников теплоснабжения Омска, включая расстояние до точки, где достигается максимальная приземная концентрация. Результаты интерпретировались с учетом вида топлива, характеристик процесса сжигания и технического состояния оборудования, геометрии источника выбросов (прежде всего высоты дымовой трубы), а также фоновых и метеорологических условий. Такой набор факторов дает возможность сопоставлять и величину выбросов, и их пространственное проявление.

Основные результаты

3.1. Фоновые концентрации

Фон загрязнения задаёт итог. То, насколько чистой или грязной окажется атмосфера после запуска нового или модернизированного теплоисточника, зависит именно от исходной обстановки: вклад конкретного объекта накладывается на уже существующий фон, а не возникает в пустоте. Показатели, использованные в исходных материалах исследования, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по данным исходных материалов исследования

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.37.1

Загрязняющее вещество	Ед. изм.	Оренбург	Владимир	Омск
Диоксид азота (NO_2)	мг/м^3	0,084	0,031	0,072–0,078
Оксид азота (NO)	мг/м^3	0,040	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют
Диоксид серы (SO_2)	мг/м^3	0,0153	0,003	0,000–0,006
Оксид углерода (CO)	мг/м^3	3,09	2,00	Данные отсутствуют
Взвешенные вещества	мг/м^3	0,234	Данные отсутствуют	0,219–0,249
Углерод (сажа)	мг/м^3	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	0,025–0,030

В Оренбурге концентрация NO_2 достигает 0,084 мг/м^3 — это наибольший показатель среди трех городов в представленных данных; Омск демонстрирует диапазон 0,072-0,078 мг/м^3, Владимир — лишь 0,031 мг/м^3. Отсюда видно: исходный уровень загрязнения на сравниваемых территориях существенно различается. Экологическая оценка теплоисточника, не учитывающая фоновую компоненту, рискует дать неполную картину суммарной концентрации загрязняющего вещества в приземном слое.

3.2. Характеристики топлива и выбросов

От вида топлива зависит и потенциальный набор продуктов сгорания. Твердое топливо дает самый широкий спектр загрязняющих веществ; при сжигании природного газа доля твердых частиц и соединений серы заметно снижается, но проблема выбросов оксидов азота никуда не уходит. Преимущества конкретного вида топлива сами по себе мало что значат без учета особенностей установки — на состав выбросов влияют коэффициент избытка воздуха, температура процесса, конструкция горелочных устройств и система очистки дымовых газов. К такому же выводу приходят и российские исследователи — Чудинова с соавторами [3], Росляков с соавторами.

Сначала обратимся к работе [4], а также к статье Прохорова и соавт. [5]. В исходной работе для сопоставления брались значения удельных выбросов NOx для котельных установок, введенных до 31 декабря 2000 г. (таблица 2). Эти данные относятся к требованиям и характеристикам ГОСТ Р 55173-2012. В настоящей статье они используются именно как сравнительная характеристика, а не как самостоятельная и актуальная система нормативов выбросов.

Таблица 2 - Удельные выбросы NOx, приведенные в исходных нормативных данных для котельных установок

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.37.2

Тепловая мощность, МВт	Топливо	Тип шлакоудаления	Удельный выброс, г/МДж	Концентрация при α=1,4, мг/м^3
До 299	Газ	Не применимо	0,043	125
До 299	Мазут	Не применимо	0,086	250
До 299	Уголь	Твердое	0,170	470
До 299	Уголь	Жидкое	0,230	640

 © Авторы статьи / Authors of the article

Тепловая мощность, МВт	Топливо	Тип шлакоудаления	Удельный выброс, г/МДж	Концентрация при α=1,4, мг/м^3
300 и более	Газ	Не применимо	0,043	125
300 и более	Уголь	Твердое	0,200	540
300 и более	Уголь	Жидкое	0,250	700

Уровень NOx заметно зависит от вида топлива и условий его сжигания — газовое топливо дает 0,043 г/МДж, а уголь в рассмотренных вариантах поднимает показатель до 0,170-0,250 г/МДж. Переносить эти цифры напрямую на конкретные муниципальные источники all же нельзя: реальные режимы работы оборудования и действующие природоохранные требования вносят свои коррективы. Российские исследования по модернизации ТЭС это подтверждают — технологические показатели зависят от вида топлива, конструкции котла и применяемых природоохранных технологий [4], [5].

3.3. Пространственные результаты моделирования рассеивания

Пространственное воздействие источников теплоснабжения Омска оценили по результатам расчетов рассеивания. Методика позволяет определить максимальную приземную концентрацию и расстояние x_m, на котором она возникает, учитывая при этом характеристики источника и метеорологические условия [10]. Это принципиально для оценки нагрузки на жилую застройку: одинаковый по величине выброс формирует зоны воздействия разного масштаба в зависимости от геометрии источника.

На рисунке 1 показана карта областей рассеивания загрязняющих веществ от источников теплоснабжения. Труба ТЭЦ-5 поднимается на 275 м, и расчетное расстояние до точки максимальной концентрации у нее достигает 6521,07 м. У котельной 2.06 это расстояние составляет всего 66,55 м. Разница между значениями превышает 97 раз. Расчеты обнажают не столько разброс интенсивности выбросов, сколько принципиально разный пространственный характер их проявления.

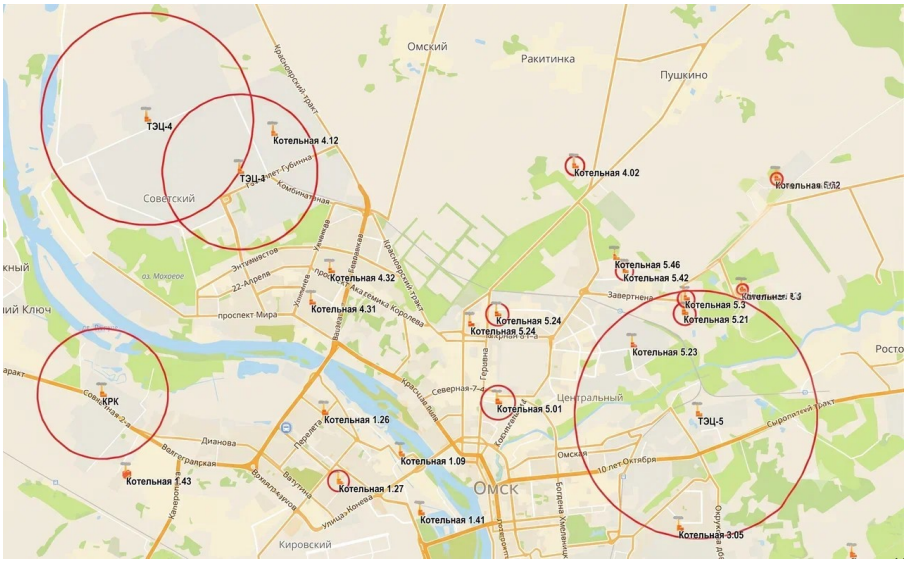

Рисунок 1 - Области рассеивания загрязняющих веществ от источников теплоснабжения г. Омска по исходным расчетным материалам

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.171.37.3

Труба высотой в несколько десятков метров даёт пик приземной концентрации далеко от устья, а вот низкий локальный источник действует на куда более скромном пятачке пространства — масштаб воздействия у него принципиально иной. Отсюда и вывод: величина валового выброса сама по себе ничего не говорит об экологической безопасности, судить нужно по расположению источника и по тому, где именно образуется зона максимальной концентрации.

Обсуждение

Росляков и соавторы [4] сначала фиксируют исходную проблему: значительной части действующего оборудования для выхода на современные технологические показатели требуется модернизация. Из этого вытекает вывод, который подтверждается и настоящим исследованием, экологический эффект не сводится к одному типу топлива. Дальше в дело вступают другие факторы. Конструкция котла, организация горения, система очистки выбросов — каждый из них самостоятельно влияет на величину эмиссии. К похожим наблюдениям приходят и Прохоров с соавторами.

Работа [5] дополняет эту позицию на уровне самого процесса горения: снижение образования NOx достигается за счёт изменения организации топочного процесса. Отсюда практический вывод — решения стоит различать по двум уровням воздействия: выбор и модернизация источника с одной стороны, управление режимом сжигания топлива с другой. Ближе всего по методологии оказалась работа Осокина и соавт. [6], где инвентаризация, расчёт рассеивания и

 © Авторы статьи / Authors of the article

геоинформационное представление сведены в единую процедуру оценки экологической безопасности теплоснабжения. Результаты по Омску, полученные в настоящем исследовании, подтверждают полезность такого подхода на практике. Пространственная характеристика позволяет увидеть разницу: масштаб зон потенциального воздействия у крупных и локальных источников принципиально различается.

4.1. Научная новизна и практическая значимость

Новизна работы заключается в том, что автор впервые сопоставляет экологическую нагрузку муниципальных теплоисточников сразу по трем связанным между собой уровням: фоновое загрязнение территории, технологические характеристики источника, пространственное расположение зоны максимальной приземной концентрации. Другие исследователи обычно берут отдельный источник, отдельный технологический параметр или общую эффективность теплоснабжения — здесь же все эти характеристики анализируются совместно, на уровне муниципальной системы. Конкретный результат таков: пространственный масштаб воздействия источников оказывается принципиально разным — 6521,07 м для ТЭЦ-5 против 66,55 м для котельной 2.06. Сравнение показывает: экологический профиль теплоисточника зависит и от величины выброса, и от высоты источника, и от условий рассеивания. Второй результат касается фоновых концентраций — их нужно учитывать при сравнении разных территорий, поскольку исходный уровень NO_2 в рассмотренных городах различается в несколько раз.

Практическая ценность работы в том, что полученные результаты пригодны для актуализации схем теплоснабжения и определения очередности модернизации теплоисточников. Первыми в очереди должны стоять устаревшие угольные и мазутные источники, расположенные рядом с жилой застройкой, а также те источники, у которых высокая эмиссия сочетается с неблагоприятными условиями рассеивания — именно такое сочетание создает повышенный экологический риск.

4.2. Направления повышения экологической безопасности

Результаты работы задают направления модернизации. Крупным источникам стоит прежде всего повышать эффективность газоочистки, снижать образование NOx прямо в топке и переходить на автоматизированное поддержание рациональных режимов горения; российские исследования подтверждают, что модернизация действующего оборудования составляет отдельную и существенную задачу [4], [5]. Локальные источники формируют приземные зоны воздействия рядом с жилой застройкой, и здесь имеет смысл оценивать замещение устаревших котельных современными источниками с более низкими выбросами. Решение о централизации или локализации теплоснабжения нельзя принимать по одному показателю — нужно учитывать потери в тепловых сетях, техническое состояние источников, вид топлива и расположение зон воздействия в пространстве, что согласуется с системным подходом из российских работ [1], [2], [6]. Ещё одно направление касается информационной основы экологической оценки: геоинформационная увязка источников, фоновых концентраций и результатов моделирования даёт возможность применять экологические показатели прямо при пространственном планировании системы теплоснабжения. Для крупных городов с множеством разнородных источников такой подход особенно значим.

Заключение

Работа обосновывает необходимость комплексной экологической оценки муниципальных систем теплоснабжения — такой, которая объединяет данные о фоне, источнике выбросов и пространственном рассеивании; в этом и заключается её основной результат. Российские исследования обычно сосредоточены на технологических и системных аспектах теплоснабжения — полученные результаты дополняют эту картину пространственным сравнением крупных и локальных источников. На практике это значит: при выборе мероприятий по экологической модернизации важен не только абсолютный объем выбросов. Учитывать нужно и расположение источника относительно жилой застройки, и высоту выброса, и техническое состояние оборудования, и исходный уровень загрязнения территории. Дальше имеет смысл двигаться от сравнительной оценки отдельных источников к расчету совокупного экологического эффекта сценариев развития муниципальной системы теплоснабжения — учитывая замену топлива, модернизацию котельных, изменение тепловых нагрузок и оптимизацию тепловых сетей.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Бойко Е.Е. Эффективность теплоснабжения муниципальных образований / Е.Е. Бойко, Ф.Л. Бык, П.В. Илюшин [и др.] // Известия РАН. Энергетика. — 2023. — № 4. — С. 66–78.

2. Пузаков В.С. Схемы теплоснабжения городов России 10 лет спустя: опыт, проблемы, тенденции / В.С. Пузаков // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. — 2023. — № 1.

3. Чудинова О.Н. Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ / О.Н. Чудинова, Т.В. Чередова, А.А. Бутакова [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2024. — Т. 32, № 2. — С. 184–197. — DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197.

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. Росляков П.В. Проблемы адаптации действующего оборудования ТЭС к технологическим показателям выбросов ИТС 38-2022 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» / П.В. Росляков, О.Е. Кондратьева, Т.В. Гусева // Теплоэнергетика. — 2023. — № 10. — С. 115–123.

5. Прохоров В.Б. Обеспечение технологических показателей по выбросам оксидов азота при сжигании твердого топлива в паровом котле большой мощности / В.Б. Прохоров, В.С. Киричков, С.Л. Чернов [и др.] // Теплоэнергетика. — 2024. — № 10. — С. 91–102. — DOI: 10.56304/S0040363624700280.

6. Осокин Н.А. Методологический подход к комплексной оценке экологической безопасности теплоснабжения на примере Москвы / Н.А. Осокин, А.Г. Максимов, А.А. Куров [и др.] // Стратегические решения и риск-менеджмент. — 2025. — Т. 16, № 1. — С. 10–19. — DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19.

7. Утверждаемая часть к схеме теплоснабжения муниципального образования «город Оренбург» до 2033 года. — Оренбург, 2025. — 456 с.

8. Схема теплоснабжения муниципального образования город Владимир до 2041 года. — Владимир, 2024. — 473 с.

9. Схема теплоснабжения города Омска на период до 2040 года. — Омск, 2026. — 729 с.

10. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (зарегистрирован в Минюсте России 10.08.2017 № 47734).

11. ГОСТ Р 55173-2012. Установки котельные. Общие технические требования. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 28 с.

12. ИТС 38-2024. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии». — Москва: Бюро НДТ, 2024.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Boiko E.E. Effektivnost' teplosnabzheniya municipal'nykh obrazovaniy [Efficiency of heat supply in municipalities] / E.E. Boiko, F.L. Byk, P.V. Ilyushin [et al.] // Izvestiya RAN. Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering]. — 2023. — No. 4. — P. 66–78. [in Russian]

2. Puzakov V.S. Skhemy teplosnabzheniya gorodov Rossii 10 let spustya: opyt, problemy, tendentsii [Heat Supply Schemes for Russian Cities 10 Years Later: Experience, Problems, and Trends] / V.S. Puzakov // Nauchnye trudy: Institut narodokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN [Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences]. — 2023. — No. 1. [in Russian]

3. Chudinova O.N. Otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha produktami sgoraniya uglya i mazuta na primere kvartal'nykh kotel'nykh g. Ulan-Ude [Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products: A case study of district boiler houses in Ulan-Ude] / O.N. Chudinova, T.V. Cheredova, A.A. Butakova [et al.] // Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety]. — 2024. — Vol. 32, No. 2. — P. 184–197. — DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197. [in Russian]

4. Roslyakov P.V. Problemy adaptatsii deystvuyushchego oborudovaniya TES k tekhnologicheskim pokazatelyam vybrosov ITS 38-2022 "Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii" [Challenges in adapting existing TPP equipment to the emission performance indicators of ITS 38-2022 "Fuel combustion in large-scale installations for energy production"] / P.V. Roslyakov, O.E. Kondrat'eva, T.V. Guseva // Teploenergetika [Thermal Engineering]. — 2023. — No. 10. — P. 115–123. [in Russian]

5. Prokhorov V.B. Obespechenie tekhnologicheskikh pokazateley po vybrosam oksidov azota pri szhiganii tverdogo topliva v parovom kotle bol'shoy moshchnosti [Ensuring nitrogen oxide emission performance standards during solid fuel combustion in a high-capacity steam boiler] / V.B. Prokhorov, V.S. Kirichkov, S.L. Chernov [et al.] // Teploenergetika [Thermal Engineering]. — 2024. — No. 10. — P. 91–102. — DOI: 10.56304/S0040363624700280. [in Russian]

6. Osokin N.A. Metodologicheskiy podkhod k kompleksnoy otsenke ekologicheskoy bezopasnosti teplosnabzheniya na primere Moskvy [Methodological approach to the comprehensive assessment of the environmental safety of heat supply: the case of Moscow] / N.A. Osokin, A.G. Maksimov, A.A. Kurov [et al.] // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment [Strategic Decisions and Risk Management]. — 2025. — Vol. 16, No. 1. — P. 10–19. — DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19. [in Russian]

7. Utverzhdaemaya chast' k skheme teplosnabzheniya munitsipal'nogo obrazovaniya "gorod Orenburg" do 2033 goda [Approved Section of the Heat Supply Scheme for the "City of Orenburg" Municipality through 2033]. — Orenburg, 2025. — 456 p. [in Russian]

8. Skhema teplosnabzheniya munitsipal'nogo obrazovaniya gorod Vladimir do 2041 goda [Heat Supply Scheme for the Municipality of the City of Vladimir through 2041]. — Vladimir, 2024. — 473 p. [in Russian]

9. Skhema teplosnabzheniya goroda Omska na period do 2040 goda [Heat Supply Scheme for the City of Omsk for the Period up to 2040]. — Omsk, 2026. — 729 p. [in Russian]

10. Prikaz Minprirody Rossii ot 06.06.2017 № 273 "Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernom vozdukhe" [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of Russia No. 273 dated June 6, 2017, "On Approval of Methods for Calculating the Dispersion of Emissions of Harmful (Polluting) Substances in Atmospheric Air"] (registered with the Ministry of Justice of Russia on August 10, 2017, No. 47734). [in Russian]

11. GOST R 55173-2012. Ustanovki kotel'nye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya [GOST R 55173-2012. Boiler Plants. General Technical Requirements]. — Moscow: Standartinform, 2014. — 28 p. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

12. ITS 38-2024. Informatsionno-tekhnicheskiy spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam "Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii" [ITS 38-2024. Information-Technical Reference Book on Best Available Techniques: "Combustion of Fuels in Large-Scale Installations for Energy Production"]. — Moscow: Byuro NDT, 2024. [in Russian]