

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ТУПИКОВОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ ОТГРУЗКЕ РУДЫ ТЕХНИКОЙ С ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е.В. Накаряков

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В работе представлены результаты натурных исследований рудничной атмосферы тупиковой горной выработки при работе техники с двигателями внутреннего сгорания. Измерения произведены пятью газоанализаторами с ежесекундной записью величин концентраций. Показано, что при расчетном количестве воздуха, подаваемом на проветривание тупиковой выработки, концентрация диоксида азота в устье выработки и в кабине машиниста не превышает предельно-допустимую. Показаны локальные участки превышения концентраций вредных газов в пространстве тупиковой выработки.

**Ключевые слова:** рудничная вентиляция, двигатель внутреннего сгорания, выхлопные газы, ядовитые газы, расход воздуха, расчет количества воздуха.

### Введение

Существующий подход к расчету требуемого количества воздуха для проветривания рабочих зон, в которых работает техника с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), ориентирует на разбавление вредных примесей выхлопных газов ДВС до предельно-допустимых значений (ПДК), регламентируемых ФНиП [1] и СанПиН [2]. Данный подход подразумевает, что во всем пространстве рабочей зоны будет равномерно распределено предельно-допустимое значение газа. Однако результаты моделирования проветривания тупиковых горных выработок нагнетательным способом проветривания, описанные в работах [3, 4], показывают, что в тупиковой части выработки образуются устойчивые завихренные зоны и зона отдельных частых вихрей. Отдельные вихри в свою очередь могут формировать нестационарное распределение концентраций газа по сечению на отдалении от забоя выработки. Таким образом, средняя по сечению концентрация не превышает ПДК, но могут иметься локальные превышения по сечению.

С целью оценки распределения концентраций газа в пределах тупиковой выработки, проветриваемой нагнетательным способом, произведены натурные исследования компонентного состава рудничной атмосферы при работе машины с двигателем внутреннего сгорания с использованием пяти газоанализаторов Draeger X-am 5600 с возможностью ежесекундной записи данных. Описание методики проведения измерений представлено в работе [5].

### Описание эксперимента

При проведении эксперимента газоанализаторы были размещены в следующих местах: 1) в сквозной выработке с поступающей к ВМП струей воздуха – для оценки фоновое содержание газа в поступающей в рабочую зону струе воздуха; 2) в устье тупиковой выработки – для оценки качественного состава воздуха рабочей зоны; 3) в кабине машиниста ПДМ – для оценки качественного состава воздуха на непосредственном рабочем месте горнорабочего; 4) вблизи выхлопной трубы ПДМ – позволяет с наибольшей вероятностью оценить максимальную концентрацию газа в пространстве выработки; 5) спереди ПДМ.

При проведении эксперимента в тупиковой выработке работает Caterpillar R1700G с дизельным двигателем Cat C11 мощностью 353 л.с., соответствующим

классу токсичности Stage V. В тупиковую рабочую зону воздух поступает по гибкому вентиляционному трубопроводу диаметром 1 м в количестве  $8,74 \text{ м}^3/\text{с}$  (расчетное значение). Сечение сквозной выработки составляет  $16,6 \text{ м}^2$ , скорость воздуха в сквозной выработке –  $1,1 \text{ м/с}$ . Подробные параметры представлены на рисунке 1.

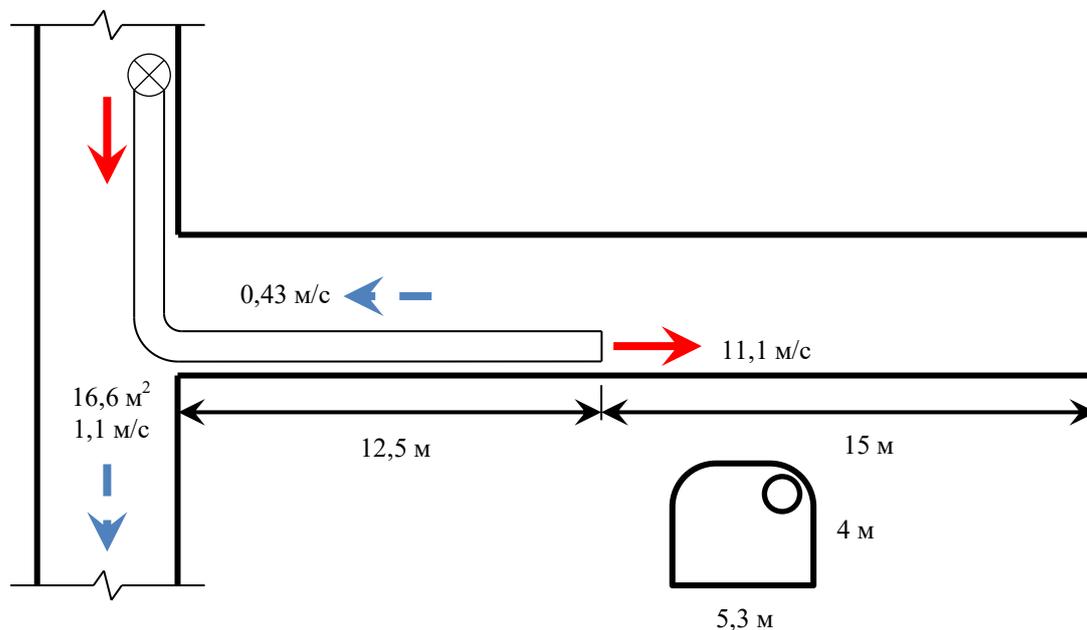


Рис. 1. Геометрические параметры горной выработки, параметры системы вентиляции

Длительность эксперимента составила 30 минут. В это время ПДМ осуществляло отгрузку ранее взорванной руды. За время эксперимента ПДМ осуществило 6 полных циклов по отгрузке и отвозке руды.

В ходе эксперимента измерялись и фиксировались следующие газы:  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ . Следует отметить, что концентрация кислорода на всех исследуемых точках находилась в пределах от 20% до 20,9%. Наиболее опасным с точки зрения предельно-допустимой концентрации является  $\text{NO}_2$  [5]. Предельно допустимая концентрация диоксида азота в воздухе рабочей зоны регламентируется Санитарными правилами и нормами для воздуха рабочих зон [2] и составляет 0,0001% по объему.

### Результаты эксперимента

Полученные в ходе измерений концентрации  $\text{NO}_2$  представлены на рисунке 2. Здесь на рисунке желтым цветом указана концентрация газа на сквозной струе (в месте установки ВМП), черным – сзади машины (вблизи выхлопной трубы), зеленым – в кабине машиниста ПДМ, синим – спереди машины, красным – в устье тупиковой выработки.

Проведенные исследования свидетельствуют о выходе на асимптотические значения концентраций газа не позднее чем к третьему циклу работы ПДМ по отгрузке руды. Накопления концентраций газа далее не происходит. Данный факт подтверждается другими работами [6, 7].

По результатам анализа графика (рисунок 2) можно утверждать, что концентрация диоксида азота в устье выработки (то, что принято считать рабочей зоной) и в кабине машиниста (непосредственно рабочее место) не превышает предельно-допустимую по СанПиН, однако, имеются локальные превышения концентрации диоксида азота.

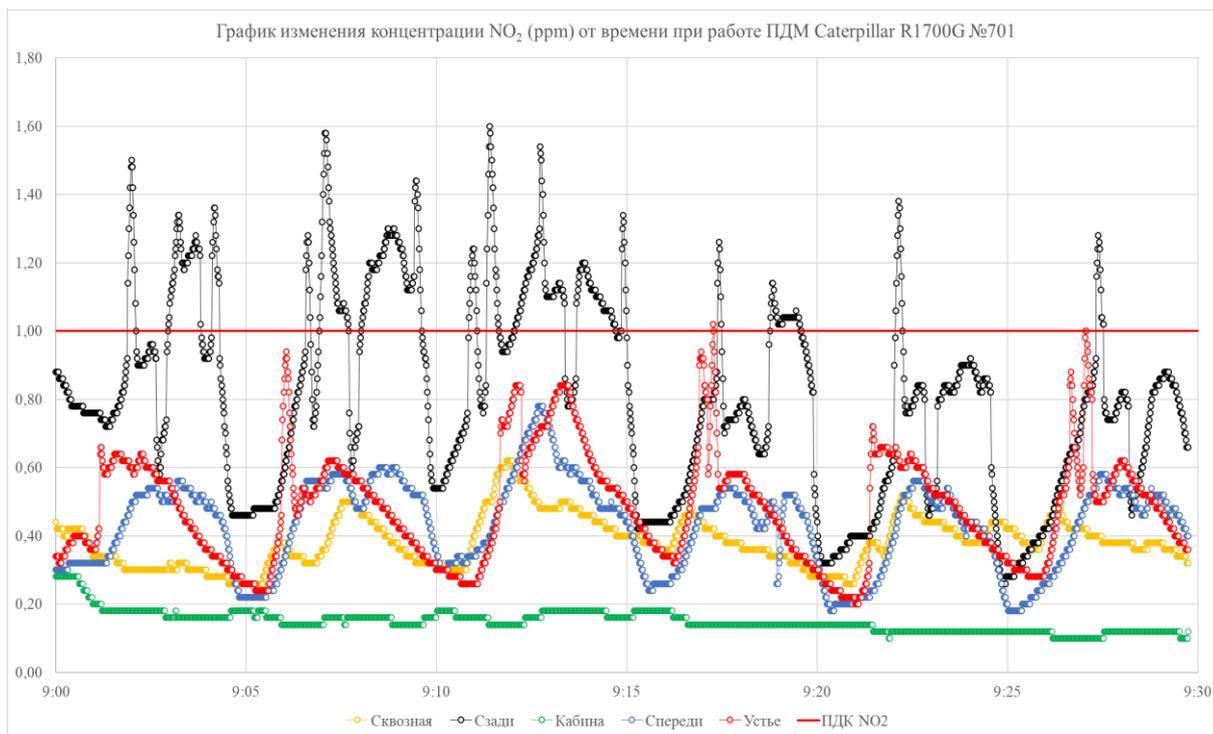


Рис. 2. График измеренных концентраций диоксидов азота (NO<sub>2</sub>)

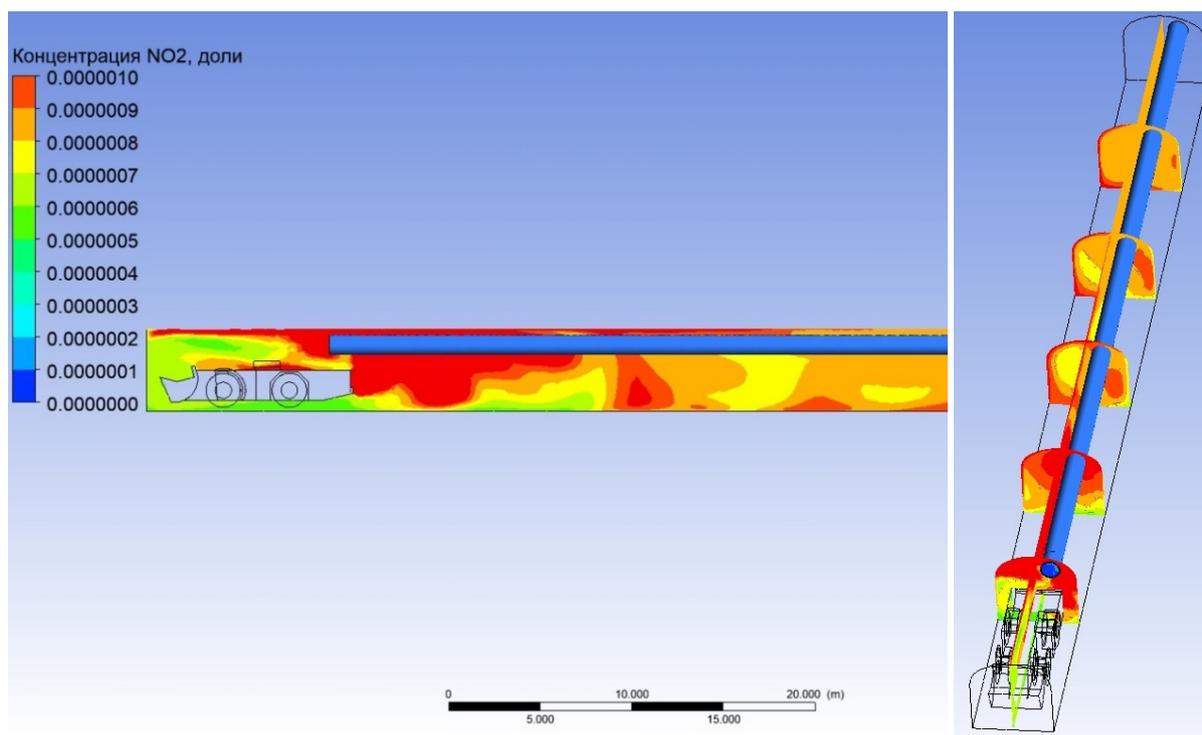


Рис. 3. Концентрация NO<sub>2</sub> в срединном продольном сечении и поперечных сечениях тупиковой выработки (красные зоны – превышение ПДК)

### Численное моделирование

В связи с выявленными локальными участками превышения ПДК компонентов выхлопных газов произведено численное моделирование процесса выноса газа из тупиковой выработки. Для моделирования использован модуль Ansys CFX. Аэроди-

намические параметры, задаваемые в численной модели, соответствуют измеренным. Параметры турбулентности и шероховатости задаются в соответствии с ранее описанными работами [6, 7].

По результатам моделирования получены поля распределения концентраций вредных компонентов выхлопных газов ДВС. На рисунке 3 показаны поля распределения концентрации диоксида азота в срединном продольном сечении и поперечных сечениях тупиковой выработки. Верхняя граница градиентной легенды соответствует ПДК диоксида азота по СанПиН.

На рисунке 3 видны локальные превышения ПДК диоксида азота. Стационарность распределения поля концентрации устанавливается на расстоянии более 50 м от забоя.

### **Выводы**

По результатам эксперимента и численного моделирования можно сделать следующие выводы.

1. При подаче расчетного количества воздуха на проветривание тупиковой выработки концентрация диоксида азота в устье выработки и в кабине машиниста (непосредственно рабочее место) не превышает предельно-допустимую по СанПиН.

2. В зоне нахождения ПДМ имеются локальные участки превышения ПДК вредных газов. В связи с чем при работе техники с ДВС необходимо разработать организационные мероприятия, не допускающие нахождение в рабочей зоне горнорабочих, незанятых на добыче.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000396-6).*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТИЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. гл. сан. врачом РФ 28.01.2021; зарегистрированы в Минюсте РФ 29.01.2021, № 62296. – Текст электронный // Консорциум КО-ДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>.
3. Газизуллин Р.Р., Исаевич А.Г., Левин Л.Ю. Численное моделирование процессов выноса вредных примесей рудничной атмосферы при проветривании тупиковых выработок различными способами // Науч. исслед. и инновации. – 2011. – Т. 5, № 2. – С. 127-129.
4. Козырев С.А., Амосов П.В. Исследование процесса проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения // Изв. вузов. Горн. журн. – 2018. – №. 8. – С. 125-134. – DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-125-134.
5. Накаряков Е.В. Натурные исследования рудничной атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 113-118. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.22.
6. Накаряков Е.В., Гришин Е.Л. Исследование условий проветривания протяженных тупиковых очистных камер при работе в них погрузо-доставочных машин с двигателем внутреннего сгорания // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 105-111.
7. Накаряков Е.В., Гришин Е.Л. Анализ влияния производственного цикла работы погрузочно-доставочной машины в очистной тупиковой камере на эффективность проветривания // Горное эхо. – 2020. – № 3 (80). – С. 120-123. – DOI: 10.7242/echo.2020.3.23.