

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕСТНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

В. И. Глуховский¹, Г. И. Морзак², К. А. Сырникова³

¹ К. т. н., заведующий НИЛ «Экопром», Филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», Минск, Беларусь,
e-mail: ecoprom@bntu.by

² К. т. н., доцент кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: gmorzak@bntu.by

³ Магистрант кафедры инженерной экологии, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: ecology@bntu.by

Реферат

Регулирование валовыми выбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу при сжигании местных видов топлива направлено не только на охрану окружающей среды, но также содействует соблюдению экологических нормативов, обеспечению энергетической безопасности и улучшению качества жизни населения. Важным фактором развития торфоперерабатывающих предприятий в Беларуси является высокая эффективность использования торфа в экономическом секторе государства. К основной задаче природоохранной деятельности предприятия относится минимизация воздействий на окружающую среду от производственных технологических процессов.

Промышленные объекты, на которых осуществляются технологические процессы с выбросом ЗВ, обязаны разрабатывать, внедрять и контролировать природоохранные мероприятия, направленные на минимизацию всех видов загрязнений окружающей среды. Для защиты атмосферного воздуха предусматриваются меры по совершенствованию систем очистки промышленных выбросов, внедрению газоочистного оборудования, а также методы, направленные на рассеивание, нейтрализацию ЗВ и на соблюдение требований к санитарно-защитной зоне предприятия.

Использование эффективных технологий и контроль за выбросами вредных веществ играют ключевую роль в создании экологически устойчивой и здоровой среды для будущих поколений. Разработка и внедрение мероприятия по совершенствованию существующих технологий в данной отрасли являются актуальными.

В статье предложено техническое решение по повышению эффективности газоочистных установок для предприятий, использующих местные виды топлива. Показано, что модернизация системы очистки на базе батарейных циклонов для котельной установки при сжигании местных видов топлива позволит повысить эффективность очистки, минимизировать воздействия от производственной деятельности котельной на атмосферный воздух, сократить валовый выброс загрязняющих веществ от исследуемого источника.

Ключевые слова: топливосжигающие установки, выбросы загрязняющих веществ, батарейный циклон, природоохранная деятельность, модернизация систем очистки.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GAS PURIFICATION PLANTS FOR ENTERPRISES USING LOCAL FUELS

V. I. Glukhovsky, G. I. Morzak, K. A. Syrnikova

Abstract

Regulation of gross emissions of pollutants into the atmosphere from the combustion of local fuels is aimed not only at protecting the environment, but also promotes compliance with environmental regulations, ensuring energy security and improving the quality of life of the population. An important factor in the development of peat processing enterprises in Belarus is the high efficiency of peat use in the economic sector of the state. The main objective of the company's environmental protection activities is to minimize environmental impacts from production processes.

Industrial facilities that carry out technological processes with emissions of pollutants are required to develop, implement, and monitor environmental protection measures aimed at minimizing all types of environmental pollution. To protect atmospheric air, measures are provided to improve industrial emissions purification systems, introduce gas cleaning equipment, as well as methods aimed at dispersing, neutralizing pollutants, and complying with the requirements for the sanitary protection zone of the enterprise.

The use of efficient technologies and control of emissions of harmful substances play a key role in creating an environmentally sustainable and healthy environment for future generations. The development and implementation of measures to improve existing technologies in this industry are relevant.

The article proposes a technical solution to improve the efficiency of gas purification plants for enterprises using local fuels. It is shown that the modernization of the purification system based on battery cyclones for a boiler plant when burning local fuels will increase the efficiency of purification, minimize the effects of the boiler house's production activities on atmospheric air, and reduce the gross emission of pollutants from the source under study.

Keywords: fuel-burning plants, pollutant emissions, battery cyclone, environmental protection, modernization of purification systems.

Введение

Рост вовлечения местных видов топлива, таких как древесные отходы, торф и биомасса, в энергетический сектор экономики создает необходимость модернизации газоочистного оборудования на предприятиях по их использованию. Это вызвано растущими экологическими требованиями и необходимостью соблюдения стандартов по выбросам. Этот вид производства имеет стратегическое значение для обеспечения энергетической безопасности страны и сокращения зависимости от импортных ресурсов [1, 2].

Все местные виды топлив подразделяются на две группы:

- торф и получаемые из него брикеты;
- биомасса, к которой относят древесину для топливных нужд, побочные продукты лесной и деревообрабатывающей промышленности (отходы древесины, стружка, опилки, щепа), быстрорастущую

древесину, а также отходы сельскохозяйственного производства, включая солому и костру льна [3, 4].

Биомасса – это вид топлива, который в своём составе полностью или частично содержит органические вещества растительного и (или) животного происхождения, что позволяет использовать его для получения энергии при его сжигании.

Местные виды топлива (МВТ) более экологичны по сравнению с традиционными твёрдыми и жидкими видами, поскольку характеризуются меньшим содержанием золы, незначительное содержание серы и обладают углекислотной нейтральностью. Процесс сжигания биотоплива сопровождается поступлением в атмосферу углекислого газа, доля которого, как правило, не учитывается в общем объеме и балансе выбросов парниковых газов (ПГ), поскольку является частью непосредственного природного карбонового цикла.

Увеличение объемов замещения природных горючих ископаемых на MBT не приводит к ощутимому повышению эффективности топливного потенциала, а также снижению выбросов загрязняющих веществ и ПГ. Это объясняется тем, что в атмосферный воздух кроме углекислого газа поступают метан, закись азота, диоксид серы и другие химические соединения, относящиеся к ПГ. При этом выбросы диоксида углерода и серы в расчёте на единицу получаемой возрастают в силу более низкой теплоты сгорания и содержания водорода, несмотря на относительно низкое содержание серы в торфе и биомассе [5–7].

Воздействия технологических процессов по переработке местных видов топлива на окружающую среду

На котельных установках Республики Беларусь доминирующее положение занимает использование твёрдых видов топлива. При существующих способах сжигания именно данный тип топлива определяет негативные экологические эффекты. Сжигаемые виды топлив, как правило, имеют низкое качество ввиду высокой зольности, сернистости и влажности, при практическом отсутствии технологий их обогащения. Показатели загрязнения атмосферного воздуха зависят от вида топлива, применяемого в процессе сжигания. Поэтому экологичность топливо-энергетического комплекса оценивается в первую очередь структурой топливного баланса. Негативное влияние топливосжигающих установок на атмосферный воздух ха-

рактеризуется определенными факторами и процессами взаимодействия между собой ЗВ и с другими компонентами [8, 9]. Основные направления отрицательного влияния топливосжигающих установок на атмосферный воздух представлены на рисунке 1.

Технологические методы использования местных видов топлив зависят от их состава и физико-химических характеристик, а также технологии процесса сжигания в современных конструкциях котельных установок. Эти методы не позволяют в полной мере обеспечить допустимый безопасный уровень воздействия на окружающую среду. Основные воздействия на окружающую среду от технологических процессов по переработке MBT представлены на рисунке 2.

Воздействия технологических процессов по переработке местных видов топлива на окружающую среду требуют контроля и мер по снижению их негативного воздействия, чтобы минимизировать отрицательные последствия для окружающей среды и здоровья человека. Для снижения таких воздействия на окружающую среду и сохранения ландшафтного биоразнообразия при переработке местных видов топлива необходимо внедрять современные технологии очистки выбросов ЗВ, производственных сточных воды и минимизации образующихся отходов. При этом важно соблюдать требования экологических стандартов и нормативов, проводить мониторинг воздействия на окружающую среду и принимать меры по предотвращению возможных аварий и загрязнений.



Рисунок 1 – Влияния топливосжигающих установок на атмосферный воздух



Рисунок 2 – Основные воздействия технологических процессов по переработке местных видов топлива на окружающую среду

Организация деятельности в области охраны окружающей среды и рационального природопользования на предприятии

Основным направлением эффективности природоохранной деятельности на предприятиях является минимизация негативного воздействия от применяемых технологических процессов на компоненты окружающей среды. Деятельность в области охраны окружающей среды и рационального природопользования осуществляется в соответствии с требованиями природоохранного законодательства Республики Беларусь, а также требованиями ЭкоНП 17.01.06-001–2017 [10]. На предприятиях разрабатываются и поддерживаются в рабочем состоянии процедуры производственных экологических наблюдений [11], а также создается и функционирует система обеспечения соблюдения норм ПДВ и ПДС, нормативов образования и лимитов хранения отходов [12–14].

Организация и ведение работ по охране атмосферного воздуха ведется в соответствии с природоохранными требованиями [15], организация работ по водопотреблению и водоотведению [10]. За пользование природными ресурсами, за выбросы ЗВ в атмосферный воздух, сбросы сточных вод и хранение/захоронение отходов производства предприятием производится оплата экологического налога по соответствующим ставкам с применением соответствующих коэффициентов согласно Налоговому кодексу Республики Беларусь [16]. Все отходы, образующиеся на предприятии, разделяются по видам согласно Общегосударственному классификатору Республики Беларусь ОКРБ 021–2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь» [17]. Обращение с отходами производства осуществляется в соответствии с требованиями НПА, ТНПА [18, 19].

Ежегодно предприятие актуализирует данные экологического паспорта [20], ведется учетная документация и государственная статистическая отчетность в соответствии с законодательством в области охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов.

На предприятиях, использующих МВТ, постоянно совершенствуются мероприятия по улучшению состояния воздушной среды, такие как:

- модернизация, реконструкция систем обеспыливания;
- контроль эффективности ГОУ;
- своевременное проведение режимно-наладочных испытаний отопительных котлов, техническое обслуживание ГОУ.

Для перехода на использование местных видов топлива необходимо проведение реконструкций котельной установки. На котельных установках торфопредприятий используются котлы ДКВР 10/13. Такая реконструкция заключается в модернизации газового котла, который будет работать на торфе и отсеве торфа. Перевод котельного хозяйства на местные виды топлива позволит предприятию свести к минимуму использование дорогостоящего, как правило, импортного топлива. Первые эксперименты такой реконструкции показали, что местные виды топлива не проигрывают импортному газу, а оборудование, которое работает на торфе и отсеве торфа, дает такую же эффективность.

В таблице 1 представлен перечень ЗВ от работы котельной установки с котлами ДКВР 10/13, работающей на торфобрикетах.

Таблица 1 – Перечень ЗВ от работы котельной установки, работающей на торфобрикетах

Загрязняющее вещество	Код вещества	Класс опасности
Твердые частицы суммарно	2902	3
Азота диоксид	0301	3
Серы диоксид	0301	3
Углерод оксид (окись углерода, угарный газ)	337	4

Анализ данных по качественным и количественным характеристикам выбросов ЗВ в атмосферный воздух показал, что наиболее важным звеном для совершенствования природоохранной деятельности является разработка и внедрение мероприятий по минимизации выбросов твердых частиц от эксплуатации котельной установки. Для очистки отходящего газового потока, как правило, на таких котельных установках применяют мультициклонные аппараты [21, 22].

Модернизация систем очистки на базе батарейных циклонов для котельных установок при сжигании местных видов топлива

Батарейный циклон представляет собой конструкцию из нескольких десятков до сотен циклонных элементов, соединённых общим корпусом и бункером. К корпусу циклона подсоединён единый подвод и отвод газа [23–25]. Для отделения пыли от газов в таком очистителе воздуха создаются центробежные и гравитационные силы. Батарейные циклоны состоят из корпуса, выхлопной трубы и направляющего аппарата. Принцип работы циклонного аппарата аналогичен струйному эжектору, т. е. при тангенциальной подаче запыленного газа (при работе под разрежением) на оси образуется зона повышенного разрежения. Запыленный поток, на который действуют центробежные силы, совершает вращательное движение и движется в направлении наименьшего сопротивления в сторону пылевыводного отверстия, проходит в пылевой бункер, перетекает в приосевую зону и поступает в выхлопной патрубок. При этом в пылевом бункере в зависимости от расхода газа образуется гидродинамическая ситуация.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема работы батарейного циклона. Газ из распределительной камеры поступает в элементы по оси. Лопатки направляющего аппарата задают газу вращательное движение, направляя его по нисходящей в сторону отверстия для спуска пыли. Загрязнённый пылью воздух поступает в циклоны через входной патрубок. В циклонах он начинает вращательное винтообразное движение, создается центробежная сила, за счет которой твердые частички ЗВ (пыль) прижимаются к стенкам циклонов и под действием силы трения начинают двигаться медленнее. Они теряют скорость и скатываются вниз в сборный конус. Все скопившиеся твердые частицы выводятся в пылепровод через шлюзовый затвор. Батарейные установки комплектуются сборной коробкой, циклонами правого и левого исполнения и общего бункера.

При установке циклонных элементов в группу или батарею в каждом циклонном элементе образуется своя гидродинамическая обстановка. Это обусловлено неравномерным расположением циклонных элементов и загрузкой материала [26, 27]. Таким образом, у ближайших к входному патрубку элементов наблюдается большая загрузка твердыми частицами, сила завихрения в них снижается, разрежение на оси уменьшается по сравнению с элементами дальнего ряда. Это приводит к созданию в общем пылевом бункере аэродинамической разветки – аэродинамическому перекоосу давления по сечению под каждым циклонным элементом.

На практике это приводит к возникновению перетоков газов между циклонными элементами: циклоны первого ряда больше загружены пылью, разрежение на оси меньше, уловленный материал вместе с газом поступает в общий пылевой бункер и перетекает в элементы дальнего ряда, которые в меньшей степени загружены пылью, завихрение в них больше, а значит больше разрежение на оси. В результате данные элементы просто выбрасывают уловленную пыль из аппарата (рисунок 4). По этой причине батарейные или групповые циклоны не поддаются настройке и регулированию.

При проектировании батарейных или групповых циклонов обычно устанавливают высокоэффективные циклонные элементы с эффективностью улавливания каждого 97–98 %, при установке в группу их эффективность снижается до 70–80 % за счет перетоков газов. Для устранения такого явления целесообразно использовать транзит-приемники с пылевыми затворами.

Проведенные исследования показали, что процесс сепарации частиц в транзит-приемнике циклона заканчивается уже на расстоянии 2–5 диаметров от пылевыводного отверстия циклона, что позволяет оптимизировать его длину и разместить внутри бункера батарейного циклона, а сброс уловленного материала осуществлять в общий бункер. Установление транзит – приемников с пылевым затвором приведет к изолированию циклонных элементов друг от друга, повышению эффективности пылеулавливания до 95–98 % за счет изменения структуры потока в сепарационной зоне циклона (рисунок 5).

В результате проведения предлагаемой модернизации системы очистки на базе батарейного циклона будет достигнуто значительное сокращение выбросов твердых частиц от эксплуатации котельной установки при сжигании местных видов топлива (таблица 2).

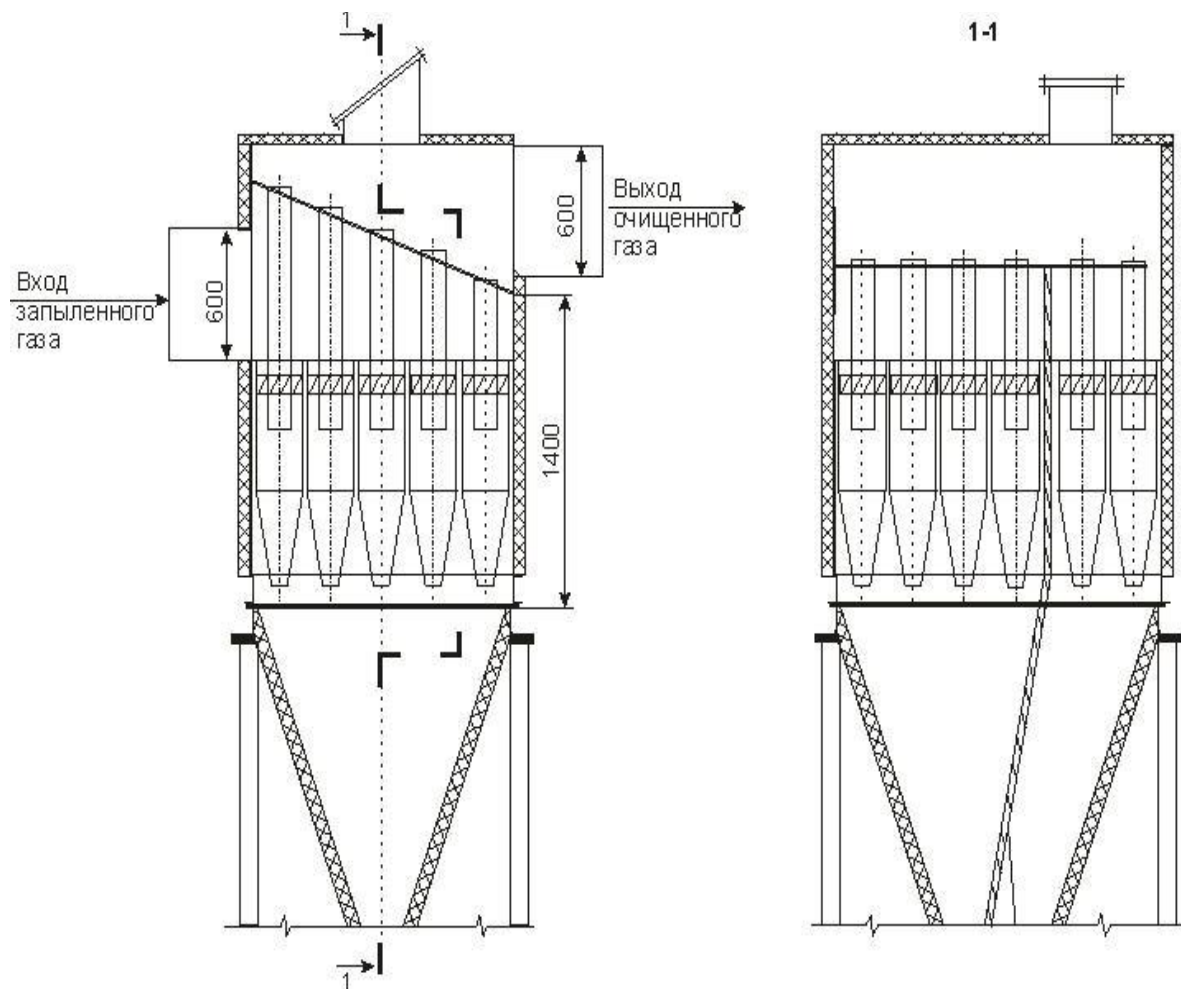


Рисунок 3 – Схема работы батарейного циклона

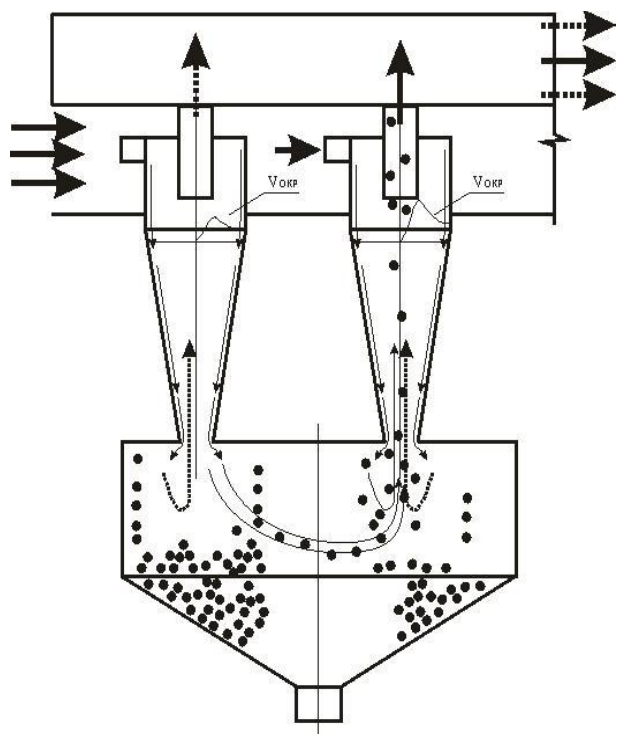


Рисунок 4 – Схема потоков в групповом циклоне с общим пылеприемником

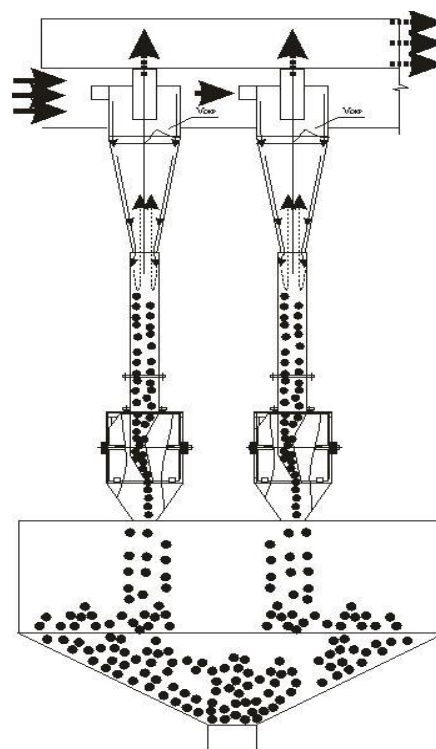
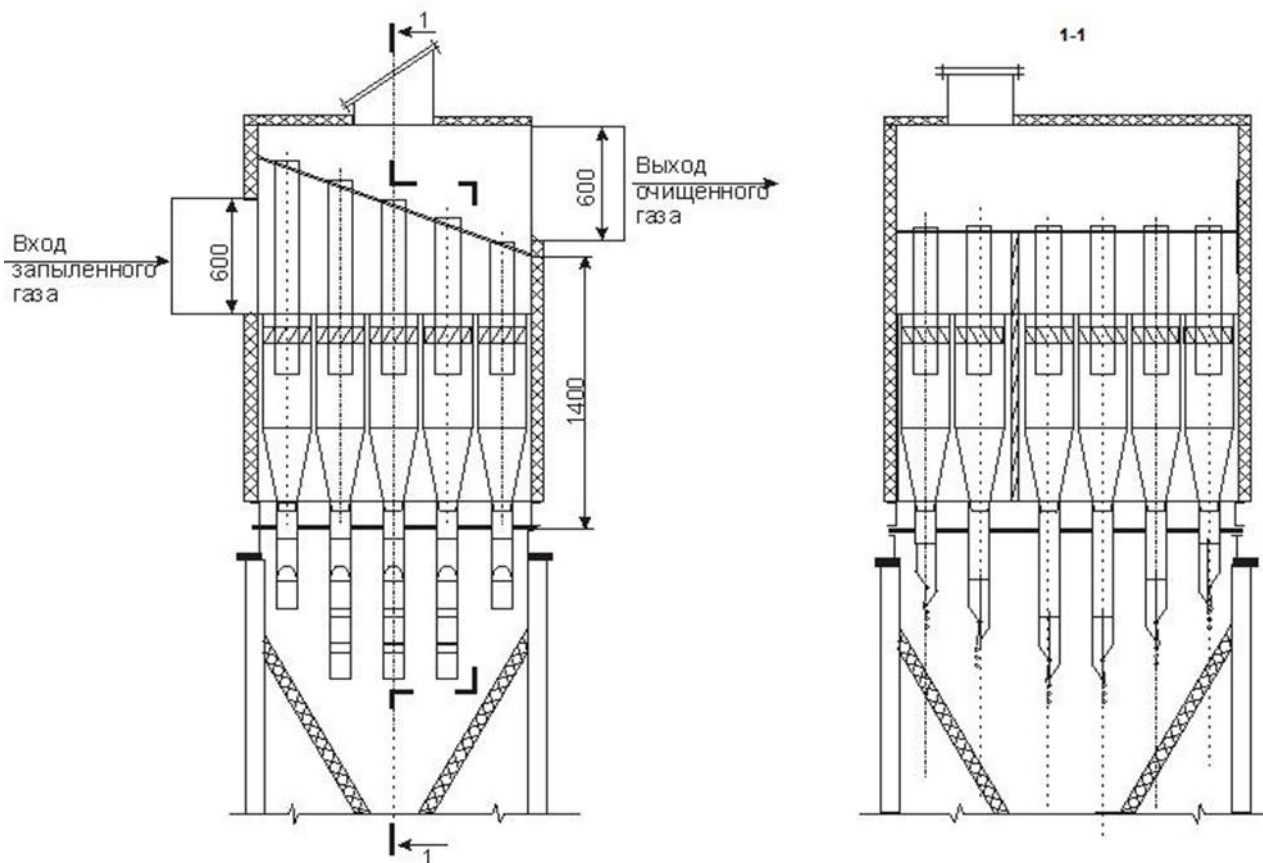


Рисунок 5 – Схема потоков в групповом циклоне с индивидуальными пылеприемниками

Таблица 2 – Динамика изменения выбросов ЗВ от природоохранного мероприятия для типовой котельной установки на местном виде топлива

Загрязняющее вещество	Код вещества	Класс опасности	Усредненные выбросы до реализации мероприятий		Усредненные выбросы после реализации мероприятий	
			г/с	т/год	г/с	т/год
Твердые частицы суммарно	2902	3	4,0	95,0	2,0	50,6

На рисунке 6 представлена схема батарейного циклона после модернизации.

**Рисунок 6** – Батарейный циклон после модернизации

Заключение

При проектировании и установке батарейных циклонов образуется особая гидродинамическая обстановка, вызванная неравномерным расположением циклонных элементов и загрузкой пылью, что приводит к аэродинамическому перекоосу давления по сечению под каждым циклонным элементом. На практике это приводит к возникновению перетоков газов между циклонными элементами. Для устранения такого явления предлагается использовать транзит-приемники с пылевыми затворами. Установление транзит-приемников с пылевым затвором приведет к повышению эффективности пылеулавливания до 95–98 % за счет изменения структуры потока в сепарационной зоне циклона.

Модернизация установок очистки на базе групповых и батарейных циклонов не требует значительных затрат на использование сырья и материалов, изменения системы аспирации очищаемых газов, замены тягодутьевых устройств и позволяет установить транзит-приемники в стесненных условиях действующего производства.

Таким образом, внедрение предлагаемого технического решения по модернизации системы очистки на базе батарейных циклонов для котельной установки при сжигании местных видов топлива позволит повысить эффективность очистки, минимизировать воздействия от производственной деятельности котельной на атмосферный воздух, сократить валовый выброс загрязняющих веществ от исследуемого источника.

Список цитированных источников

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 февр. 2021 г., № 103 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://docs.yandex.by/docs/view?tm=1745391982&tid=by&lang=ru&name=Programma_energoprogramma2021_2025.pdf&text (дата обращения: 10.04.2025).
2. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 дек. 2015 г., № 1084 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21501084> (дата обращения: 10.04.2025).
3. Овчинников, В. М. Основные виды и характеристика энергетических ресурсов: учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, Л. В. Шенец, В. В. Макеев. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 117 с.
4. Вавилов, А. В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов / А. В. Вавилов. – Минск : СтройМедиаПроект, 2014. – 80 с.
5. Станюта, Д. Топливное направление использования торфа по-прежнему актуально / Д. Станюта // Энергоэффективность. – 2020. – № 9. – С. 13–15.
6. Овчинников, В. М. Энергетическая стратегия Беларуси: учеб.-метод. пособие / В. М. Овчинников, Л. В. Шенец, М. П. Малащенко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 99 с.

7. Черноусов, С. В. Энергетика Беларуси смотрит в будущее / С. В. Черноусов // Энергоэффективность. – 2006. – № 1. – С. 5–8.
8. Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для топливосжигающих установок теплоэнергетики = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Найлепшыя даступныя тэхнічныя метады для топливосжигающих установок теплоэнергетики: ТКП 17.02-17-2019 (33140). – Введ. 01.01.2020. – Минск : Белорус. гос. инст-т стандартизации и сертификации, 2019. – 84 с.
9. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджальных рэчываў у атмасфернае паветра. Парадак вызначэння выкідаў пры спальванні паліва ў катлах цеплапрадукцыйнаасцю да 25 МВт: ТКП 17.08-01-2006(02120). – Введ. 28.02.2006. – Минск : Белорус. гос. инст-т стандартизации и сертификации, 2006. – 56 с.
10. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : экологические нормы и правила ЭкоНП 17.01.06-001–2017 : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 18 июля 2017 г. № 5-т : с изм. 21 нояб. 2022 г., №23-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339485&p1=1&p5=0> (дата обращения: 12.04.2025).
11. Об осуществлении производственных наблюдений в области охраны окружающей среды, рационального (устойчивого) использования природных ресурсов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 11 окт. 2013 г., № 52 : с изм. и доп. 24 окт. 2019 г., № 36 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь (дата обращения: 12.04.2025).
12. О деятельности, связанной с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ, 27 дек. 2023 г., № 33 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441147> (дата обращения: 12.04.2025).
13. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила ведения учета добываемых подземных вод, изымаемых поверхностных вод и сбрасываемых сточных вод в окружающую среду = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Правілы вядзення ўліку падземных вод, якія здабываюцца, канфіскаўных паверхневых вод і сіданых сцэкавых вод у навакольнае асяроддзе : ТКП 17.06-12-2015 (01120). – Введ. 01.07.2015. – Минск : Белорус. гос. инст-т стандартизации и сертификации, 2015. – 32 с.
14. О порядке обращения с отходами : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 нояб. 2019 № 818 : с изм. и доп. от 21 сент. 2024 г., №53948 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь (дата обращения: 12.04.2025).
15. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Требования экологической безопасности в области охраны атмосферного воздуха : экологические нормы и правила. ЭкоНП 17.08.06 001 2022 : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 29.12.2022 № 32-Т : с изм. 29 дек. 2023 г., № 17-Т. – URL: <https://docs.yandex.by/docs/view?tm=1747126128&tid=by&lang=ru&name=17-Т-от-27.12.2023.pdf&text> (дата обращения: 12.04.2025).
16. Налоговый кодекс Республики Беларусь (Особенная часть) : 29 декабря 2009 г. № 71-3: принят Палатой представителей 11 декабря 2009 г.; одобрен Советом Респ. 18 декабря 2009 г.; в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.12.2024 г. № 47-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk0900071> (дата обращения: 12.04.2025).
17. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь : общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 021–2019 : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 9 сент. 2019 г., № 3-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631&p1=1> (дата обращения: 12.04.2025).
18. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь : 20 июля 2007 г., № 271-3: принят Палатой представителей 7 июня 2007 г.; одобрен Советом Респ. 22 июня 2007 г.; в ред. Закона Респ. Беларусь от 29.12.2023 г. № 333-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10700271> (дата обращения: 12.04.2025).
19. О порядке обращения с отходами : постановления Совета Министров Респ. Беларусь, 28 нояб. 2019 г., №818 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900818> (дата обращения: 12.04.2025).
20. Инструкция о порядке ведения экологического паспорта предприятия : постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 07 июня 2013, № 25 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21327635> (дата обращения: 16.04.2025).
21. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита атмосферы от вредных выбросов : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – 3-е изд. – М. : Инфра-Инженерия, 2023. – 316 с.
22. Балабанов, В. И. Инженерная защита окружающей среды: учебник / В. И. Балабанов, Л. А. Журавлева, Н. Б. Мартынова. – М. : ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – 233 с.
23. Ключенкова, М. И. Защита окружающей среды от промышленных газовых выбросов: учеб. пособие / М. И. Ключенкова, А. В. Луканин. – М. : ИНФА-М, 2021. – 142 с.
24. Инженерная экология и очистка выбросов промышленных предприятий: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна", "Водохозяйственное строительство", "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов" / Б. М. Хрусталева, В. И. Теличенко, В. Д. Сизов [и др.] ; под общ. ред. Б. М. Хрусталева, В. И. Теличенко. – М. : Издательство АСВ, 2016. – 556 с.
25. Инженерная экология: учебное пособие для вузов / И. С. Бракович, И. М. Золотарева, С. П. Кундас [и др.] ; под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Вышэйшая школа, 2020. – 222 с.
26. Луканин, А. В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки газозооных выбросов: учеб. пособие / А. В. Луканин. – М. : НИЦ ИНФА-М, 2024. – 523 с.
27. Очистка и дезодорация газозооных выбросов / В. А. Пронин, В. О. Мамченко, О. В. Долговская, В. А. Цветков. – СПб. : Университет ИТМО, 2022. – 156 с.

References

1. Gosudarstvennaya programma «Energoberezhenie» na 2021–2025 gody : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 24 fevr. 2021 g., № 103 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: https://docs.yandex.by/docs/view?tm=1745391982&tid=by&lang=ru&name=Programma_energoprogramma2021_2025.pdf&text (data obrashcheniya: 10.04.2025).
2. Koncepciya energeticheskoy bezopasnosti Respubliki Belarus' : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 23 dek. 2015 g., № 1084 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21501084> (data obrashcheniya: 10.04.2025).
3. Ovchinnikov, V. M. Osnovnye vidy i karakteristika energeticheskikh resursov: ucheb.-metod. posobie / V. M. Ovchinnikov, L. V. SHenec, V. V. Makeev. – Gomel' : BelGUT, 2015. – 117 s.
4. Vavilov, A. V. Toplivo iz netrادیconnyh energoresursov / A. V. Vavilov. – Minsk : StrojMediaProekt, 2014. – 80 s.

5. Stanyuta, D. Toplivnoe napravlenie ispol'zovaniya torfa po-prezhnemu aktual'no / D. Stanyuta // *Energoeffektivnost'*. – 2020. – № 9. – S. 13–15.
6. Ovchinnikov, V. M. Energeticheskaya strategiya Belarusi: ucheb.-metod. posobie / V. M. Ovchinnikov, L. V. SHenec, M. P. Malashenko. – Gomel' : BelGUT, 2017. – 99 s.
7. CHernousov, S. V. Energetika Belarusi smotrit v budushchee / S. V. CHernousov // *Energoeffektivnost'*. – 2006. – № 1. – S. 5–8.
8. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Nailuchshie dostupnye tekhnicheskie metody dlya toplivoszhigayushchih ustanovok teploenergetiki = Ahova navakol'naga asyaroddzya i pryrodakarystanne. Najlepshyya dastupnyya tekhnichnyya metody dlya toplivoszhigayushchih ustalovak ceplaenergetyki: TKP 17.02-17-2019 (33140). – Vved. 01.01.2020. – Minsk : Belorus. gos. inst-t standartizacii i sertifikacii, 2019. – 84 s.
9. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Atmosfera. Vybrosoy zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferyj vozduh. Poryadok opredeleniya vybrosov pri szhiganiy topliva v kotlah teploproduit'nost'yu do 25 MVt = Ahova navakol'naga asyaroddzya i pryrodakarystanne. Atmosfera. Vykydy zabrudzhal'nyh rechyay u atmosfery pavetra. Paradak vyznachennyya vykida'y pry spal'vanniy paliva y katlah ceplaprodukcyjnascy da 25 MVt: TKP 17.08-01-2006(02120). – Vved. 28.02.2006. – Minsk : Belorus. gos. inst-t standartizacii i sertifikacii, 2006. – 56 s.
10. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Trebovaniya ekologicheskoy bezopasnosti : ekologicheskie normy i pravila EkoNiP 17.01.06-001–2017 : postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus', 18 iyulya 2017 g. № 5-t : s izm. 21 noyab. 2022 g., №23-T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22339485p1=1&p5=0> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
11. Ob osushchestvlenii proizvodstvennyh nablyudenij v oblasti ohrany okruzhayushchej sredy, racional'nogo (ustojchivogo) ispol'zovaniya prirodnyh resursov : postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus', 11 okt. 2013 g., № 52 : s izm. i dop. 24 okt. 2019 g., № 36 // ETALON. Zakonodatel'stvo Respubliki Belarus' / Nac. centr pravovoj inform. Resp. Belarus' (data obrashcheniya: 12.04.2025).
12. O deyatel'nosti, svyazannoy s vybrosami zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferyj vozduh : postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy RB, 27 dek. 2023 g., № 33 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441147> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
13. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Gidrosfera. Pravila vedeniya ucheta dobyvaemyh podzemnyh vod, iznyaemyh poverhnostnyh vod i sbrasyvaemyh stochnykh vod v okruzhayushchuyu sredu = Ahova navakol'naga asyaroddzya i pryrodakarystanne. Gidrasfera. Pravily vyadzennyya yliku padzemnyh vod, yakiya zdabyvayucca, kanfiskoynyyh paverhnevyyh vod i skidanyh scyokavyyh vod u navakol'nae asyaroddze : TKP 17.06-12-2015 (01120). – Vved. 01.07.2015. – Minsk : Belorus. gos. inst-t standartizacii i sertifikacii, 2015. – 32 s.
14. O poryadke obrashcheniya s othodami : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 28 noyab. 2019 № 818 : s izm. i dop. ot 21 sent. 2024 g., 5/53948 // ETALON. Zakonodatel'stvo Respubliki Belarus' / Nac. centr pravovoj inform. Resp. Belarus' (data obrashcheniya: 12.04.2025).
15. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Atmosferyj vozduh (v tom chisle ozonovyy sloj). Trebovaniya ekologicheskoy bezopasnosti v oblasti ohrany atmosferyj vozduha : ekologicheskie normy i pravila. EkoNiP 17.08.06 001 2022 : postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus' ot 29.12.2022 № 32-T : s izm. 29 dek. 2023 g., № 17-T. – URL: <https://docs.yandex.by/docs/view?tm=1747126128&tid=by&lang=ru&name=17-T-ot-27.12.2023.pdf&text> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
16. Nalogovyy kodeks Respubliki Belarus' (Osobennaya chast') : 29 dekabrya 2009 g. № 71-Z: prinyat Palatoj predstavitelej 11 dekabrya 2009 g.: odobr. Sovetom Resp. 18 dekabrya 2009 g.: v red. Zakona Resp. Belarus' ot 13.12.2024 g. № 47-Z // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk0900071> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
17. Klassifikator othodov, obrazuyushchihsya v Respublike Belarus' : obshchegosudarstvennyj klassifikator Respubliki Belarus' OKRB 021–2019 : postanovlenie Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus', 9 sent. 2019 g., № 3-T // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p1=1> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
18. Ob obrashchenii s othodami: Zakon Resp. Belarus' : 20 iyulya 2007 g., № 271-Z: prinyat Palatoj predstavitelej 7 iyunya 2007 g.: odobr. Sovetom Resp. 22 iyunya 2007 g.: v red. Zakona Resp. Belarus' ot 29.12.2023 g. № 333-Z // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10700271> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
19. O poryadke obrashcheniya s othodami : postanovleniya Soveta Ministrov Resp. Belarus', 28 noyab. 2019 g., №818 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900818> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
20. Instrukciya o poryadke vedeniya ekologicheskogo pasporta predpriyatiya : postanovleniem Ministerstva prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Resp. Belarus', 07 iyun' 2013, № 25 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21327635> (data obrashcheniya: 16.04.2025).
21. Vetoshkin, A. G. Inzhenernaya zashchita atmosfery ot vrednyh vybrosov : ucheb. posobie / A. G. Vetoshkin. – 3-e izd. – M. : Infra-Inzheneriya, 2023. – 316 s.
22. Balabanov, V. I. Inzhenernaya zashchita okruzhayushchej sredy: ucheb. posobie / V. I. Balabanov, L. A. Zhuravleva, N. B. Martynova. – M. : FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K. A. Timiryazeva, 2022. – 233 s.
23. Klyushenkova, M. I. Zashchita okruzhayushchej sredy ot promyshlennyh gazovyh vybrosov: ucheb. posobie / M. I. Klyushenkova, A. V. Lukanin. – M. : INFA-M, 2021. – 142 s.
24. Inzhenernaya ekologiya i ochistka vybrosov promyshlennyh predpriyatij: uchebnoe posobie dlya studentov uchrezhdenij vysshego obrazovaniya po special'nostyam "Teplogazosnabzhenie, ventilyaciya i ohrana vozdušnogo bassejna", "Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo", "Vodosnabzhenie, vodoootvedenie i ohrana vodnyh resursov" / B. M. Hrustalev, V. I. Telichenko, V. D. Sizov [i dr.]; pod obshch. red. B. M. Hrustalev, V. I. Telichenko. – M. : Izdatel'stvo ASV, 2016. – 556 s.
25. Inzhenernaya ekologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov / I. S. Brakovich, I. M. Zolotareva, S. P. Kudas [i dr.]; pod red. B. M. Hrustaleva. – Minsk : Vyshejschaya shkola, 2020. – 222 s.
26. Lukanin, A. V. Inzhenernaya ekologiya: processy i apparaty ochistki gazovozdušnyh vybrosov: ucheb. posobie / A. V. Lukanin. – M. : NIC INFA-M, 2024. – 523 s.
27. Ochistka i dezodoraciya gazovozdušnyh vybrosov / V. A. Pronin, V. O. Mamchenko, O. V. Dolgovskaya, V. A. Cvetkov. – Spb. : Universitet ITMO, 2022. – 156 s.

Материал поступил 22.05.2025, одобрен 29.05.2025, принят к публикации 29.05.2025