

МАРЬИНА А. В., студент гр. ПГс-221, техник НИЛ ЦТПМСК (КузГТУ)  
Научный руководитель СМИРНОВА А. Д., ассистент, научный сотрудник  
НИЛ ЦТПМСК (КузГТУ)  
г. Кемерово

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПРОЦЕССЕ УГЛЕДОБЫЧИ

Уголь до сих пор считается одним из наиболее значимых источников энергии в мире благодаря своим энергетическим характеристикам и универсальности применения. Российская Федерация входит в число мировых лидеров по производству и экспорту угля [1]. Согласно Росстату, за прошлый год было добыто более 430 млн т этого ресурса. При этом, согласно данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых, наибольшую долю угля, добываемого в стране, поставляет Кемеровская область – Кузбасс, регион, расположенный в южной части Западной Сибири (см. рис. 1).



Рисунок 1. Доли субъектов РФ в добыче угля в процентах (составлено автором)

В процессе добычи угля применяются два основных способа разработки: открытый и подземный. Значительная часть добычи приходится именно на открытый способ, что видно из данных на рис. 2. Разработка угольных месторождений открытым способом обычно применяется в случаях, когда угольные пласты залегают на небольшой глубине от поверхности земли; этот метод характеризуется

высокой производительностью вследствие применения мощной техники и оборудования, а также низкими затратами на трудовые ресурсы. Однако использование данного способа также наносит значительный вред окружающей среде. В то же время подземная добыча, используемая при глубоком залегании угольных пластов, является более сложной и дорогостоящей, но и она сопряжена с серьезными экологическими рисками.



Рисунок 2. Добыча угля в России по способам добычи в 2011–2023 годах [1]

Оба способа разработки угольных пластов приводят к загрязнению воздуха, что провоцирует серьезные последствия для здоровья населения, а также приводит к разрушению экосистемы в целом. К примеру, при открытом способе происходит выброс в атмосферу вредных веществ и пыли, которые образуются в результате бурения, взрывов и транспортировки угля [2]. Накопление пыли, в свою очередь, приводит к образованию пыльных облаков, которые негативно влияют на здоровье людей. В случае подземной добычи помимо пыли возникают ещё и выбросы метана. Кроме того, в условиях случающихся шахтных пожаров существует риск возникновения и выброса токсичных газов, таких как оксид углерода (СО или угарный газ), водород ( $H_2$ ), радон (Rn) и прочие [3]. Отсюда следует, что каждый из способов разработки угольных месторождений сопряжен с комплексным негативным воздействием на окружающую среду — в том числе с выбросами парниковых газов и загрязнением воздушных ресурсов. Формируемая в этих обстоятельствах среда характеризуется как неблагоприятная; она во многом является причиной ухудшения здоровья населения и повышения уровня смертности, особенно среди жителей промышленных центров и близлежащих территорий [4].

Исходя из вышесказанного, целью данного исследования является обзор применяемых технологий, направленных на снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в процессе добычи угля. В рамках исследования требовалось

решить несколько задач. Прежде всего, необходимо было провести обзор технологий, используемых для уменьшения загрязнения воздуха при угледобыче. Далее требовалось проанализировать эффективность этих технологий и оценить их воздействие на окружающую среду. В заключении работы следовало определить направления для дальнейших исследований.

В настоящее время существует множество технологий, позволяющих сократить уровень загрязнения атмосферного воздуха. Одними из наиболее распространенных методов являются пылеподавление, пылеулавливание, а также технологии улавливания и утилизации шахтного метана. Кроме того, авторы данной работы исследовали разработку ученых Высшей школы экономики (НИУ ВШЭ), которые применили искусственный интеллект для комплексного планирования и контроля рисков загрязнения атмосферного воздуха.

Пылеподавление является одним из наиболее эффективных методов снижения пылевых выбросов. Основные его способы включают орошение и распыление, посредством которых мелкие частицы пыли связываются с помощью воды или специальных химических растворов. Хотя орошение обычной водой является доступным решением, его эффективность ограничена из-за быстрого испарения. Применение влагопоглощающих составов и специализированных реагентов значительно повышает эффективность методики, предотвращая повторное поднятие пыли в воздух. Так, реагенты, образующие защитную корку на поверхности угля, могут существенно снизить пылеобразование, хотя их высокая стоимость и потенциальные экологические риски могут ограничивать их применение.

Пылеулавливание также является важным элементом в процессе обеспечения необходимого уровня чистоты атмосферного воздуха на угольных предприятиях. Системы пылеулавливания работают на основе трёх этапов: всасывания запыленного воздуха, его очистки и последующего удаления пыли. В частности, такие установки могут эффективно очищать воздух от пыли, выделяющейся в процессе добычи, переработки и транспортировки угля, тем самым снижая риск взрывов угольной пыли, которые представляют серьёзную угрозу для работы шахт и здоровья рабочих. Эффективность систем пылеулавливания определяется их способностью улавливать пыль и предотвращать её дальнейшее распространение в атмосферу. В современных условиях для реализации этого способа применяются различные технологии, такие как электростатические фильтры, циклоны и вытяжные установки; все они демонстрируют эффективность удаления пыли до 99%. Столь высокие показатели делают системы пылеулавливания незаменимыми для обеспечения безопасных условий труда и защиты окружающей среды.

Технологии улавливания и утилизации шахтного метана, в свою очередь, также представляют собой важный аспект обеспечения безопасности в процессе угледобычи. Выбросы шахтного метана могут привести к взрывам и в целом негативно влияют на окружающую среду. Разрабатываемые в последние годы технологии направлены на утилизацию этого газа, что не только повышает безопасность в шахтах, но и позволяет полезно использовать метан в качестве экологически чистого энергетического ресурса. Одним из наиболее простых спосо-

бов утилизации метана является его сжигание на факельных установках. Наиболее перспективной технологией считается утилизация шахтового метана с помощью когенерационных газотурбинных установок для производства тепла и электроэнергии. В таких установках метановоздушная смесь подается в камеру сгорания, где происходит сжигание метана, что приводит к выделению тепла. Это тепло может быть использовано для обогрева, применяться в технологических процессах, а также направляться на выработку электроэнергии с помощью турбин. При оптимальных условиях работы КПД установок может достигать 64%. Это означает, что большая часть энергии, содержащейся в метане, преобразуется в полезную форму; этот факт делает данную технологию экономически привлекательной для угольных компаний [5].

Система прогнозирования пространственного распределения вредных веществ в атмосферном воздухе также представляет собой важный инновационный инструмент. Он используется как для управления и мониторинга рисков загрязнения на промышленных объектах, так и для проверки точности данных, получаемых с датчиков и приборов экологического мониторинга. Система анализирует данные с более чем 20 контрольных точек и может предсказывать движение загрязняющих веществ, учитывая такие параметры, как температура и скорость ветра; это позволяет быстрее реагировать на превышение норм и предотвращать дальнейшие выбросы. Более того, система может также выявлять первичные источники выбросов, что позволяет компаниям эффективнее управлять своими выбросами и снижать их воздействие на окружающую среду [6].

Принцип работы вышеописанной системы заключается в следующем. Сначала данные, получаемые со станций контроля качества воздуха, проверяются и конвертируются в корректный для дальнейшей обработки формат: для этого используются аналитические модели и модели рассеивания. Затем с помощью моделей краткосрочного прогнозирования можно получить данные о концентрации определенного вещества для следующего дня, что, фактически, является прогнозом для точки контроля. Модель обучена и протестирована на нескольких веществах, в том числе на частицах пыли, сероводороде, оксиде азота, аммиаке и метане, поэтому она идеально подходит для внедрения в работу горных предприятий. Преимуществами этой модели по сравнению с другими аналогичными решениями можно назвать скорость обучения и точность прогнозирования. Исходный процесс обучения модели занимает не более десяти минут, а с каждым новым прогнозом это время сокращается до нескольких секунд.

Таким образом, рассматриваемые технологии позволяют эффективно бороться с загрязнением воздуха при добыче угля, одновременно повышая безопасность на угольных предприятиях. Вариантом для дальнейших исследований может быть обзор технологий, направленных на снижение загрязнения грунтовых вод, изменение ландшафта местности или повышение качества жизни населения, проживающего в районах угледобычи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075–03-2024-082-2).

## Список литературы:

1. Мешков Г.Б. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год / Г.Б. Мешков, И.Е. Петренко, Д.А. Губанов // Уголь. – 2024. – №3. – С. 18–28.
2. Стрекалов С.В. Сравнительный анализ влияния открытого и подземного способов добычи угля на экологические и социально-экономические аспекты в угледобывающих регионах / С.В. Стрекалов // Евразийский Союз Ученых. – 2015. – №11–4 (20). – С. 112–115.
3. Луговцова Н.Ю. Оценка экологических рисков от эндогенных пожаров на угольных шахтах и разработка технологии для их минимизации: на примере Кузбасса: автореферат дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук – Иркутск, 2018. – 18 с.
4. Зиновьева О.М. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах / О.М. Зиновьева, Л.А. Колесникова, А.М. Меркулова, Н.А. Смирнова // Уголь. – 2020. – №10 (1135). С. 62–67.
5. Кулаков Д.М. Утилизация шахтного метана в газотурбинных установках для производства электрической энергии и теплоты / Д.М. Кулаков, Н.Л. Щёголев, Р.З. Тумашев // Безопасность в техносфере. – 2015. №. 5. С. 41–48.
6. Патент № 2799893 Российская Федерация, МПК G08B 21/12 (2006.01), G01N 1/00 (2006.01). Система прогнозирования пространственного распределения вредных веществ в атмосферном воздухе: № 2022128005 заявл. 28.10.2022: опубл. 13.07.2023 / О.В. Горшков, А.В. Кычкин; заявитель ВШЭ – 7 с.