

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОЙ МАШИНЫ В ОЧИСТНОЙ ТУПИКОВОЙ КАМЕРЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ

Е.В. Накаряков, Е.Л. Гришин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе представлены результаты математического моделирования условий проветривания протяженных тупиковых очистных камер при работе в них погрузочно-доставочных машин с двигателем внутреннего сгорания. Произведена оценка влияния производственного цикла работы погрузочно-доставочной машины на процесс выноса ядовитых примесей рудничного воздуха из пространства очистной камеры на рабочее место горнорабочего.

Ключевые слова: тупиковые выработки, двигатель внутреннего сгорания, математическое моделирование, ядовитые газы, вентилятор местного проветривания.

Введение

В российской нормативной документации [1] отсутствуют требования по проветриванию тупиковых камерообразных выработок, образующихся за счет расширения нарезной выработки до камерообразной при обратном порядке отработки. В связи с недостаточностью требований нормативной документации возникает необходимость исследования эффективности выноса ядовитых примесей выхлопных газов погрузочно-доставочных машин (далее по тексту – ПДМ) из камерного пространства.

Очистное пространство камерообразной выработки не имеет крепления, существует опасность нахождения внутри камерного пространства. Детальные экспериментальные исследования газовыделений в очистном пространстве камеры и его проветривания невозможны ввиду запрета нахождения горнорабочих внутри камерного пространства, а также невозможности одновременного выполнения производственных процессов по добыче полезных ископаемых и экспериментов. Разумной альтернативой натурных исследований в данном случае является численное моделирование [2], с помощью которого становится возможным исследовать динамику вредных компонентов выхлопных газов ПДМ и проветривание очистного пространства камеры. Целью исследования является разработка методики безопасного проветривания данного вида горных выработок в процессе отгрузки руды. Для достижения поставленной цели решается ряд задач:

- 1) разработка и верификация математической модели проветривания тупиковых очистных камер большого сечения;
- 2) определение параметров безопасного проветривания протяженных тупиковых очистных камер большого сечения при отгрузке руды ПДМ с двигателем внутреннего сгорания;
- 3) определение зависимостей изменения концентраций вредных компонентов выхлопных газов в рабочей зоне от цикла работы ПДМ;
- 4) оценка влияния геометрических параметров очистного пространства камеры и нарезной выработки на процесс выноса газа из пространства камеры;
- 5) оценка влияния аэродинамических параметров проветривания очистной камеры на процесс выноса газа из пространства камеры;
- 6) оценка влияния цикла работы ПДМ на процесс выноса газа из пространства камеры;
- 7) определение максимально возможной длины тупиковой камеры.

Ряд задач решен в предыдущих исследованиях [3].

В данной работе приведены результаты исследований влияния производственного цикла работы ПДМ в пространстве очистной камеры. С целью оценки максимального

времени нахождения ПДМ в камере и минимального времени ее отсутствия произведено математическое моделирование различных производственных циклов на модели обобщенной очистной камеры.

Модель

В модуле SpaceClaim программного комплекса ANSYS построена модель обобщенной очистной камеры.

Геометрические параметры обобщенной модели очистной камеры, использованные при численном моделировании проветривания камеры при работе в ней ПДМ, представлены на рисунке 1.

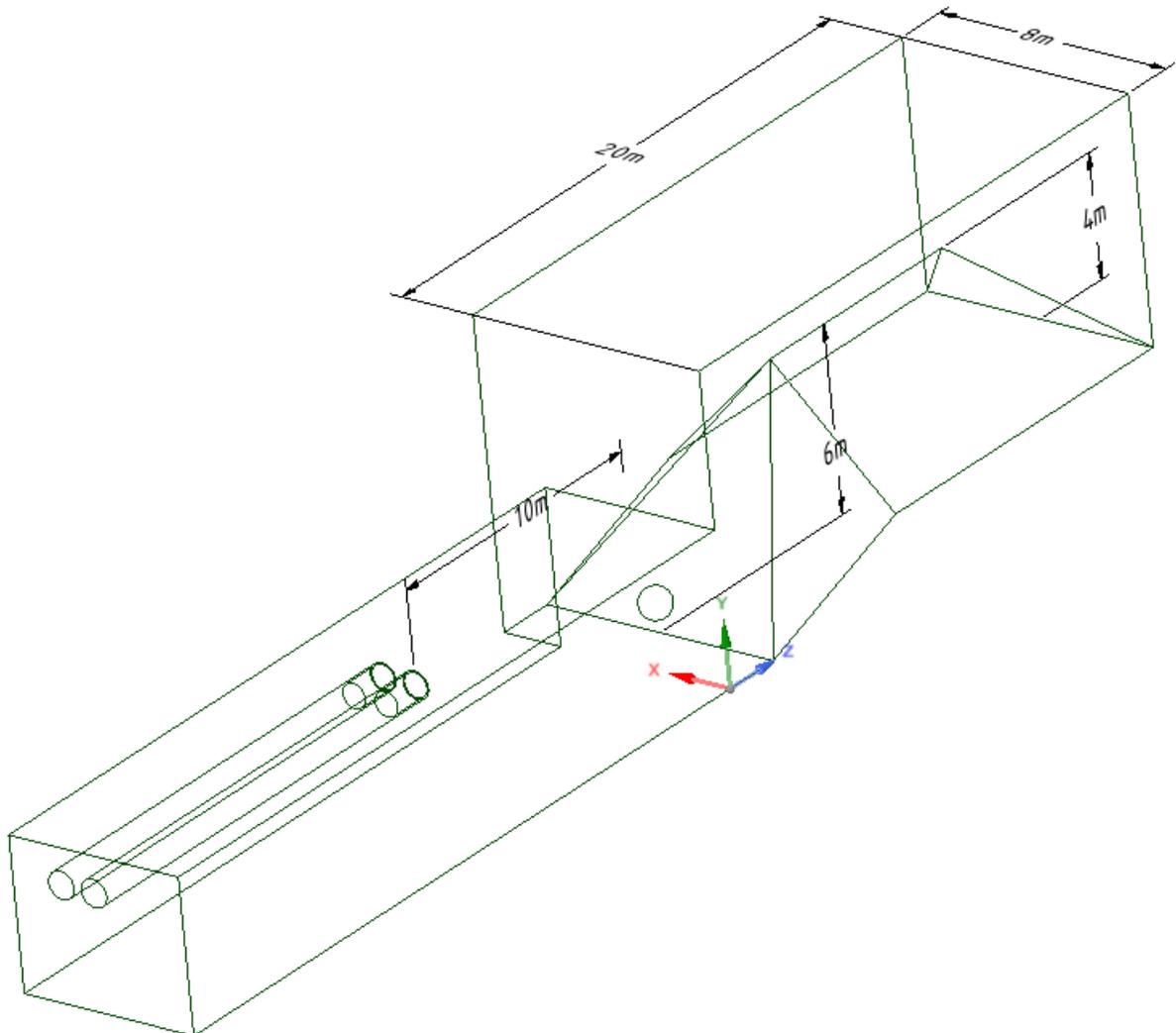


Рис. 2. Геометрическая модель очистной камеры и разрезной выработки

Параметры численной модели соответствуют ранее описанным в работах [3, 6]. Для определения поля скоростей воздуха используются усредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса [7, 8]. Для определения кинетической энергии турбулентности использована стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности с масштабируемыми пристеночными функциями [9, 10]. Течение воздуха повсеместно происходит в режиме развитой турбулентности. На выходе из вентиляционного става задается средняя скорость воздуха по сечению, интенсивность турбулентности $I_{turb}=2\%$, масштаб вихрей турбулентности $l_{turb}=0,2$ м. Воздушный поток, омывая очистную камеру и разрезной штрек, покидает расчетную область через поверхность, на которой задается нулевое статическое

давление, интенсивность турбулентности $I_{turb}=2\%$, масштаб вихрей турбулентности $l_{turb}=0,2$ м. На стенках горных выработок задается «прилипание» потока. Расчет пограничного слоя осуществляется с учетом повышенной шероховатости стенок горных выработок. Величина шероховатости стенок выработок равна 0,03 м. Количество воздуха, поступающего на проветривание по двум вентиляционным трубопроводам диаметром 0,8 м, составляет – 15 м³/с, величина отставания вентиляционных трубопроводов от устья очистного пространства камеры – 10 м. Исследуемая расчетная область разбивается на конечные элементы, а решаемая система математических уравнений записывается в конечно-объемной форме. Неизвестными параметрами задачи в данном случае становятся значения скоростей воздуха в узлах конечных объемов и значения давлений воздуха.

Для ускорения расчета проводилось распараллеливание вычислений между 8-ю ядрами центрального процессора с использованием платформы MPI Local Parallel.

В рамках исследования произведена оценка зависимости возрастания средней концентрации газов (в пересчете на условный СО) на выходе из разрезной выработки от времени работы ПДМ в камере, а также зависимости снижения средней концентрации газов на выходе из разрезной выработки от времени отсутствия ПДМ в камере.

Исследуемые производственные циклы («время работы/время отсутствия»):

- «5/1»,
- «5/4»,
- «7/1»,
- «7/2»,
- «7/4»,
- «7/6»,
- «9/4».

Результаты

По результатам моделирования получены поля концентраций условного СО по сечению выхода из расчетной области. Результаты представлены в виде графиков зависимости средней концентрации условного СО (% по объему) на выходе из разрезной выработки от времени (мин) на рисунке 3.

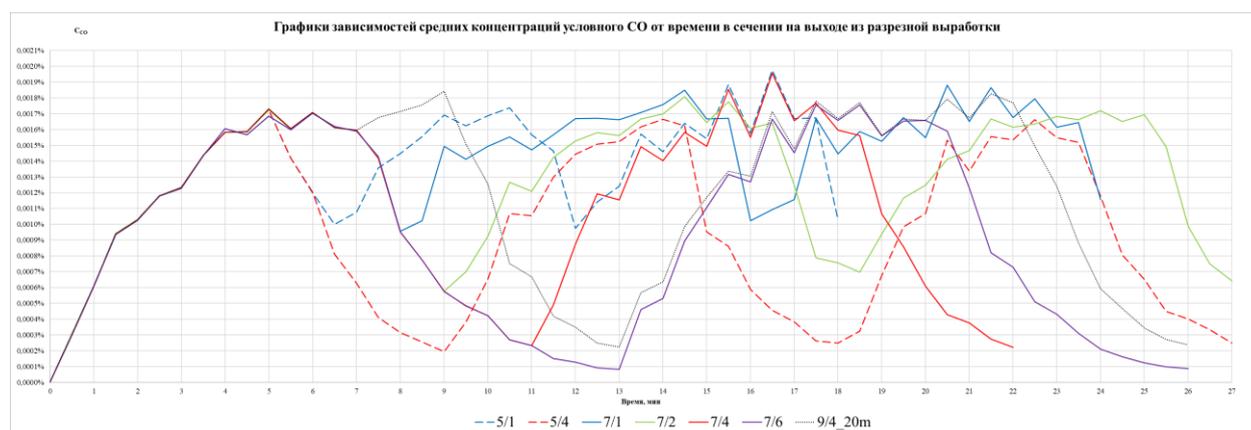


Рис. 3. Графики зависимости средней концентрации условного СО на выходе из разрезной выработки от времени при различных производственных циклах работы ПДМ

Из рисунка 2 видно, что зависимость возрастания/снижения средней концентрации газов (в пересчете на условный СО) на выходе из разрезной выработки от времени работы/отсутствия ПДМ в камере имеет экспоненциальную зависимость при различных

производственных циклах на каждом из циклов работы ПДМ, также с увеличением времени работы ПДМ в камере концентрация условного СО достигает асимптотического максимума.

Выводы

Возрастание концентраций вредных компонентов выхлопных газов ПДМ в разрезной выработке при работе ПДМ в очистном пространстве имеет экспоненциальный характер.

Как максимум к третьему циклу работы ПДМ по отгрузке полезного ископаемого максимальное значение концентрации вредных компонентов выхлопных газов ПДМ в сечении разрезной выработки достигает асимптотического значения.

При моделировании работы ПДМ по отгрузке полезного ископаемого из пространства очистной камеры наблюдаются кратковременные превышения предельно-допустимого значения концентрации СО (0,0017% по объему) в сечении разрезной выработки. Это говорит о необходимости предварительного аналитического определения максимального времени нахождения ПДМ в очистном пространстве камеры при производстве отгрузки полезного ископаемого.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Российского научного фонда в рамках проекта № 19-77-30008.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 11.12.2013, № 32935. (с изм. на 21.11.2018 г. Редакция, действующая с 17.03.2019 г.) – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499066482> (Дата обращения 25.08.2020)
2. Качурин Н.М., Стась Г.В., Мохначук И.И., Поздеев А.А. Аэрогазодинамика очистных участков шахт и рудников // Проблемы безопасности и эффективности освоения георесурсов в современных условиях: материалы науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию Горн. ин-та УрО РАН и 75-летию основателя и первого директора ин-та чл.-корр. РАН А.Е. Красноштейна / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – С. 381-386.
3. Накаряков Е.В. Анализ влияния геометрических параметров поперечного сечения очистной тупиковой камеры на эффективность ее проветривания // Горное эхо. – 2019. – Т. 76, № 3. – С. 76-79. DOI: 10.7242/echo.2019.3.21.
4. Левин Л.Ю., Исаевич А.Г., Семин М.А., Газизуллин Р.Р. Исследование динамики пылевоздушной смеси при проветривании тупиковой выработки в процессе работы комбайновых комплексов // Горн. журн. – 2015. – № 1. – С. 72-75. DOI: 10.17580/gzh.2015.01.13.
5. Казаков Б.П., Семин М.А., Мальцев С.В. Математическое моделирование проветривания панелей гипсовой шахты эжекторными установками // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 245-255.
6. Колесов Е.В. Обоснование последовательного проветривания рабочих зон нескольких тупиковых выработок // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 291-295. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.78.
7. Torno S., Torano J., Ulecia M., Allende C. Conventional and numerical models of blasting gas behaviour in auxiliary ventilation of mining headings // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2013. – V. 34. – P. 73-81. DOI: 10.1016/j.tust.2012.11.003.
8. Xu G., Luxbacher K.D., Ragab S., Xu J., Ding X. Computational fluid dynamics applied to mining engineering: a review // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2017. – V. 31, № 4. – P. 251-275. DOI: [10.1080/17480930.2016.1138570](https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1138570).
9. Hasheminasab F., Bagherpour R., Aminossadati S. M. Numerical simulation of methane distribution in development zones of underground coal mines equipped with auxiliary ventilation // Tunnelling and Underground Space Technology — 2019. — № 89. — P. 68-77.
10. Nel A. J.H., Vosloo J.C., Mathews M.J. Evaluating complex mine ventilation operational changes through simulations // Journal of Energy in Southern Africa – 2018. – V. 29, № 3. – P. 22-32.