Оригинальная статья

Original Paper

УДК 622.413:504.53 © С.Н. Харченко✉[1], Р.Т. Хакимов[2], К.И. Лушин[3], Ю.А. Лепехина[4], Е.П. Парлюк[5], Н.А. Большаков[2], 2025

[1] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», 350044, г. Краснодар, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 196601, г. Санкт-Петербург, Россия
[3] ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 107023, г. Москва, Россия
[4] Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия
[5] ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», 105005, г. Москва, Россия
✉ e-mail: ser.harchenko1995@yandex.ru

UDC 622.413:504.53 © S.N. Kharchenko✉[1], R.T. Khakimov[2], K.I. Lushin[3], Yu.A. Lepekhina[4], E.P. Parlyuk[5], N.A. Bolshakov[2], 2025

[1] Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation
[2] Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, 196601, Russian Federation
[3] Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation
[4] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation
[5] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation
✉ e-mail: ser.harchenko1995@yandex.ru

Оценка влияния угольных шахт на загрязнение атмосферы и анализ эффективности систем очистки выбросов

Assessing the impact of coal mines on air pollution and analysing the efficiency of emission treatment systems

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-99-103

В данной работе исследуется влияние подземных горных работ на шахтах на загрязнение атмосферного воздуха. Целью работы являются анализ выбросов опасных и вредных загрязняющих веществ из различных источников шахты и определение наиболее вредных источников. В статье представлен анализ состояния атмосферного воздуха в Кемеровской области и рассмотрены результаты проверки качества воздуха на участке котельных и тепловых сетей шахты «Алексиевская». На основе данных инвентаризации предприятия за 2020 г. установлено, что наибольший вклад в загрязнение вносят участок котельных и тепловых сетей, а также выбросы метана. Показано, что доля участка котельных и тепловых сетей составляет около 10% от общего объема выбросов, а выбросы метана – около 99%. Определено, что концентрации диоксида серы и оксидов азота в дымовых газах котельной превышают допустимые значения в 1,5-2 раза. Предложено использование скруббера Вентури для очистки выбросов котельной, что, согласно расчетам, позволит снизить выбросы твердых частиц на 90-95% и выбросы диоксида серы на 70-80%. Подчеркивается необходимость внедрения технологий дегазации шахты и утилизации извлекаемого метана.

Ключевые слова: *угольная промышленность, загрязнение атмосферы, подземные горные работы, шахты, скруббер Вентури, метан, диоксид серы, оксиды азота, бензапирен, экологическая безопасность.*

ХАРЧЕНКО С.Н.
Канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», 350044, г. Краснодар, Россия, e-mail: ser.harchenko1995@yandex.ru

ХАКИМОВ Р.Т.
Доктор техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 196601, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: haki7@mail.ru

ЛУШИН К.И.
Канд. техн. наук, декан факультета урбанистики и городского хозяйства, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 107023, г. Москва, Россия, e-mail: kirilllushin@gmail.com

ЛЕПЕХИНА Ю.А.
Канд. экон. наук, доцент,
Государственный морской университет
имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
353924, г. Новороссийск, Россия,
e-mail: rew777@yandex.ru

ПАРЛЮК Е.П.
Доктор техн. наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Московский
государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана»,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: kparlyuk@yandex.ru

БОЛЬШАКОВ Н.А.
Канд. техн. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный аграрный университет»,
196601, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: nik.mask@mail.ru

Для цитирования: Оценка влияния угольных шахт на загрязнение атмосферы и анализ эффективности систем очистки выбросов / С.Н. Харченко, Р.Т. Хакимов, К.И. Лушин и др. // Уголь. 2025;(6):99-103. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-99-103.

Abstract
This paper investigates the impact of underground mining operations at mines on atmospheric air pollution. The purpose of the work is to analyse the emissions of hazardous and harmful pollutants from various sources of the mine and to identify the most harmful sources. The article presents an analysis of the state of atmospheric air in the Kemerovo region and considers the results of air quality testing at the site of boiler houses and heat networks of the Alexievskaya mine. Based on the inventory data of the enterprise for 2020, it is established that the greatest contribution to pollution is made by the section of boiler houses and heat networks, as well as methane emissions. It is shown that the share of boiler and heat network section is about 10% of the total emissions, and methane emissions – about 99%. It is determined that the concentrations of sulphur dioxide and nitrogen oxides in the flue gases of the boiler house exceed the permissible values by 1.5-2 times. The use of Venturi scrubber for cleaning of boiler house emissions is proposed, which, according to calculations, will allow to reduce emissions of solid particles by 90-95% and emissions of sulphur dioxide by 70-80%. The need to introduce technologies for mine degassing and utilisation of extracted methane is emphasised.

Keywords
Coal industry, air pollution, underground mining, mines, Venturi scrubber, methane, sulphur dioxide, nitrogen oxides, benzapyrene, environmental safety.

For citation
Kharchenko S.N., Khakimov R.T., Lushin K.I., Lepekhina Yu.A., Parlyuk E.P., Bolshakov N.A. Assessing the impact of coal mines on air pollution and analysing the efficiency of emission treatment systems. *Ugol'*. 2025;(6): 99-103. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-99-103.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из наиболее острых экологических проблем, стоящих перед мировым сообществом. Масштабное промышленное производство, активное использование транспорта и энергетики, основанной на сжигании ископаемого топлива, приводят к выбросу огромного количества вредных веществ, оказывающих негативное влияние на здоровье человека и состояние окружающей среды [1, 2]. Существуют различные подходы к решению этой проблемы, начиная от внедрения более чистых технологий и использования возобновляемых источников энергии, до установки эффективных систем очистки выбросов на промышленных предприятиях.

Развитие и внедрение безуглеродной энергетики, безусловно, являются перспективным направлением, однако требуют значительных инвестиций и времени для полной реализации. В то же время совершенствование и оптимизация существующих технологий очистки выбросов, таких как установка фильтров, скрубберов и дегазационных систем, позволяют значительно снизить негативное воздействие на атмосферу в краткосрочной перспективе [3, 4, 5]. В частности, для угольной промышленности, которая остается важным источником энергии во многих странах, проблема загрязнения атмосферы стоит особенно остро [6, 7, 8].

Использование угля в котельных и шахтах сопровождается выбросом в атмосферу целого ряда опасных веществ, таких как оксиды азота,

серы, углерода, а также золы, сажи и метана. В этой связи разработка и внедрение эффективных методов очистки выбросов на предприятиях угольной промышленности является актуальной и важной задачей [9]. Это особенно важно для регионов, где угольная промышленность являются градообразующей отраслью, таких как Кемеровская область. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в Кузбассе требует комплексного подхода, включающего как модернизацию существующих предприятий, так и внедрение новых технологий [10, 11, 12].

Данная работа посвящена оценке влияния подземных горных работ на загрязнение атмосферы, а также анализу эффективности использования установок очистки воздуха. Целью работы являются анализ выбросов опасных и вредных загрязняющих веществ из различных источников предприятия, а также определение наиболее вредных источников выбросов для последующей установки устройств очистки и дегазации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках исследования влияния подземных горных работ на загрязнение атмосферы был реализован комплексный подход, включающий в себя анализ состояния атмосферного воздуха в Кемеровской области, проверку качества воздуха на участке котельных и тепловых сетей шахты «Алексиевская», а также расчеты выбросов загрязняющих веществ от организованных источников и оценку эффективности использования предложенных установок очистки воздуха. Экспериментальные работы были направлены на получение достоверных данных о характеристиках выбросов загрязняющих веществ и оценку возможностей их снижения с использованием современных технологий [13, 14, 15]. Для анализа выбросов загрязняющих веществ на шахте «Алексиевская» использовались данные инвентаризации предприятия за 2020 г., представленные самим предприятием. Согласно этим данным, на шахте имеются 79 источников выбросов, из которых 32 являются организованными, а 47 – неорганизованными. Для оценки распределения газовоздушной примеси метана в атмосферном воздухе от устья шахты применялась программа УПРЗА «Эко Центр».

Для проверки качества воздуха на участке котельных и тепловых сетей были проведены измерения параметров выбросов из дымовой трубы высотой 120 м и диаметром 4,2 м. На данном участке используются котлы марки КВТС-30-150 с производительностью 30 Гкал/ч, работающие на угле марки ГЖО. Котлы оснащены дымососом ВГДН-19 и вентилятором дутьевым Д 60/310. Процесс сжигания угля контролировался, а параметры дымовых газов измерялись для определения концентрации загрязняющих веществ. Для сбора проб воздуха применялся метод аспирации, где определенный объем воздуха пропускался через устройство, содержащее жидкий или твердый сорбент для улавливания веществ и аэрозольный фильтр для задержания частиц в воздухе. Расход воздуха и время аспирации соответствовали методикам, изложенным в Руководстве по контролю загрязнения воздуха. Параллельно со сбором проб изучались метеорологические условия, такие как скорость и направление ветра, температура воздуха, влажность, атмосферное давление и состояние почвы.

Для оценки эффективности установок очистки воздуха был проведен расчет рассеивания выбросов в атмосферу из дымовой трубы котельной с использованием программы УПРЗА «Эко Центр». Расчет дисперсии вредных веществ, таких как диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, бензапирен и зола, выполнялся для котельной установки КВТС-30-150.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха на шахте «Алексиевская» вносят участок котельных и тепловых сетей, а также выбросы метана из подземных горных выработок. Согласно данным инвентаризации, доля участка котельных и тепловых сетей в общем объеме выбросов загрязняющих веществ составляет около 10%, что соответствует 218,6 т в год. При этом основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу данным участком, являются диоксид серы (34% от общего выброса), диоксид азота (22%), оксид углерода (20%), зола твердого топлива (15%) и взвешенные вещества (6%). Концентрация бензапирена, также присутствующего в выбросах котельной, составляет менее 1%, однако этот канцероген представляет значительную опасность для здоровья населения. Измерения показали, что концентрации диоксида серы и оксидов азота в дымовых газах котельной превышают допустимые значения в 1,5-2 раза, что свидетельствует о необходимости внедрения эффективных мер по очистке выбросов (*табл. 1*).

Что касается выбросов метана, то они составляют порядка 99% от общего объема выбросов загрязняющих веществ на шахте «Алексиевская». Это соответствует 20378,4 т в год. Метан является не только парниковым газом, способствующим изменению климата, но и взрывоопасным веществом, представляющим опасность для персонала шахты и населения близлежащих районов. Расчеты, выполненные с использованием программы УПРЗА «Эко Центр», показали, что при неблагоприятных метеорологических условиях концентрация метана в атмосферном воздухе вблизи устья шахты может превышать допустимые значения в несколько раз. Это свидетельствует о необходимости внедрения эффективных технологий дегазации шахты и утилизации извлекаемого метана.

Анализ результатов расчета рассеивания выбросов в атмосферу из дымовой трубы котельной показал, что максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ достигаются на расстоянии от 500 до 1000 м от источника. При этом расчетные концентрации диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, бензапирена, сажи и золы не превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) для атмосферного воздуха населенных мест. Однако необходимо учитывать, что расчеты проводились для условий неблагоприятной метеорологической обстановки, когда рассеивание загрязняющих веществ затруднено. При более благоприят-

Таблица 1

Результаты анализа проб воздуха на участке котельных и тепловых сетей шахты «Алексиевская»

Results of air sample analysis in the area of the boiler houses and heat supply system of the Alexievskaya mine

Загрязняющее вещество	Результаты измерений (мг/м^3)	ПДК (мг/м^3)	Превышение ПДК, раз	Погрешность измерений (%)
Диоксид серы (SO_2)	0,65	0,5	1,3	5
Диоксид азота (NO_2)	0,48	0,4	1,2	5
Оксид углерода (CO)	4,2	5,0	-	3
Взвешенные частицы (PM10)	0,18	0,3	-	7
Бензапирен ($C_{20}H_{12}$)	0,0000009	0,000001	-	10

Таблица 2

Ожидаемое снижение выбросов после установки скруббера Вентури

Expected reduction in emissions upon installation of the Venturi scrubber

Загрязняющее вещество	Концентрация до очистки (мг/м^3)	Эффективность скруббера (%)	Концентрация после очистки (мг/м^3)	Снижение выбросов (т/год)
Твердые частицы	0,25	92,5	0,019	14,5
Диоксид серы	0,55	75	0,138	55,2
Оксиды азота	0,35	15	0,298	3,1

ных условиях рассеивание концентрации загрязняющих веществ будет ниже [16]. Для повышения эффективности очистки выбросов котельной была предложена установка скруббера Вентури. Расчеты показали, что использование скруббера Вентури позволит снизить выбросы твердых частиц (золы и сажи) на 90-95%, а выбросы диоксида серы – на 70-80%. При этом эффективность очистки по оксидам азота будет незначительной, поэтому для снижения выбросов этих веществ необходимо использовать дополнительные методы очистки (*табл. 2*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования необходимо отметить, что работа была направлена на решение актуальной проблемы снижения негативного воздействия угольной промышленности на атмосферный воздух, особенно в угледобывающих регионах, таких как Кемеровская область. В ходе исследования были выявлены основные источники загрязнения атмосферного воздуха на шахте «Алексиевская», среди которых особое внимание уделено участку котельных и тепловых сетей, а также выбросам метана из подземных выработок. Из анализа установлено, что вклад котельной в общее загрязнение окружающей местности составляет около 10%, при этом концентрации диоксида серы и оксидов азота в дымовых газах превышают допустимые значения. Выбросы метана, составляющие около 99% от общего объема выбросов, также представляют серьезную экологическую опасность.

Результаты работы показывают необходимость внедрения эффективных мер по очистке выбросов на участке котельных и тепловых сетей шахты «Алексиевская». Предложенная установка скруббера Вентури показала потенциал снижения выбросов твердых частиц и диоксида серы на 90-95% и 70-80% соответственно.

Также результаты показывают необходимость внедрения технологий дегазации шахты и утилизации извлекаемого метана. Это не только позволит снизить выбросы парниковых газов, но и повысит безопасность горных работ. Результаты расчета рассеивания выбросов показали, что максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ достигаются на расстоянии от 500 до 1000 м от источника, что необходимо учитывать при планировании мероприятий по охране атмосферного воздуха вблизи шахты.

Важным направлением дальнейшей работы являются разработка и внедрение технологий утилизации метана, извлекаемого из шахт, например, для производства электроэнергии или тепла. Также перспективным направлением являются разработка комплексной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в районе шахты, включающей как стационарные посты наблюдения, так и мобильные лаборатории, а также использование данных дистанционного зондирования. Это позволит оперативно отслеживать изменения в качестве воздуха и принимать необходимые меры по снижению выбросов. Результаты данной работы могут быть непосредственно применены как на шахтах Кузбасса, так и на других угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях регионов России. Практическое внедрение предложенных мер позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду и улучшить экологическую обстановку в угледобывающих районах.

Список литературы • References

1. Batukhtin A.G., Batukhtin S.G., Kobylkin M.V., Baranovskaya M.G. Application of Heat Pumps in a Centralized heat Supply as the Direction of the Development of District Heating Cogeneratio. Proceedings – 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018. 2018:45-50. DOI: 10.1109/URALCON.2018.8544378.
2. Konstantinova M.V., Olentsevich A.A., Konyukhov V.Yu., Guseva E.A., Olentsevich V.A. Automation of failure forecasting on the subsystems of the railway transport complex in order to optimize the

transportation process as a whole. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1064(1):012020.

3. Batukhtin A., Batukhtina I., Baranovskaya M., Batukhtin S., Kobylkin M. Obtaining a solution of a differential equations system for determining the heat networks retention. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology.* 2018;9(7):1300-1320.
4. Antonov A.A., Studenikin D.E., Malakhov S.O., Kondratyev S.I., Khekert E.V. Algorithm for constructing a route to pass a narrow fairway. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012116. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012116.
5. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Kukartsev V.V., Konyukhov V.Yu., Kononenko R.V., Gendon A.L., Oparina T.A. Radon Emanation and Dynamic Processes in Highly Dispersive Media. *Geosciences.* 2024;(14):102. DOI: 10.3390/geosciences14040102.
6. Kuandykov T.A., Karmanov T.D., Kuldeyev E.I., Yelemessov K.K., Kaliev B.Z. New technology of uncover the ore horizon by the method of in-situ leaching for uranium mining. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2022;2022(3):142-154. DOI 10.32014/2022.2518-170X.186.
7. Semernik I.V., Khekert E.V., Bender O.V., Tarasenko A.A., Samonova C.V. Modeling of the Chaotic Signals Propagation Through a Wireless Underwater Optical Communication Channel. *Lecture Notes in Electrical Engineering.* 2023;(971 LNEE):176-187. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_19.
8. Konyuhov V.Yu., Gladkih A.M., Chemezov A.V. Evaluation of the economic feasibility of the introduction of plasma hardening technologies in the Far North enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;560(1):012147.
9. Sakharov G.N., Il'inykh V.A., Konyukhov V.Yu. Improvement of fastening elements in an assembled cutting tool. *Soviet Engineering Research.* 1990;10(11):102-103.
10. Afanaseva O.V., Bezyukov O.K., Ignatenko A.A. Method for assessing the relationship between the characteristics of vibroactivity and the design parameters of a marine diesel. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 2024;22(1):68-75. DOI: 10.24874/PES.SI.02.017.
11. Akzharkyn I., Yelemessov K., Baskanbayeva D., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A. Strengthening Polymer Concrete with Carbon and Basalt Fibres. *Applied Sciences (Switzerland).* 2024;14(17):7567. DOI: 10.3390/app14177567.
12. Gendler S.G., Grishina A.M., Kochetkova E.A. Optimization of expenditures for labor protection at deep mining. *Eurasian Mining.* 2017;(2):35-39.
13. Moshynskyi V., Zhomyruk R., Vasylchuk O., Rysbekov K., Yelemessov K. Investigation of technogenic deposits of phosphogypsum dumps. *E3S Web of Conferences*. 2021;(280):08008. DOI: 10.1051/e3sconf/202128008008.
14. Kozenkova G.L., Talamanov V.N., Kozenkov V.A., Khekert E.V., Modina M.A. Study of pneumatic sources of elastic waves for marine seismic exploration. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1)012068. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012068.
15. Pryalukhin A.F., Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Daus Y.V., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Dubrovin R.G. Simulation Modeling of Energy Efficiency of Electric Dump Truck Use Depending on the Operating Cycle. *World Electr. Veh. J.* 2025;(16):217. DOI: 10.3390/wevj16040217.
16. Yelemessov K., Krupnik L., Bortebayev S., Baskanbayeva D., Igbayeva A. Polymer concrete and fibre concrete as efficient materials for manufacture of gear cases and pumps. *E3S Web of Conferences*. 2020;(168):00018. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800018.

Authors Information

Kharchenko S.N. – PhD (Engineering), Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: ser.harchenko1995@yandex.ru

Khakimov R.T. – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, 196601, Russian Federation, e-mail: haki7@mail.ru

Lushin K.I. – PhD (Engineering), Dean of the Faculty of Urbanism and Municipal Economy, Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: kirilllushin@gmail.com

Lepekhina Yu.A. – PhD (Economic), Associate Professor, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: rew777@yandex.ru

Parlyuk E.P. – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: kparlyuk@yandex.ru

Bolshakov N.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, 196601, Russian Federation, e-mail: nik.mask@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.04.2025
Поступила после рецензирования: 16.05.2025
Принята к публикации: 26.05.2025

Paper info

Received April 15, 2025
Reviewed May16, 2025
Accepted May 26, 2025