

УДК-622.44

**ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ТУ-
ПИКОВЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

Козлов Р. Д., студент гр. АГс-171, V курс, техник научно-исследовательской
лаборатории цифровой трансформации минерально-сырьевого комплекса

Хорешок А. А., д.т.н., профессор, директор горного института

Научный руководитель: Ермаков А. Н., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т. Ф. Горбачева

г. Кемерово

В настоящее время существует проблема большого расхода электроэнергии для электроснабжения главных вентиляторных установок (ГВУ) на подземных горных предприятий (ПП) до 50% от всей потребляемой электроэнергии. [1].

Согласно правилам безопасности (ПБ) в холодное время года необходимо нагревать воздух, подаваемый в шахту, а в теплое время охлаждать для поддержания комфортной работы персонала. Так как установки, применяемые для охлаждения и нагревания воздуха, имеют низкий КПД без учета энергосбережения, для этого потребуется выполнение принципов бережливой вентиляции. [1]. На рисунке 1 представлено изменение параметров воздуха.

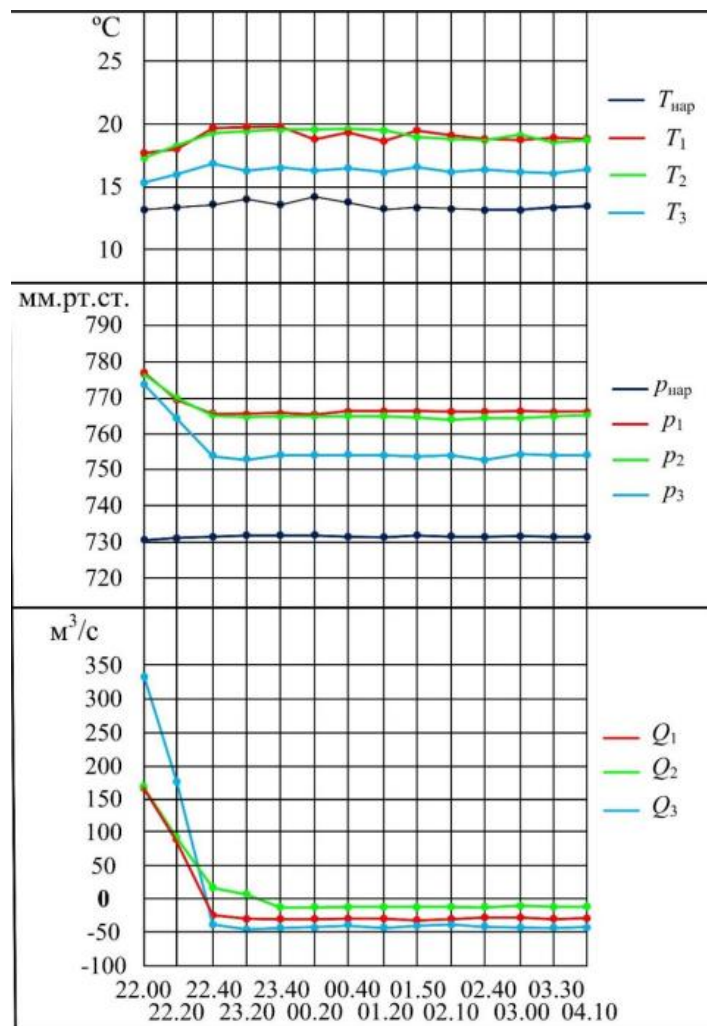


Рисунок 1 – Изменение параметров воздуха в период испытаний при отключении главной вентиляторной установки [1]

На рисунке 1 показан эксперимент по движению воздуха в определенном направлении, следовательно, можно сделать вывод, что объёмный расход воздуха почти не менялся. [2].

В данной работе рассматриваются способы вентиляции шахт и их дальнейшего моделирования, а именно моделирование воздуха в подземных горных выработках. Существует три способа проветривания горных выработок:

- 1) Нагнетательный способ.
- 2) Всасывающий способ.
- 3) Комбинированный (нагнетательно-всасывающий).

Нагнетательный способ проветривания состоит в том, что перепад давления в системе создается путем повышения давления воздуха вентилятором воздуха в воздухоподающей выработке. Увеличение атмосферного давления происходит за счет механической энергии вентилятора. [3].

Выделяется пять достоинств данного способа проветривания:

- Первым достоинством является использование только единственного вентилятора при проветривании на фланговой выработке.
- Вторым достоинством является ведение горных работ без общего вентиляционного горизонта.

- Третьим достоинством является облегченная схема распределения воздуха в сети.
- Четвертым достоинством является закрытая система движения воздуха.
- Пятым достоинством является движение чистого воздуха без газа и пыли через ВГП, что повышает его срок службы.

Всасывающий способ проветривания основан на том, что перепад давления в системе создается разрежением воздухопадающей выработки из-за работы вентилятора. За счёт механической энергии вентилятора давление воздуха в устье выработки снижается до величины P_2 , а на поверхности оно остается равным атмосферному.

Выделяется пять достоинств данного способа проветривания:

- Первым достоинством является использование нескольких вентиляторных установок.
- Вторым достоинством является использование на газовых шахтах и рудниках.
- Третьим достоинством является повышение безопасности ведения горных работ.
- Четвертым достоинством является работа нескольких вентиляторов в сети и облегченное управление вентиляционными режимами при реверсировании воздуха.
- Эффективное проветривание выемочных участков.

Комбинированный (нагнетательно-всасывающий) способ проветривания. Данный способ заключается в том, что в определенной части выработки шахты нагнетательный вентилятор создает избыточное давление, а в другой части – разряжает воздух при помощи всасывающего вентилятора. Давление воздуха увеличивается до атмосферного в воздухопадающей выработке, а в восходящей струе наоборот, составляет меньше атмосферного давления.

Одной из наиболее опасных аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в шахте, является угроза взрыва вследствие достижения концентрации метана в воздухе выработанного пространства шахты уровня $5 \div 16\%$. Для предотвращения накопления метана в горной выработке необходимы эффективные системы проветривания и дегазации, однако, нормативные документы, разработанные в 80-х годах на основе осреднения множества факторов, с помощью которых проектируются мероприятия по удалению метана, сегодня оказываются недостаточно пригодными из-за увеличения нагрузок на очистной забой и площадей выработанных пространств. [4]. Поэтому важной и необходимой задачей для обеспечения безопасности является моделирование шахты с целью прогнозирования риска аварийных ситуаций.

Основными методами решения уравнений, описывающих перенос метана и процессы его выделения из породы, являются: метод геометрического расщепления, позволяющий заменить пространственное дифференциальное уравнение последовательностью трех одномерных задач; метод Давыдова (крупных частиц), в соответствии с которым система уравнений

разделяется по физическим процессам; метод Годунова; метод конечных разностей; метод конечных элементов; метод РунгеКутты; метод двойного потока; метод контрольного объема; метод Галеркина. Для решения уравнений или подготовке компьютерных моделей также используются следующие системы и пакеты: Mathcad, Eureka Pro, ANSYS, «АэроСеть». В ряде работ приводятся аналитические решения поставленных задач.

Метод геометрического расщепления

Метод расщепления предназначен для расчетов физической наглядности. Схемы данного метода удовлетворяют законам сохранения массы, энергии и импульса. Важным качеством прямой замены уравнений газовой динамики, записанных в виде законов сохранения, является свойство консервативности или дивергентности получающихся при этом разностных схем. Именно при применении таких схем, возможно увеличить точность решений. [5].

Также, при помощи вышеуказанного метода, вероятность эффективных решений различных многомерных задач будет высока. Так как расщепление исходных уравнений может быть достигнуто различными способами, как следствие, это может приводить к различным классам численных алгоритмов, построенных на основе расщепления. [6].

Метод конечных разностей

Метод конечных разностей позволяет решать краевые задачи, что делает его универсальным и часто применяемым. Его популярность во многом объясняется относительной простотой подхода к дискретизации дифференциальных уравнений. Суть метода состоит в следующем: область непрерывного изменения аргумента заменяют конечным (дискретным) множеством точек (узлов), называемым сеткой. Вместо функций непрерывного аргумента рассматривают функции, определенные только в узлах сетки, – сеточные функции. [7].

Данный метод предоставляет следующие функции:

- Во-первых, используется при решениях разноплановых проблем.
- Во-вторых, используется в том случае, когда не удастся получить закрытое аналитическое решение.
- В-третьих, при большом числе данных возрастает точность.

Отрицательной стороной данного метода является: проблема использования на нерегулярных сетках; при сложной и размерной задаче повышается рост трудоемкости вычисления; сложность аналитического исследования свойств разностной схемы.

Метод конечных элементов (МКЭ)

Данный метод применяется для решения многих задач, например:

- Для расчетов стационарных задач.
- Проблем, связанных с гидромеханикой.
- Для области проектирования сложных конструкций. [8].

Основная идея МКЭ состоит в том, что:

- Происходит замена постоянной величины дискретной моделью.
- В рассматриваемой области определяют кусочно-непрерывные функции при помощи непрерывной величины.

Метод контрольных объемов (МКО)

Данный метод довольно часто используется для решения уравнения в частных производных важным достоинством которого является:[9].

- Сохранность физических величин.
- Быстрая обработка расчетов.
- Довольно простое использование для решения сложных задач.

[10].

В данной работе были рассмотрены методы моделирования, при помощи которых можно создать модель движения воздуха в тупиковых горных выработках. В дальнейшем планируется использовать «метод конечных элементов», с помощью программы ANSYS и Comsol Multiphysics, которые позволяют с наименьшими затратами выбрать необходимые из них для решения конкретно поставленной задачи.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075–03–2021 138/3).

Список литературы:

1. Николаев, А. В. Научное обоснование и разработка технических и технологических решений по обеспечению безопасности труда на подземных горнодобывающих предприятиях средствами энергоэффективной вентиляции: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Кемерово, 2020 г. – с 8.
2. Николаев А. В. «Научное обоснование и разработка технических и технологических решений по обеспечению безопасности труда на подземных горнодобывающих предприятиях средствами энергоэффективной вентиляции». Доктор наук, Кемерово 2020.
3. Выскребенец, А. С. Разработка эффективных схем проветривания глубоких шахт с использованием турбоагнетателей / А. С. Выскребенец, Г. И. Свердлик // Теоретические и прикладные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Тамбов, 31 марта 2014 года. – Тамбов: ООО "Консалтинговая компания Юком", 2014. – С. 33–35.
4. Анализ методов моделирования процессов переноса метана в горных выработках / Д. В. Ложкин, П. В. Максимов, А. В. Николаев, А. А. Кротких // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 7. – С. 97–104.
5. Барац, Я. И. Метод расщепления уравнения теплопроводности при решении теплофизических задач, возникающих при механической обработке / Я. И. Барац, Л. Р. Милованова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 1. – № 1(44). – С. 28–34.
6. Ковеня, В. М. Алгоритм расщепления в методах конечных объемов / В. М. Ковеня, П. В. Бабинцев // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : труды Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г. И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября

2015 года. – Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2015. – С. 345–351.

7. Козлов, В. А. Метод криволинейных сеток как обобщение метода конечных разностей / В. А. Козлов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Дорожно-транспортное строительство. – 2004. – № 3. – С. 24–29.

8. УДК 624.014.02 Основы расчета стержней с использованием МКЭ Смоленский Д.С., Захаро К.Н. (Научный руководитель Рябов А. Г., Фомичев В. Ф.) Белорусский национальный технический университет Минск, Беларусь.

9. Фирсов, Д. К. Метод контрольного объёма на неструктурированной сетке для моделирования гидродинамических процессов и распространения радиоволн: специальность 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Фирсов Дмитрий Константинович. – Волгоград, 2013. – 37 с.

10. Каштанова, С. В. Моделирование течения вязкой жидкости в камере методом контрольных объемов при использовании стабилизированного метода бисопряженных градиентов / С. В. Каштанова, Н. Н. Окулова // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. – 2011. – № S1.