

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.64.55.005

УДК 622.271

© В.Г. Казанцев, Ли Хи Ун, В.Б. Попов, А.И. Кравченко, Е.И. Голоскоков, 2022

**В.Г. КАЗАНЦЕВ**

д-р техн. наук

г. Бийск

e-mail: wts-01@mail.ru



**ЛИ ХИ УН**

д-р техн. наук, проф.,

Ученый секретарь

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

e-mail: leeanatoly@mail.ru



**В.Б. ПОПОВ**

д-р техн. наук, проф.,

научный консультант

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

e-mail: 1860pwb@mail.ru



**А.И. КРАВЧЕНКО**

канд. техн. наук,

ведущий научный сотрудник

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

e-mail: 642606@mail.ru



**Е.И. ГОЛОСКОКОВ**

старший научный сотрудник

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

e-mail: e.goloskokov@nc-vostnii.ru



## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОМЕХАНИКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

*В статье на базе аэромеханики горных выработок рассмотрены двухфазные дискретные течения пылевоздушных смесей по сопряженным выработкам сложной формы с препятствиями. Для моделирования движения частиц дисперсной фазы используется подход Лагранжа, позволяющий отследить движение отдельно взятых частиц под действием сил со стороны потока основной газовой фазы. Разрабатываемый подход преследует цель содействия созданию более совершенных методов и средств пылеподавления.*

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ; АЭРОМЕХАНИКА ВЫРАБОТОК; ОТЛОЖЕНИЯ ПЫЛИ; МНОГОФАЗНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СРЕДЫ; ДИНАМИКА АЭРОЗОЛИ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ.

### ВВЕДЕНИЕ

Специфика горных работ на угольных шахтах продуцирует процессы запыленности выработок, источником которых являются добычные механизированные комплексы, участки транспортировки и перегрузки полезных ископаемых, результаты прочих технологических операций.

Поскольку явление образования пыли при добыче угля представляет неизбежный процесс, на первый план выдвигается необходимость решения двуединой задачи охраны труда горнорабочих — устранение или минимизация, по крайней мере, двух наиболее выраженных опасных воздействий пылевоздушных смесей: с одной стороны, их влияние на организм человека и, с другой стороны, на вероятность взрыва пыле- и метановоздушных смесей в зоне ведения горных работ.

Сохранение здоровья работающих на предприятиях угольной промышленности обусловливается выполнением гигиенических требований СанПин-2.2.3.570-96 с целью снижения рисков развития таких профессиональных заболеваний, как пневмокониоз, пылевой бронхит, интоксикация, заболевание печени, почек, желудка и других заболеваний.

При этом предельно допустимая среднесменная массовая концентрация пыли в виде аэрозолей в воздухе рабочей зоны устанавливается гигиеническими нормами ГН 2.2.5.1313-03 и не должна превышать  $10 \text{ мг/м}^3$  ( $0,82 \times 10^{-3} \%$  — массовая доля дисперсных частиц угля в общем объеме в смеси с воздухом).

Другая из двуединых задач — минимизация вероятности взрывов пылевых аэрозолей. Угольная пыль является наиболее опасной, поэтому ее взрывчатые свойства изучены достаточно полно. Нижний (НПВ) и верхний (ВПВ) пределы взрываемости угольной пыли соответственно составляют НПВ —  $5\text{--}25 \text{ г/м}^3$  (до  $2,05 \times 10^{-3} \%$  — массовая доля угольных дисперсных частиц в общем объеме смеси с воздухом) и ВПВ —  $2000\text{--}3000 \text{ г/м}^3$  (до  $2,46 \%$  — массовая доля дисперсных частиц угля в общем объеме) [1].

Полагается, что наиболее опасна взрывчатая пыль с размером частиц  $25\text{--}100 \text{ мкм}$  [2].

В результате шахтных исследований [3] установлено, что отложения угольной пыли с размерами частиц  $100 \text{ мкм}$  и выше наблюдаются в выработках с исходящей струей воздуха из высокопроизводительных очистных забоев только на первых десяти метрах. На удалении свыше двадцати метров преобладают частицы пыли фракцией  $15\text{--}20 \text{ мкм}$ . В зависимости от скорости струи воздуха транспортировка дисперсной угольной пыли вдоль выработок на большие расстояния и длительное время находящейся во взвешенном состоянии (аэрозоль) в  $90 \%$  случаев осуществляется для частиц угольных фракций с размерами менее  $50 \text{ мкм}$ .

Заметим, что в соответствии с правилами безопасности требования по проветриванию горных выработок устанавливают скорость воздуха — не менее  $0,25 \text{ м/с}$ . В тоже время максимальная скорость воздуха в выработках ограничивается следующими нормами: в

очистных и подготовительных выработках — 4 м/с; в квершлагах, вентиляционных и главных откаточных штреках, капитальных уклонах — 8 м/с; в остальных выработках — 6 м/с; в воздушных мостах (кроссингах) и главных вентиляционных штреках — 10 м/с; в стволах, по которым производятся спуск и подъем людей и грузов, — 8 м/с; в стволах, служащих только для подъема и спуска грузов, — 12 м/с; в стволах, оборудованных подъемными установками, предназначенными для подъема людей в аварийных случаях и осмотра стволов, а также в вентиляционных каналах — 15 м/с;

Как известно, оценка пылевой обстановки в выработках шахт, устанавливаемая при помощи экспериментальных замеров состава пылевого потока, протяженность транспортировки пыли от источника пылеобразования, оценка на этой основе параметров отложений пыли (аэрогель) на бортах, своде и почве горных выработок представляет собой необходимость решения многопараметрической задачи [4]. Вместе с тем перечисленные трудоемкие и финансово затратные прямые экспериментальные работы по оценке пылевой обстановки, практически в каждой из выработок шахты, необходимы для решения сформулированной выше двуединой задачи — охраны труда горнорабочих, обслуживающего персонала, защиты материальных ценностей угледобывающего предприятия, требует ежедневного внимания.

Однако решение проблем во всем многообразии аэромеханических проявлений непосредственно для каждой из выработок шахты в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами в условиях непрерывно развивающегося горного производства можно связать с необходимостью разработки специальных методов математического моделирования на базе, по крайней мере, двухфазных дискретных течений пылевоздушных смесей по сопряженным выработкам сложной формы с препятствиями. Кроме того, появляется возможность оперативно решать и получать инженерные решения по способам назначения режимов вентиляции горных выработок и отдельных участков, очистки воздушного потока от пыли и ее утилизации.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ГАЗОВОМ ПОТОКЕ

В работах отечественных и зарубежных ученых прослеживается стремление использовать законы гидростатики для моделирования движения псевдооживленных сред (кипящих слоев), представляющих собой твердые частицы, интенсивно перемешиваемые воздушным потоком [5].

В ряде работ [6, 7], несмотря на наличие твердых частиц в потоке, в связи со сложностью задачи, при их небольшой объемной доле, менее 15 % [8], объемом частиц пренебрегают, полагается, что равновесная смесь совершенного газа с твердыми частицами ведет себя аналогично совершенному газу, но с модифицированными термодинамическими свойствами.

Таким образом, если иметь в виду гипотезы механики сплошных сред и воспользоваться макроскопической теорией движения псевдожидкости, то перемещение элементарного объема газопылевой смеси представляется как движение частиц и газа с одной и той же скоростью.

При большой объемной доле частиц в потоке пренебречь различием в скоростях движения частиц и несущего газа нельзя, объемная доля частиц становится дополнительной переменной задачи.

Обобщением решения подобных задач, когда объемную долю частиц учитывать необходимо, является работа Дж. Рудингера (G. Rudinger) [9], в которой предложенные ранее методы расчета обобщаются на случай стационарного квазиодномерного течения.

Как следует из работы Дж. Рудингера и работ других авторов, уравнения, моделирующие двухфазное течение в случае имеющей место большой объемной доли концентрации твердых частиц в потоке становятся эквивалентны уравнениям, описывающим течение совершенного газа, если некоторый параметр  $K$  — параметр отношения скорости частиц к скорости газа — задать априори величиной постоянной.

Решения задач о движении дисперсной фазы с использованием моделей псевдожидкости или Дж. Рудингера получены аналитически для простейших расчетных схем — движение пылевоздушных смесей в трубах, коробах или соплах.

Для более сложных расчетных схем решение подобных задач возможно при использовании лишь численных методов анализа.

О сложности проблем разработки и использования модели дискретной фазы для моделирования течений пылевоздушных смесей свидетельствует предисловие к английскому изданию монографии по псевдоожигению (Fluidization) [10]. Редакторы издания Дж.Ф. Девидсон (J.F. Davidson) и Д. Харрисон (D. Harrison) приводят сентенцию: «... псевдоожигение приобретает одну из характерных особенностей «шекспировского парадокса» — объем литературы таков, что она не может быть прочитана в течение жизни».

Круг наших интересов сосредоточен на изучении характерных особенностей аэромеханики — дискретных течений пылевоздушных смесей (газодисперсных сред) по горным выработкам сложной формы при малых числах Рейнольдса с целью установления трассировки угольных частиц, газовой фазы и их смеси для принятия рациональных вариантов схем проветривания, для корректировки скоростных режимов движения двухфазных дискретных течений пылевоздушных смесей по выработкам. Кроме того, при минимальных затратах появляется возможность оперативно находить инженерные решения по способам очистки воздушного потока от пыли и ее утилизации.

Для решения задач аэромеханики горных выработок из известных моделей течения — макроскопических, монодисперсных, полидисперсных течений воспользуемся моделью микроскопического уровня течения дисперсной фазы. Использование модели микроскопического уровня позволяет с достаточной полнотой учесть многие факторы, присущие течению пылевоздушных смесей — учесть поведение отдельно взятых частиц (групп частиц), отражение и осаждение частиц на стен-

ки, размеры и массу частиц их траекторию и скорость.

Микроскопические модели течения многофазной среды основаны на том, что частицы пыли не образуют сплошную среду, присутствуют в потоке воздуха (основная фаза), который рассматривается в виде сплошной среды. Частицы взаимодействуют с потоком основной фазы и друг с другом дискретно. Однако микроскопические модели имеют ограничения, они применимы для дисперсных течений, в которых объемная доля частиц не превышает 10 %. Для решения задач аэромеханики горных выработок такое ограничение не часто является существенным, поскольку объемная доля частиц в воздухе при ПДК и для ВПВ много меньше, чем верхний предел объемной доли частиц, допускаемой микроскопической моделью течения.

Схема решения задачи течения многофазной среды в выработках заключается в следующем. Поскольку газовый поток носит определяющее влияние на траекторию и характер движения частиц, а влияние частиц на газовый поток минимально, вначале решается задача расчета движения сплошной газовой фазы.

В упрощенном виде течение газовой фазы описывается:

– системой уравнений Навье-Стокса в предположении стационарного движения газа:

$$\operatorname{div}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

$$\rho(v \nabla) v = -\nabla p; \quad (2)$$

– состоянием газовой среды:

$$pM = \rho RT; \quad (3)$$

– теплопроводностью:

$$(v \nabla) T = \chi \Delta T. \quad (4)$$

В приведенных выше уравнениях приняты следующие обозначения:  $\rho$  — плотность газового потока, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  — скорость потока

газа, м/с;  $p$  — барометрическое давление, Па;  $T$  — температура газового потока, К;  $R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $M$  — молярная масса, кг/моль;  $\alpha$  — коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Поле скоростей газа (1, 2, 3, 4) является основой (входом) для моделирования движения дисперсной фазы. При этом движение каждой из частиц зависит от действия некоторой совокупности сил, действующих на частицу со стороны молекул газовой фазы, описывающихся законом Ньютона:

$$m_p \frac{\partial v_p}{\partial t} = F_s + F_{\delta p}, \quad (5)$$

где  $F_s = 3\pi\mu d C_{vs}(v_f - v_p)$  — сила вязкого обтекания Стокса;  $F_{\delta p} = 3\pi\mu d C_{vs}(v_f - v_p)$  — сила от перепада давления, возникающая при ускорении потока основной фазы;  $m_p$  — масса частицы, кг;  $d$  — характерный размер (диаметр) частицы, м;  $v$  — скорость, м/с;  $\mu$  — динамическая вязкость газа основной фазы, Па·с;  $C_{vs}$  — коэффициент вязкого сопротивления газа.

Индекс «р» относится к частице, индекс «f» — к веществу основной фазы.

Для получения решения задачи в конечном виде в расчетной схеме на входе и выходе из выработок, а также на его бортах, кровле и почве задаются граничные условия.

На входе в выработки задается либо скорость газа и скорость частиц заданного размера, либо их массовый расход по направлению перпендикулярно к поверхности сечения выработки. На поверхностях выработок и на стенах препятствий, если они имеются внутри выработок, задаются условия шероховатости, условия прилипания частиц или их отскока. На выходе из выработок задается нуль атмосферного давления, поскольку задача решается в перепадах давлений.

Для моделирования движения частиц дисперсной фазы используется подход Лагранжа, позволяющий отследить движение отдельно взятых частиц под действием сил со стороны основной фазы.

Задача о двухфазном течении пылевоздушной смеси, в представленной выше постановке, может решаться с использованием наиболее развитого метода численного структурного анализа — метода конечных элементов как метода наиболее близкого к инженерному мышлению.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОМЕХАНИКИ СОПРЯЖЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В качестве примера рассмотрим участок горных пород с выработками, физическая схема которых представлена на рис. 1, размеры даны в метрах.

Площади поперечного сечения в свету всех выработок арочного типа приняты равными 17,3 м<sup>2</sup> (см. рис. 1, сечение А-А). Падение выработок отсутствует, выработки расположены горизонтально.

На расстоянии 15 метров от входа в центральной выработке размещено препятствие, например, в виде вагонетки, с размерами, показанными на рис. 1. На входе в выработки, рис. 1, задана установившаяся скорость потока воздуха — 5 м/с (см. введение). На выходе из выработок задан нулевой барометрический перепад давления.

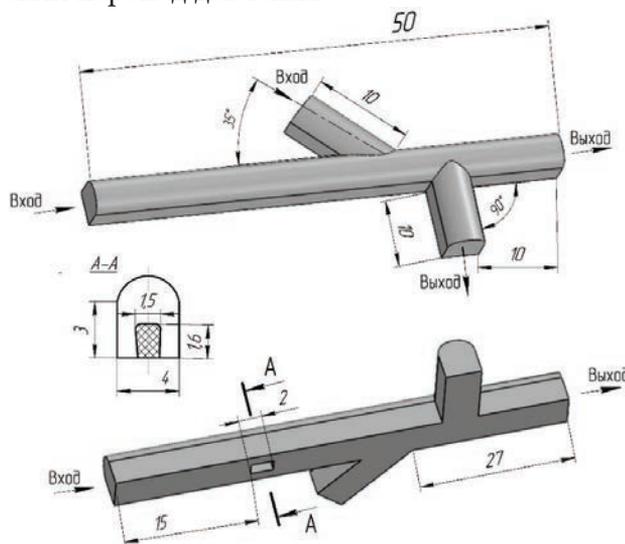


Рис. 1. Физическая схема сопряженных горных выработок с препятствием

Моделирование течения несущего газа по выработкам показало следующее.

На рис. 2а представлена общая картина потока основной фазы (несущего газа). Далее

для оценки взаимодействия потоков проведено их разделение. При этом на рис. 2б поток воздуха соответствует профилю, который реализуется в соответствии с напором, заданным на входе в центральную выработку.

На рис. 2в поток воздуха соответствует профилю, который реализуется в соответствии с напором, заданным на входе в выработку, сопряженную с центральной под углом 350.

Анализ течения несущего газа в выработках позволяет установить следующее.

1. Поджатие потока, движущегося по центральной выработке (рис. 2б), потоком, следующим из сопряженной выработки, расположенной под углом (рис. 2в), оказывается недостаточным, для проветривания выработки, сопряженной с центральной под углом девяносто градусов (рис. 2а).

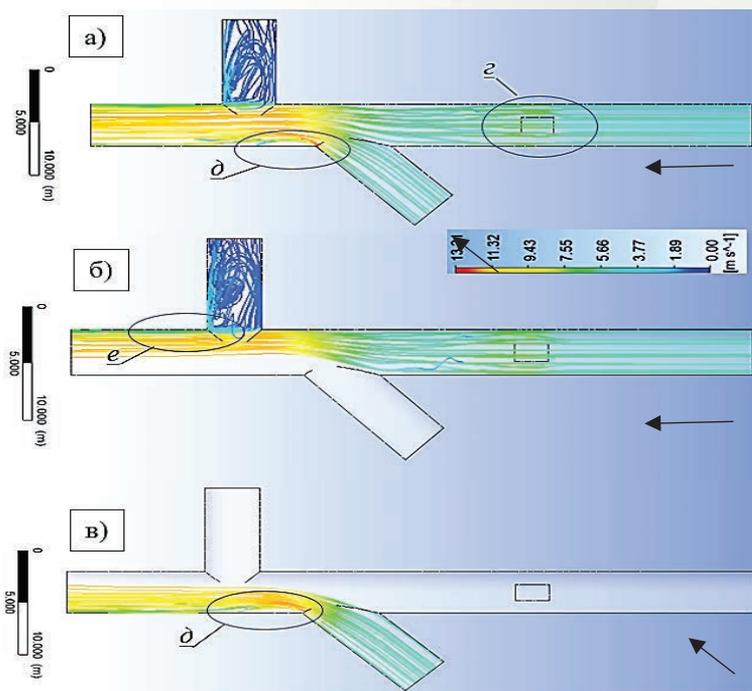


Рис. 2. Траектории течения потока воздуха в выработках

Понятно, что в данном случае из-за возникновения аэродинамического затвора, может возникнуть угроза скопления метана в этой выработке свыше допустимых норм, что влечет за собой необходимость изменения схемы проветривания на этом участке шахты.

Более детальный анализ движения воздуха по выработкам позволяет выделить несколько проблемных зон — зоны «г», «д», «е» (рис. 2).

2. В зоне «г» имеет место искажение траектории движения потока из-за наличия препятствия. На рис. 3б показано векторное поле скоростей у препятствия, реализующееся в вертикальной плоскости расчетной схемы, проведенной по линии симметрии центральной выработки (рис. 3а). На рис. 3в показаны векторы скорости потока у препятствия в горизонтальной плоскости, проведенной на высоте 1 м от почвы выработки.

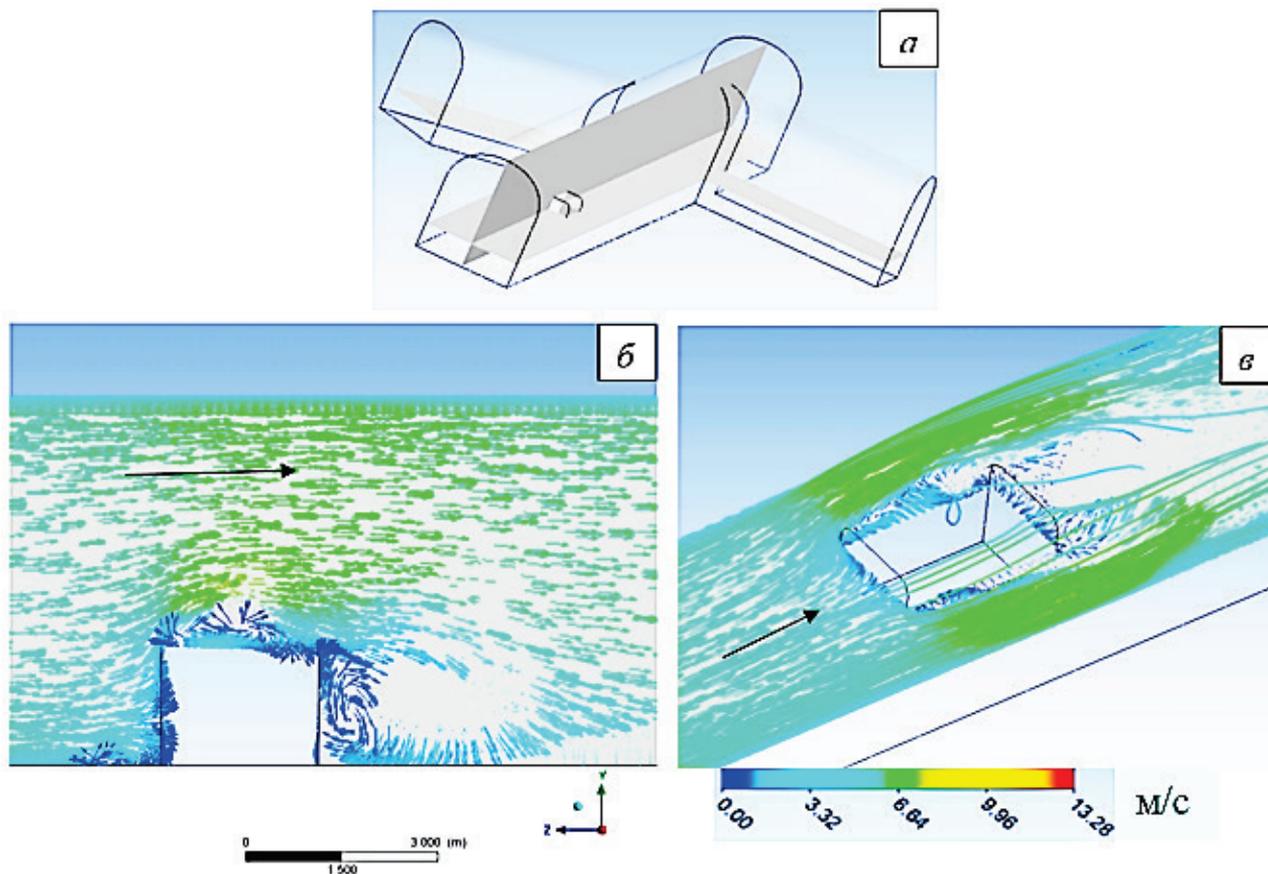


Рис. 3. Векторы скорости несущего газа в окрестности препятствия

Анализ моделирования движения воздуха указывает на возникновение турбулентности потока в пристеночных зонах препятствия. Перед препятствием и над ним возникают зоны обратного течения, создающие особые условия, влияющие на поведение дисперсной фазы потока. За препятствием и на его боковых поверхностях образуются зоны разрежения.

Картина изменения давления вдоль вы-

работок показана на рис. 4 в вертикальной (рис. 4а) и горизонтальной (рис. 4б) плоскостях сечений, соответственно.

3. В зонах «д» и «е» (рис. 2), также наблюдаются застойные участки газа. На рис. 5а показаны изолинии скорости потока газа в горизонтальной плоскости сечения выработок, и на рис. 5б скорости газа в зонах «д» и «е», вид сверху, со стороны кровли.

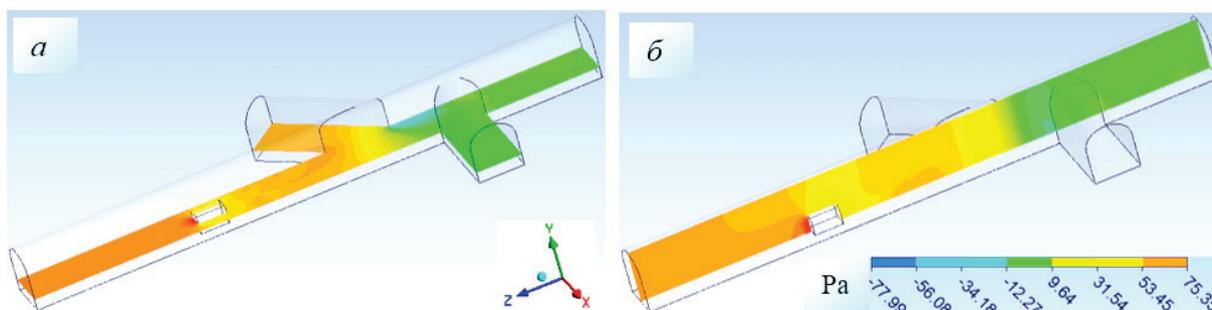


Рис. 4. Изолинии давлений в горизонтальной и вертикальной плоскостях сечений выработок

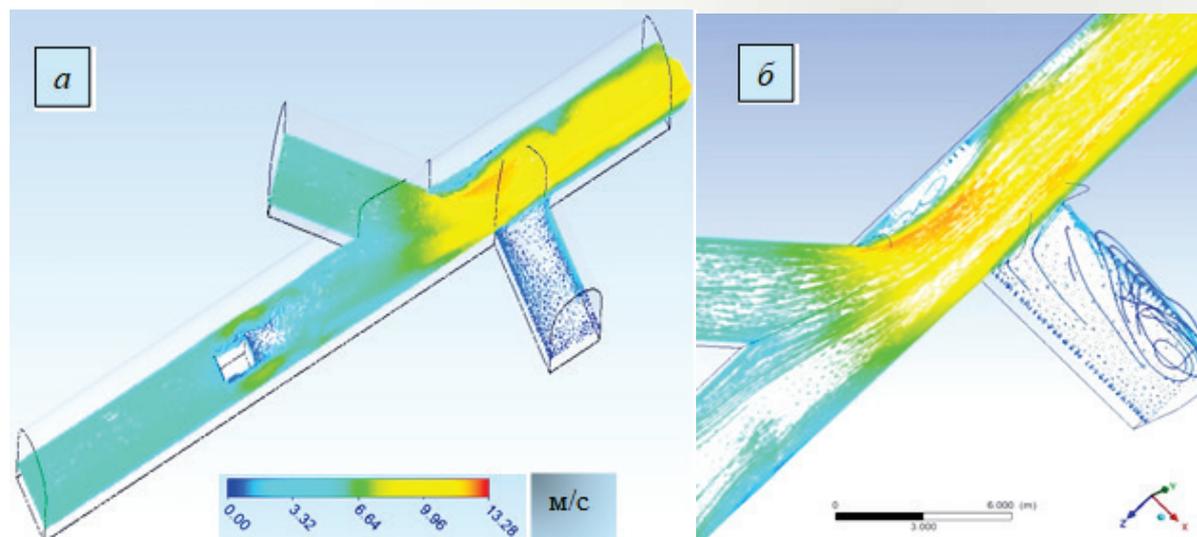


Рис. 5. Изолинии скорости потока газа

Таким образом, результаты моделирования потока дисперсной среды (газ – носитель) позволяют, по крайней мере, на качественном уровне установить параметры потока и уже не только на интуитивном уровне, а на базе численных модельных представлений оценить аэродинамическую обстановку участка шахты и принять соответствующие технические решения при необходимости.

Далее рассмотрим динамику аэрозоли антрацита в потоке основной фазы несущего газа.

Сложность проблемы восходит к необходимости учета или упрощения модельных представлений поведения частиц в потоке, таких как влияние марки угля, размеров и формы частиц, их агрегации (объединения) и седиментации (оседания), изменений вещественного и дисперсного состава (распределение частиц пыли по размеру) и ряда других особенностей, присущих многофазному течению потока в полу бесконечных шахтных выработок.

В наших исследованиях, как это принято в большинстве подходов к моделированию течений дисперсных примесей, дисперсная фаза полагается безстолкновительной сплошной средой, поскольку вероятность одновременного столкновения трех и более частиц полагается достаточно малой и этим можно пренебречь для объемной концентрации ча-

стиц менее 10 % от общего объема.

Форма частиц, имеющая в общем случае свое разнообразие, например чечевицеобразная, эллипсоидальные, лепестковая, другие формы, заменяется на шаровую форму с так называемым эквивалентным диаметром, как это принято в большинстве исследований двухфазных течений. При расчетах полагалась монодисперсность примеси частиц в потоке несущего газа.

Граничные и расходно-массовые характеристики потока частиц приняты следующими.

Физико-механические характеристики частиц пыли в атмосфере выработок приняты как для антрацита. В качестве несущего газа использовался воздух.

Диаметр частиц для первого варианта исследований принят равным 1 мкм, для второго варианта — 50 мкм.

Начальная скорость частиц на входе в выработку (рис. 1) для обеих вариантов принята равной скорости несущего газа — 5 м/с.

На стенках выработок и препятствия задано условие прилипания частиц.

Моделирование движения частиц в потоке дисперсной среды по выработкам показало следующее.

1. Траектории движения частиц существенно зависят от их массы (от диаметра частиц).

На рис. 6 показаны траектории переноса частиц потоком воздуха в выработках для двух вариантов диаметров частиц, при прочих равных условиях транспортировки пыли.

Результаты моделирования показывают, что траектории движения частиц диаметром 1 мкм практически совпадают с траекторией движения несущего газа.

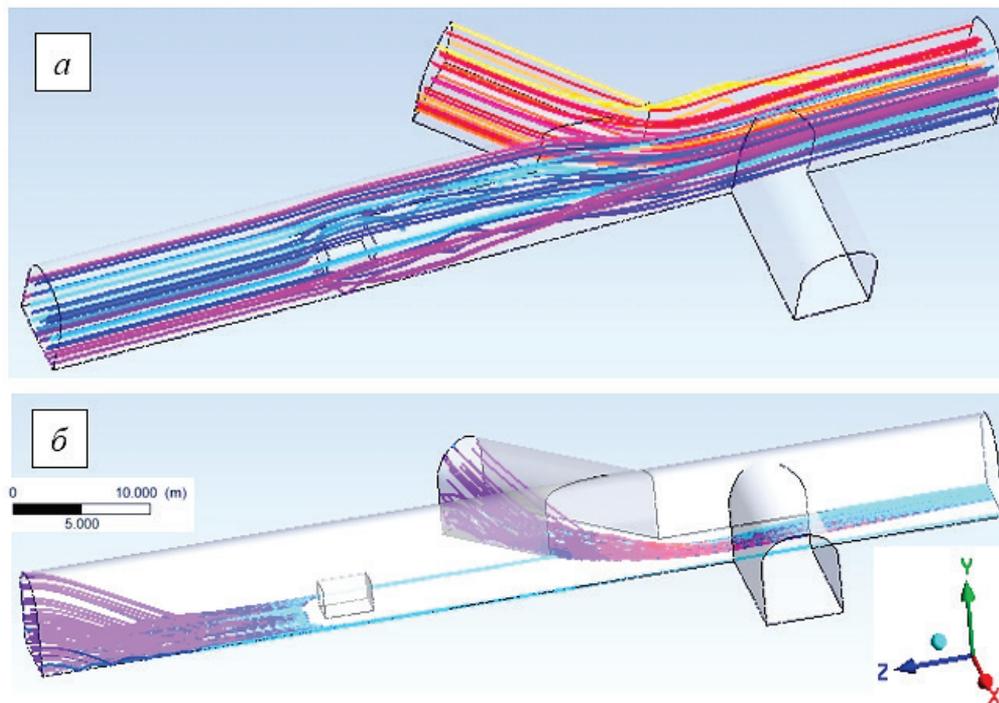


Рис. 6. Траектории движения пылевых частиц антрацита по выработкам, а — частицы диаметром 1 мкм, б — 50 мкм

Для частиц диаметром 50 мкм траектория движения иная. Видно существенное влияние на пылевой поток гравитационных сил. Для принятых в исследовании условий течения пылевоздушных смесей для потока с диаметром частиц 50 мкм уже на расстоянии 10–12 метров от входного сечения происходит седиментация значительного объема частиц. Дальнейшее движение частиц происходит вдоль почвы выработок, с потерей их скорости.

2. В обоих вариантах моделирования пылевоздушного потока перед препятствием в выработке образуется отбойная зона, свободная от частиц пыли (рис. 6, рис. 3), вследствие

реализации зоны обратного (отраженного от стенки) течения несущего газа из-за лобового сопротивления преграды.

3. Анализ результатов расчетов течения дисперсионной фазы и траектории течения частиц дает возможность установить не только места концентрации отложений частиц на стенке, на препятствия, но и принять решения по организации способов утилизации отложившейся пыли.

На рис. 7 показаны результаты численных расчетов, показывающие характерные особенности отложений пыли, геометрию отложений и местоположения наибольших их концентраций.

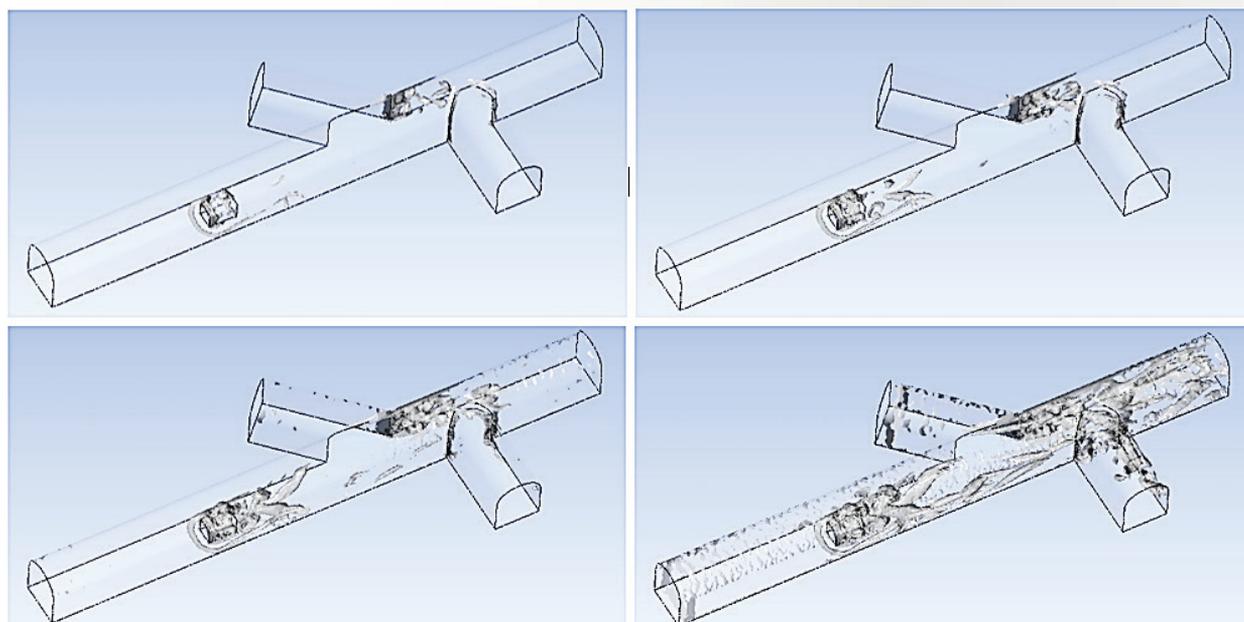


Рис. 7. Хронология отложений пыли для фракции частиц 1 мкм

Основные способы борьбы с рудничной пылью в выработках угольных шахт – это орошение водой мест пылеобразования, пылеподавление пеной, пылеотсос, применение водовоздушных эжекторов, групповое нагнетание в угольные пласты увлажняющих жидкостей, другие мероприятия. Основным расходным материалом является вода и, как следствие, возникает сопутствующая проблема — утилизации жидкостно-пылевой эмульсии, образующейся в больших количествах.

В настоящее время разрабатываются более совершенные методы коагуляции частиц угольной пыли, основанные на использовании воздействия на пылевоздушную среду звуковых волн на уровне ультразвуковых и инфразвуковых частот. Оборудование для звуковой коагуляции обладает компактностью и, следовательно, мобильностью, позво-

ляющей наиболее рационально располагать такие устройства в окрестности *предварительно установленных эпицентров скопления пыли*.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведены исследования аэромеханики участков горных выработок и построена математическая модель, позволяющая разработать более совершенные методы и способы увеличения экологической безопасности шахт путем снижения нагрузки на технологическое оборудование пылеподавления, а также существенно уменьшить затраты на организацию процесса утилизации пыли, поскольку появляется возможность указать конкретные зоны максимального скопления пыли, повышая тем самым эффективность пылеподавления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мясников А.А., Старков С.П., Чикунов В.И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах. М.: Недра, 1985. 206 с.
2. Минаев Д.С. Пожаро- и взрывоопасные свойства аэрозолей наноразмерных материалов: автореф. дис. канд. техн. наук / Минаев Дмитрий Сергеевич. М., 2011. 19 с.
3. Позынич К.П., Корнеева С.И. Аэрология горных предприятий: учеб, пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. 236 с.
4. Романченко С.Б. Динамика угольных аэрозолей и создание системы контроля и предотвращения взрывов пыли на горнодобывающих предприятиях: автореф. дис. докт. техн. наук /

Романченко Сергей Борисович. М., 2012.

5. Массимилла Л. Особенности движения плотных псевдооживенных систем // В кн. «Псевдооживение». М.: Химия, 1974. С. 567–590.

6. Hogland R.F. Recent advances in gas-particle nozzle flows // ARS journal. 1962. Vol. 32. No. 5. P. 662–671.

7. Stockel I.H. High-speed flow of fluidized solids in changing area // Chemical engineering progress symposium series. 1962. Vol. 58. No. 38. P. 106–120.

8. Кулявцев Е.Я., Казанцев В.Г., Куимов Р.И. Моделирование газодинамических процессов при срабатывании модуля порошкового пожаротушения с использованием аналогии капельная жидкость–псевдожидкость // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013. № 1. С. 74–83.

9. Rudinger, G. Some effects of finite particle volume on the dynamics of gas-particle mixtures // AIAA journal. 1965. Vol. 3. No. 7. P. 1217–1222.

10. Псевдооживение. М.: Химия, 1974. 724 с.

---

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.64.55.005**

**UDC 622.271**

**© V.G. Kazantsev, Lee Hee Un, V.B. Popov, A.I. Kravchenko, E.I. Goloskokov, 2022**

**V.G. KAZANTSEV**

Doctor of Engineering Sciences

Biysk

e-mail: wts-01@mail.ru

**LEE HEE UN**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,

Scientific Secretary

JSC «SC VostNII», Kemerovo

e-mail: leeanatoly@mail.ru

**V.B. POPOV**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,

Scientific Consultant

JSC «SC VostNII», Kemerovo

e-mail: 1860pwb@mail.ru

**A.I. KRAVCHENKO**

Candidate of Engineering Sciences

Leading Researcher

JSC «SC VostNII», Kemerovo

e-mail: 642606@mail.ru

**E.I. GOLOSKOKOV**

Senior Researcher

JSC «SC VostNII», Kemerovo

e-mail: e.goloskokov@nc-vostnii.ru

## SOME PROBLEMS IN THE AEROMECHANICS OF COAL MINE MINING

*The article on the basis of aeromechanics of mine workings deals with two-phase discrete currents of dust-air mixtures on conjugate workings of complex shape with obstacles. To simulate the movement of particles of the dispersed phase, the Lagrange approach is used, which allows you to track the movement of individual particles under the influence of forces from the flow of the main gas phase. The approach being developed aims to promote better methods and means of dust suppression.*

Keywords: COAL DUST; AEROMECHANICS OF WORKINGS; DUST DEPOSITS; MULTIPHASE DISCRETE MEDIA; DYNAMICS OF AEROSOLS OF COAL PARTICLES.

### REFERENCES

1. Myasnikov A.A., Starkov S.P., Chikunov V.I. Prevention of gas and dust explosions in coal mines. M.: Nedra, 1985. 206 p. [In Russ.].
2. Minaev D.S. Fire and explosive properties of aerosols of nanoscale materials: abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences / Minaev Dmitry Sergeevich. M., 2011. 19 p. [In Russ.].
3. Pozynich K.P., Korneeva S.I. Aerology of mining enterprises: study, manual. Khabarovsk: Publishing House of Pacific State University, 2019. 236 p. [In Russ.].
4. Romanchenko S.B. Dynamics of coal aerosols and the creation of a system for monitoring and preventing dust explosions at mining enterprises: abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences / Romanchenko Sergey Borisovich. M., 2012. [In Russ.].
5. Massimilla L. Features of the movement of dense fluidized systems // In the book «Fluidization». M.: Chemistry, 1974. P. 567–590. [In Russ.].
6. Hogland R.F. Recent advances in gas-particle nozzle flows // ARS journal. 1962. Vol. 32. No. 5. P. 662–671.
7. Stockel I.H. High-speed flow of fluidized solids in changing area // Chemical engineering progress symposium series. 1962. Vol. 58. No. 38. P. 106–120.
8. Kulyavtsev E.Ya., Kazantsev V.G., Kuimov R.I. Modeling of gas-dynamic processes when the powder fire extinguishing module is triggered using the droplet liquid-pseudo-liquid analogy // Bulletin of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2013. No. 1. P. 74–83. [In Russ.].
9. Rudinger, G. Some effects of finite particle volume on the dynamics of gas-particle mixtures // AIAA journal. 1965. Vol. 3. No. 7. P. 1217–1222.
10. Fluidization. M.: Chemistry, 1974. 724 p. [In Russ.].