ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):46-57
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.4 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ВОЗДУХООБМЕНА В СИСТЕМЕ ТУПИКОВЫХ И СКВОЗНОЙ ВЫРАБОТОК БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

**С.В. Мальцев[1], Б.П. Казаков[1], А.Г. Исаевич[1], М.А. Семин[1]**

[1] Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия,
e-mail: stasmalcev32@gmail.com

***Аннотация:*** Исследована потенциальная возможность проветривания тупиковых камер большого сечения (132 м$^2$) длиной 50 м, без использования ВМП. В связи с тем, что в тупиковых выработках работает техника с ДВС, происходит активное выделение выхлопных газов (оксиды углерода и окислы азота). Представлена численная трехмерная модель для расчета воздухораспределения в выработках рабочих панелей, проветриваемых эжекторными установками, работающими без перемычек. Расчеты произведены с помощью программного комплекса Ansys в модулях CFX и Fluent. По результатам тестовых расчетов установлено, что Fluent больше подходит для решения задач воздухообмена в горных выработках. На основании численного трехмерного моделирования для обеспечения забоев расчетным количеством воздуха определена зона влияния эжекторной установки. Выявлено, что эжекторная установка оказывает существенное аэродинамическое влияние на воздухообмен в четырех камерах, расположенных за этой установкой, по тракту движения воздушной струи. Средний расход воздуха в этих камерах оказывается достаточным для того, чтобы обеспечить надлежащее проветривание камер после ведения буровзрывных работ. Влияние одного вентилятора-эжектора распространяется на четыре камеры по критерию обеспеченности воздухом. Представлены результаты численного моделирования интенсивности воздухообмена в панельном транспортном штреке и камерах при различном расположении вентиляторов-эжекторов. Определены места наилучшего размещения эжекторных установок, их влияние на проветривание тупиковых забоев. Размещение эжекторных установок у ближней стенки транспортного штрека (вблизи камеры) позволяет улучшить интенсивность проветривания камер в 2—3 раза по сравнению с вариантом размещения вблизи дальней стенки транспортного штрека. Предложенная схема проветривания позволяет обеспечить достаточный воздухообмен для проветривания тупиковых выработок большого сечения.

***Ключевые слова:*** гипсовая шахта, вспомогательный вентилятор, эжекторная установка, камера смешения, проветривание тупиковых камер, шероховатость горных выработок, численное моделирование, интенсивность воздухообмена, повышение эффективности проветривания.

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

***Для цитирования:*** *Мальцев С. В., Казаков Б. П., Исаевич А. Г., Семин М. А.* Исследование динамики процесса воздухообмена в системе тупиковых и сквозной выработок большого сечения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 46–57. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57.

© С.В. Мальцев, Б.П. Казаков, А.Г. Исаевич, М.А. Семин. 2020.

# Air exchange dynamics in the system of large cross-section blind roadways

**S.V. Maltsev[1], B.P. Kazakov[1], A.G. Isaevich[1], M.A. Semin[1]**

[1] Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,
e-mail: stasmalcev32@gmail.com

***Abstract:*** The ventilation potential of large cross-section blind roadways (132 m3) 50 m long without mine ventilation is examined. Combustion engine-driven machines in blind roadways extensively release exhaustion gases (carbon oxide and nitric oxides). The three-dimensional model is presented for calculating air distribution I roadways in extraction panels with induced flow airing plants without brattices. The calculations are performed in ANSYS modules CFX and Fluent. The tests show that Fluent is more suitable for air exchange problems in mines. Based on 3D numerical modeling, the influence zone of an induced flow airing plant to supply face area with sufficient air is determined. It is found that the induced flow airing plant has high aerodynamic effect on air exchange in four roadways arranged behind the plant along the air flow line. The average air flow rate is sufficient for ventilating these roadways after drilling and blasting. Influence zone of one air jet fan encircles four roadways by the criterion of air supply. The numerical modeling results on intensity of air exchange in a panel haulage drift and roadways at various positions of air jet fans are presented. The best sites for air jet fans are determined, and their influence on ventilation in blind roadways is assessed. Placement of air jet fans at the haulage drift wall closer to a roadway improves ventilation in the roadways by 2–3 times as against the air jet fan arrangement at the farther wall of the haulage drift. The proposed ventilation circuit ensures sufficient air exchange for ventilation of large cross-section blind roadways.

***Key words:*** gypsum mine, auxiliary fan, induced flow airing plant, mixing room, blind roadway ventilation, roughness of roadways, numerical modeling, air exchange intensity, ventilation efficiency improvement.

***Acknowledgements:*** This study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 19-77-30008.

***For citation:*** Maltsev S. V., Kazakov B. P., Isaevich A. G., Semin M. A. Air exchange dynamics in the system of large cross-section blind roadways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):46-57. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57.

## Введение

Шахта ООО «Кнауф Гипс Новомосковск» ведет добычу гипсового камня в 70 км юго-восточнее г. Тулы.

Шахтное поле вскрыто пятью шахтными стволами глубиной 120 м. Проветривание осуществляется нагнетательным способом, главной вентиляторной установкой ВОД-30М, расположенной в поверхностном комплексе клетевого ствола. Отличительной особенностью шахты является наличие горных выработок большого сечения до 132 м$^2$.

Напор главной вентиляторной установки преимущественно тратится на преодоление аэродинамических сопротивлений узла воздухозабора, вентиляционного канала и шахтного ствола [1]. Поэтому для улучшения распределения воздуха в подземных горных выработках используются вентиляторные установки местного проветривания (ВУМП), размещенные в пределах панельных выработок и в выработках направлений.

ВУМП представляют собой эжекторные установки на базе вентиляторов ВМЭ-6 и ВМ-8М, находящиеся на почве выработки, работающие без перемычки и имеющие камеру смешения [2]. Предполагается, что панель состоит из двух панельных

транспортных штреков, расположенных по краям панели, вентиляционно-конвейерного штрека, расположенного посередине панели, и очистных тупиковых забоев, расположенных в пределах всей панели.

Таким образом, подача свежего воздуха планируется с двух сторон по транспортным штрекам, а сброс отработанного воздуха — по вентиляционно-конвейерному штреку.

В работе исследована потенциальная возможность проветривания тупиковых камер большого сечения (132 м$^2$) длиной 50 м без использования ВМП с вентиляционным ставом. Проветривание тупиковых выработок планируется осуществлять за счет вентиляторов-эжекторов, которые позволят повысить интенсивность воздухообмена системы сквозных транспортных штреков с тупиковыми выработками (камерами).

В связи с тем, что в тупиковых выработках работает техника с ДВС, происходит активное выделение выхлопных газов (оксиды углерода и окислы азота). Поэтому для тупиковых выработок в соответствии с методикой шахты производится расчет требуемого количества воздуха по различным факторам: ДВС, газы от взрывных работ, минимально-допустимая скорость движения воздуха.

Для интенсификации диффузии и разбавления газов в пределах панельных выработок по ходу движения струи предлагается устанавливать эжекторные установки для проветривания нескольких камер, которые позволяют увеличить скорость движения воздуха в выработках и интенсивность воздухообмена в камерах.

В исследовании моделируются источники тяги, — ВУМП-6, — расположенные в пределах транспортных выработок рабочей панели. Эквивалентные напорные характеристики эжекторных установок в выработках большого сечения определены в работе [3]. Их расположение в сечении выработок представлено на рис. 1 и 2.

Предполагается, что источники тяги увеличат степень турбулентности воздушной струи, проходящей по транспортному штреку, за счет чего произойдет интенсификация диффузионного воздухообмена между транспортным штреком и тупиковой камерой. Причем степень воздухообмена будет достаточной, чтобы накопления вредных компонентов не достигало ПДК.

В данной работе рассматриваются две задачи: определение оптимального места расположения эжекторной установки и исследование зоны аэродинамического влияния эжекторной установки. Под зоной аэродинамической влияния понимается такая зона выработанного пространства панели, воздухообмен в которой происходит преимущественно за счет влияния кинетической энергии эжектируемой струи. При этом основным критерием является обеспеченность рабочих зон требуемым количеством свежего воздуха.

### Выбор расчетного модуля

В связи с большими сечениями выработок и, как следствие, возможным расслоением потоков воздуха по сечению [4], для решения поставленных задач необходимо использовать вычислительные методы динамики жидкости и газа (CFD-методы) [5, 6] в трехмерной постановке. В работах [7, 8] рассматривается вопрос применения методов трехмерного численного моделирования при исследовании аэрогазодинамических процессов в системах горных выработок.

В программном комплексе Ansys построена 3D физическая модель одной из панелей гипсовой шахты на основе проектных размеров выработок, площадей их поперечного сечения, шероховатости стенок горных выработок. Течение воздуха повсеместно происходит в

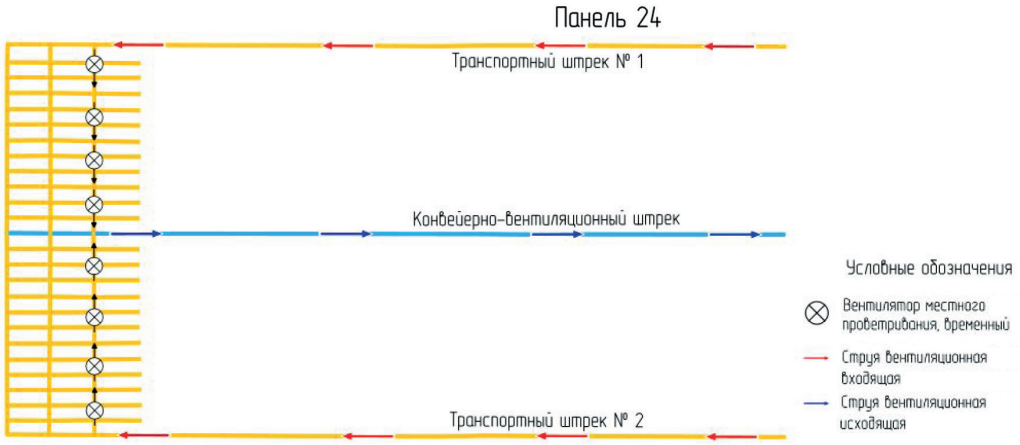


*Рис. 1. Схематический вид панели № 24 гипсовой шахты*
*Fig. 1. Schematic view of the panel no 24 of the gypsum mine*

режиме развитой турбулентности. Для расчета турбулентных характеристик воздушного потока используется модель турбулентности standard k-ε [9, 10].

В программном комплексе Ansys для расчета проветривания панели гипсовой шахты использовалось два расчетных модуля — CFX и Fluent [11, 12]. На предварительном этапе исследований в указанных модулях выполнены тестовые расчеты для выбора наиболее подходящего модуля при решении поставленных задач. В аспекте рассматриваемой задачи основным отличием двух вышеупомянутых модулей является способ задания граничного условия типа «вентилятор».

В модуле Fluent есть возможность задавать интерфейсное граничное условие типа «вентилятор», которое представляет собой зависимость перепада давления между двумя поверхностями и

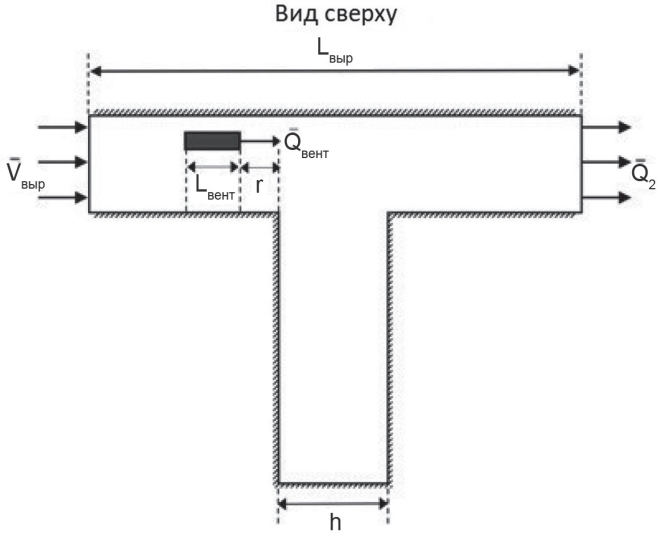


*Рис. 2. Схематическое расположения вентилятора-эжектора (ВУМП-6) в панельной выработке*
*Fig. 2. Schematic view of the booster fan in the panel roadway*

расхода воздуха через них (задается напорная характеристика). В модуле CFX такой возможности нет, а вентилятор может задаваться посредством, к примеру, источника импульса в некоторой локальной области внутри вентилятора.

По результатам тестовых расчетов получено, что при задании расхода воздуха на вентиляторе в модуле CFX не удается достичь напорной характеристики используемых вентиляторов. Модуль Fluent позволяет более корректно моделировать работу эжекторной установки. Кроме того, в модуле Fluent есть возможность задавать ограничение на максимальную производительность вентилятора-эжектора ВМ-6.

Поэтому было принято в дальнейших расчетах использовать модуль Fluent и задавать во внутреннем сечении эжекторной установки граничное условие типа «вентилятор».

### Исследование влияния эжекторной установки на проветривание камер

Для упрощения расчетной области на первом этапе моделирование производилось в половине панели. При определении требуемого количества эжекторных установок в половине панели рассматривается процесс проветривания тупиковых забоев и определяется влияние одного вентилятора на проветривание тупиковых камер большого сечения (рис. 3). Теперь предполагается, что всю расчетную область задачи занимает один воздух, не помеченный маркерами. Исследуется стационарное воздухораспределение в тупиковых камерах, имеющих различную удаленность от эжекторной установки, находящейся в транспортном штреке.

На входе в расчетную область задавалась средняя по сечению транспортного штрека скорость движения воздушного потока $V_{выр}$ = 0,169 м/с, что соответствует расчетному значению расхода воздуха 975 м$^3$/мин, а на вентиляционном штреке — нулевое статическое давление $P_c$ = 0. На стенках выработок панели задавалась шероховатость (средняя амплитуда неровности стенок принималась равной 1,3 см; шаг равен 1,3 см).

По результатам численных расчетов получено трехмерное распределение аэродинамических параметров. Анализ воздухораспределения строился следующим образом: в поперечных сечениях тупиковых камер строилось распределе-

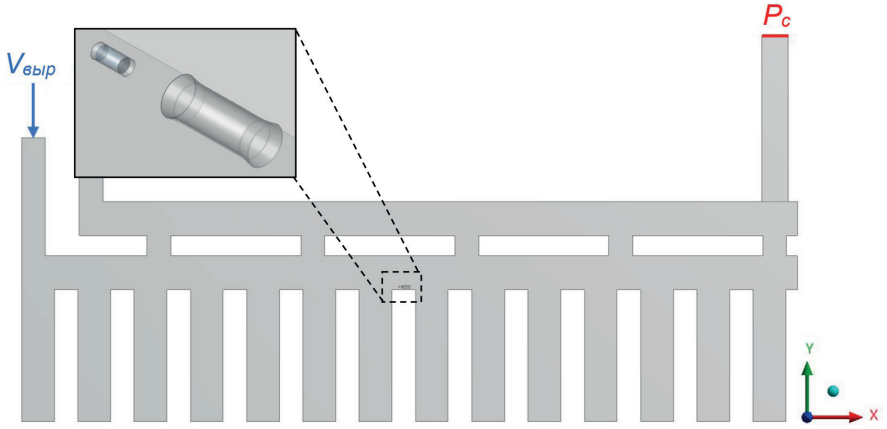


*Рис. 3. Геометрическая модель половины панели юго-восточного направления шахты с установленной на ней эжекторной установкой с камерой смешения*

*Fig. 3. Geometric model of half panel in southeast direction of the mine, a booster fan with a mixing chamber*

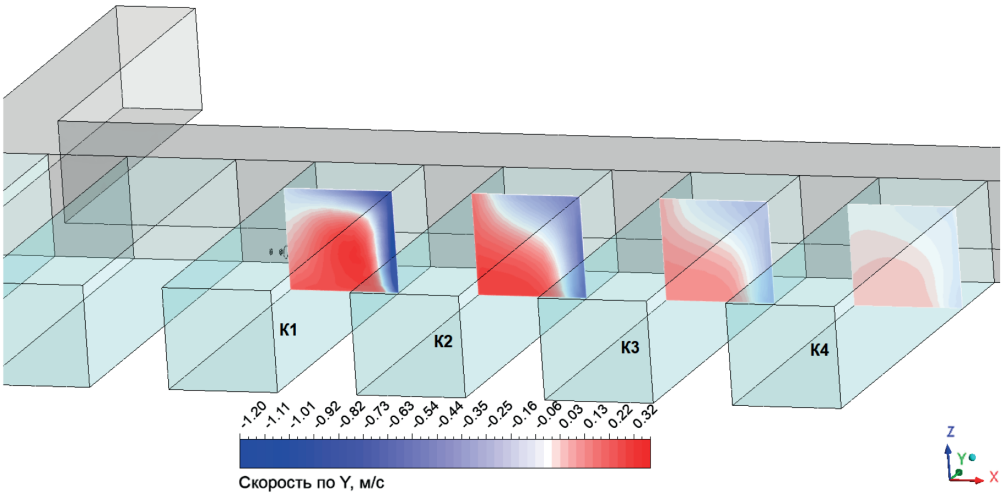


*Рис. 4. Распределение скоростей воздуха в камерах после эжекторной установки через 10 м от устья камер (синим цветом изображено движение воздуха от устья камеры до забоя, красным — от забоя к устью)*

*Fig. 4. Distribution of the normal component of air velocity in the chambers behind the booster fan (blue colors shows the movement of air from the mouth of the chamber to the bottom, in red — from the bottom to the mouth)*

ние нормальной компоненты скорости. Таким образом, получено распределение скоростей в срезе камер после эжекторной установки. На рис. 4 и 5 представлены распределения скоростей движения воздуха в очистных камерах на расстоянии 10 и 40 м от устья камер.

Результаты численного моделирования верифицированы при проведении натурных измерений в камерах № 1 и

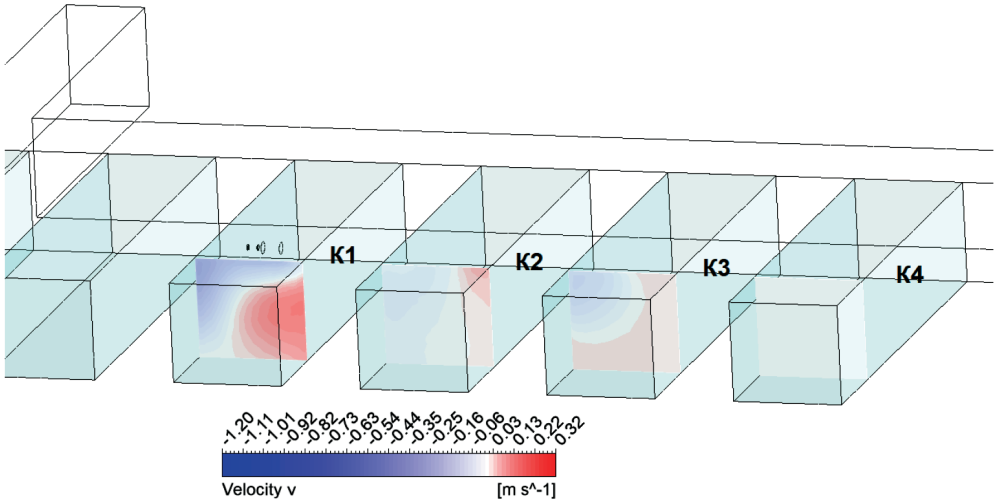


*Рис. 5. Распределение скоростей воздуха в камерах после эжекторной установки через 40 м от устья камер (синим цветом изображено движение воздуха от устья камеры до забоя, красным — от забоя к устью)*

*Fig. 5. Distribution of the normal component of air velocity in the chambers behind the booster fan (blue colors shows the movement of air from the mouth of the chamber to the bottom, in red — from the bottom to the mouth)*

№ 4, расположенных за вентилятором-эжектором. Для проведения эксперимента в камере сечением 125 м$^2$ использована кровлеоборочная машина с автовышкой «Liebherr-A934». В очистных камерах выделены места для проведения замеров, сетка точек измерения выглядит следующим образом: 5 по высоте и 3 по ширине. В связи с тем, что во многих точках скорости находились в диапазоне 0,1—0,4 м/с для проведения измерений использован польский анемометр μAS 4 (производитель — Институт механики горных пород Польской академии наук), характерной особенностью которого является наличие крупной крыльчатки с высокой чувствительностью (абсолютная погрешность измерений составляет ±0,1 м/с). Результаты проведенного эксперимента представлены на рис. 6. Каждая точка измерения скорости движения воздуха является результатом статистической обработки. По результатам численного моделирования и проведенных экспериментальных измерений (рис. 4, 6) вычислены расходы воздуха в камерах после вентилятора.

Для этого применялся следующий алгоритм:

1. В камере на расстоянии 10 и 40 м от устья камеры взяты два среза, на которых представлено распределение скоростей движения воздуха по сечению камеры. Направление движения воздуха в камере показано знаками «+» и «—»: «—» характеризует движение воздуха в камеру, «+» — удаление воздуха из камеры;

2. Для каждой части выведены интерполяционные формулы для определения распределений скорости;

3. По полученным интерполяционным формулам производился расчет расхода воздуха, поступающего и выходящего из камеры, путем интегрирования скорости отдельно по площади каждой части.

С помощью интерполяционных формул вычислены расходы воздуха для про-

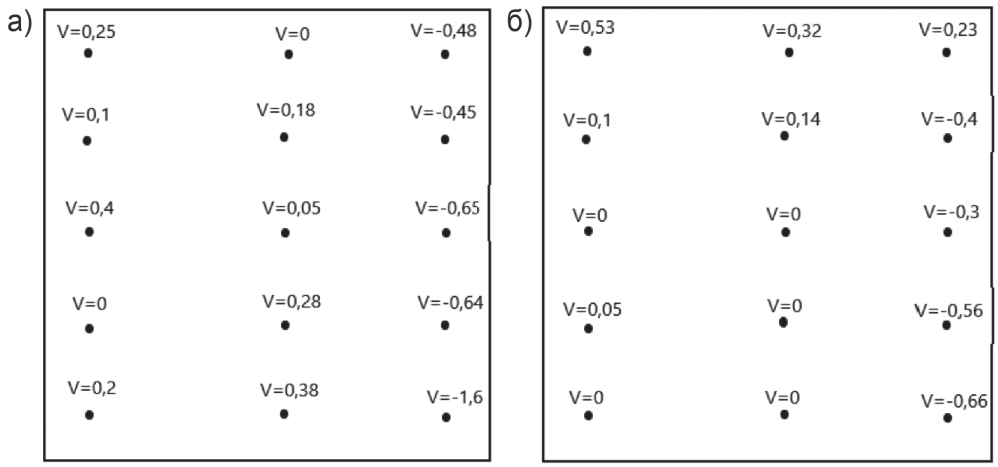


*Рис. 6. Точечные натурные замеры скорости движения воздушного потока в тупиковых камерах после вентилятора-эжектора на расстоянии 10 м от устья камеры, вид со стороны забоя (отрицательная скорость означает движение воздуха от устья камеры до забоя, положительная — от забоя к устью): первая камера после вентилятора-эжектора (а); четвертая камера после вентилятора-эжектора (б)*

*Fig. 6. Experimental measurements of the air velocity in the chamber after the booster fan at a distance of 10 meters from the junction between chamber and roadway; negative speed means that air moves from the junction of the chamber to the dead end, positive — from the dead end to the junction: (a) the first chamber after the booster fan; (b) the fourth chamber after the booster fan*

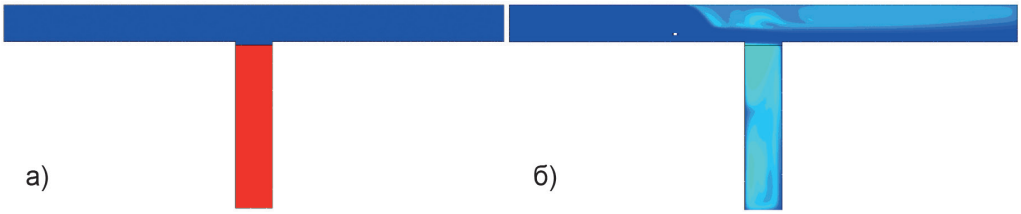


*Рис. 7. Фрагмент расчетной области панели для определения интенсивности воздухообмена с эжекторной установкой: «воздух-1», занимающий пространство транспортного штрека, и «воздух-2», занимающий пространство камеры длиной 50 м: момент времени 0 с (а); момент времени 2000 с (б)*

*Fig. 7. Fragment the computational domain for definition intensity of air (medium-1 characterize blue, medium-2 — red): (a) moment of time 0 s; (b) moment of time 2000 s*

ветривания панелей. В разрезе на расстоянии 10 м от устья камеры получены следующие значения: в первую камеру за вентилятором поступает 441 м$^3$/мин, во вторую — 254 м$^3$/мин, в третью — 216 м$^3$/мин, в четвертую — 109 м$^3$/мин, в пятую — 60 м$^3$/мин. В разрезе на расстоянии 40 м от устья камеры получены следующие значения: в первую камеру за вентилятором поступает 253 м$^3$/мин, во вторую — 145 м$^3$/мин, в третью — 118 м$^3$/мин, в четвертую — 65 м$^3$/мин.

Для объективной оценки возможного количества проветриваемых очистных камер вентилятором эжекторного типа выполняется расчет требуемого количества воздуха.

Расчет выполняется в соответствии с «Методикой расчета требуемого количества воздуха для шахты «Кнауф Гипс Новомосковск» по следующим факторам: выхлопные газы от двигателей внутреннего сгорания, газы от взрывных работ, минимально-допустимая скорость движения воздуха. В соответствии с выполненным расчетом требуемого количества воздуха для проветривания одного забоя требуется 109 м$^3$/мин (по фактору ведения буровзрывных работ).

Результаты расчета позволяют сделать вывод, что требуемое количество воздуха в камеру будет поступать при проветривании одной эжекторной установкой трех камер.

## Определение местоположения эжекторных установок в сечении панельной выработки

Следующим этапом исследования является определение интенсивности воздухообмена между транспортным штреком и тупиковыми камерами при различном размещении эжекторной установки. Для этого проведен следующий численный эксперимент. Воздух, находящийся в начальный момент времени в транспортном штреке, помечался синим маркером, в то время как воздух, который в начальный момент времени был в камере, — красным маркером (рис. 7). По физическим свойствам обе среды («воздух-1», отмеченный синим маркером, и «воздух-2», отмеченный красным маркером) идентичны и соответствуют воздуху в условиях атмосферного давления и температуры +25 °С. Для разбавления всех образующихся вредностей в тупиковой камере, согласно расчету количества воздуха, необходимо 109 м$^3$/мин. Таким образом, задача сводится к определению расхода воздуха, поступающего в камеру при расположении вентиляторов эжекторного типа на транспортном штреке (без вентиляционного става).

Для простоты рассмотрена часть панели, состоящая из одной тупиковой камеры и части транспортного штрека. При расчете нестационарного воздухораспределения в системе «транспортный

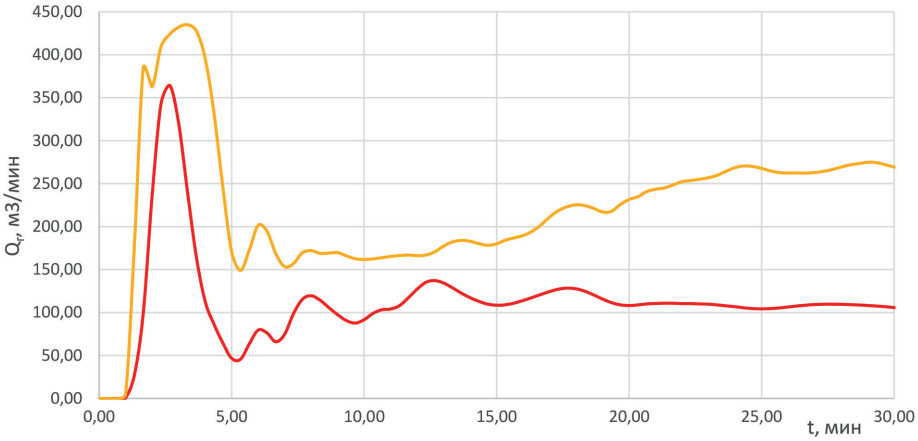


*Рис. 8. Результаты численного моделирования интенсивности воздухообмена в тупиковой камере (верхний график — размещение вентилятора у ближней стенки транспортного штрека, нижний — вблизи дальней)*

*Fig. 8. Results of computational modeling intensity of air in blind room (high figure — lay of fan on near wall of the haulage roadway, down figure — round the far wall)*

штрек-тупиковая камера» «воздух-2» будет постепенно выноситься из тупиковой камеры, замещаться «воздухом-1», протекающим по транспортному штреку. Скорость выноса «воздуха-2» из тупиковой камеры будет являться мерой интенсивности воздухообмена между транспортным штреком и тупиковой камерой.

В связи с активным перемещением крупногабаритного технологического оборудования (погрузчики и самосвалы) в пределах горных выработок панели, при решении задачи определения оптимального места расположения эжекторной установки рассмотрены два варианта размещения:

- у дальней стенки относительно камеры (существующая схема расположения);
- у ближней стенки.

На рис. 8 представлены результаты численного моделирования интенсивности воздухообмена в тупиковой камере с момента запуска вентилятора до выхода графиков изменения расхода воздуха на стационарные значения.

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что начальное увеличение расхода воздуха (всплеск) соответствует моменту запуска вентилятора эжекторного типа и началу вытеснения воздушной смеси («воздух 2») из тупиковой камеры. Как только мы достигаем пика вытесняемого воздуха из камеры, расход «воздуха 2» начинает уменьшаться в связи с замещением его «воздухом 1». Далее в течение 25 мин происходит полное замещение «воздуха 2» «воздухом 1». Как только графики выходят на стационар (выравниваются), полученное значение можно считать количеством воздуха, поступающего в камеру.

Таким образом, численное моделирование дало возможность установить, что размещение эжекторных установок у ближней стенки транспортного штрека (вблизи камеры) позволяет улучшить интенсивность проветривания камер в 2—3 раза по сравнению с вариантом размещения у дальней стенки транспортного штрека (рис. 8).

Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод о возможности проветривания тупиковых камер большого сечения эжекторными установками в условиях гипсовой шахты.

## Заключение

В данном исследовании разработана численная трехмерная модель для расчета воздухораспределения и определения интенсивности воздухообмена в выработках панели гипсовой шахты «Кнауф Гипс Новомосковск».

Предполагалось, что проветривание тупиковых камер большого сечения длиной 50 м осуществляется с помощью эжекторных установок, работающих без вентиляционного става, без перемычки и имеющих камеру смешения.

По результатам выполненных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Предложенная схема проветривания позволяет обеспечить достаточный воздухообмен для проветривания тупиковых выработок большого сечения. На основании моделирования в тупиковых камерах большого сечения обеспечивается требуемый расход воздуха (109 м$^3$/мин).

2. Выбрано оптимальное место размещения эжекторных установок у ближней стенки транспортного штрека (вблизи камеры) позволяет улучшить интенсивность проветривания камер в 2—3 раза по сравнению с вариантом размещения вблизи дальней стенки транспортного штрека.

3. Определена зона влияния эжекторной установки. Результаты расчета показывают, что требуемое количество воздуха в камеру будет поступать при проветривании одной эжекторной установкой трех камер.

Полученные выводы основаны на результатах численного моделирования воздухообмена в системе тупиковых и сквозной выработок большого сечения. Подтверждены при проведении натурных исследований в процессе воздушно-депрессионной съемки. В момент проведения замеров работали только вентиляторы-эжекторы, измерения скорости воздуха производились с кровлеоборочной машины «Liebherr-A934», оборудованной автовышкой. В момент проведения экспериментальных измерений технологическое оборудование (самосвалы и погрузчики) не работало. На следующем этапе исследования планируется учет в модели распространения газов от взрывных работ и газов от двигателей внутреннего сгорания с проведением дальнейшей верификации результатов натурными измерениями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Казаков Б. П.*, *Мальцев С. В.*, *Семин М. А.* Обоснование участков измерения аэродинамических параметров воздушного потока при определении аэродинамического сопротивления стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S7. — С. 69—75.

2. *Мохирев Н. Н.* Исследование работы эжектирующих установок в рудничных вентиляционных сетях: Дис. ... канд. техн. наук. — 1974. — С. 217.

3. *Казаков Б. П.*, *Семин М. А.*, *Мальцев С. В.* Математическое моделирование проветривания панелей гипсовой шахты эжекторными установками // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 3. — С. 245—255.

4. *Levin L. Yu.*, *Isaevich A. G.*, *Semin M. A.*, *Gazizullin R. R.* Dynamics of air-dust mixture in ventilation of blind drifts operating a team of cutter-loaders // Gornyy Zhurnal. 2015, no 1, pp. 72—75.

5. *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: сборник трудов конференции. — Пермь, 2014. — С. 381—386.

6. *Качурин Н. М.*, *Мохначук И. И.*, *Поздеев А. А.*, *Стась Г. В.* Математические модели аэрогазодинамических процессов на очистных участках шахт и рудников // Известия Тульского горного университета. Науки о Земле. — 2013. — № 1. — С. 267—276.

7. *Каледина Н.О., Кобылкин С.С.* Объемное моделирование как метод исследования и управления термо- и аэрогазодинамическими процессами на горных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 1. — С. 149—156.

8. *Каледина Н.О., Кобылкин С.С.* Системное проектирование вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № S1. — С. 282—293.

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, no 89, pp. 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, no 29 (3), pp. 22—32.

11. *Camelli F.E., Byrne G., Löhner R.* Modeling subway air flow using CFD // Tunnelling and Underground Space Technology. 2014, no 43, pp. 20—31.

12. *Kurnia J.C., Sasmito A.P., Mujumdar A.S.* CFD simulation of methane dispersion and innovative methane management in underground mining faces // Applied Mathematical Modelling. 2014, no 38 (14), pp. 3467—3484. ГИАБ

## REFERENCES

1. Kazakov B.P., Mal'tsev S.V., Semin M.A. Justification of measurement sites for aerodynamic parameters of air flow in air resistance determination in shafts. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S7, pp. 69—75. [In Russ].

2. Mokhirev N.N. *Issledovanie raboty ezhektiruyushchikh ustanovok v rudnichnykh ventilyatsionnykh setyakh* [Analysis of operation of induced flow airing plants in mine ventilation networks], 1974, pp. 217.

3. Kazakov B.P., Semin M.A., Mal'tsev S.V. Mathematical modeling of ventilation in panels of gypsum mine by induced flow airing plants. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2018, no 3, pp. 245—255. [In Russ].

4. Levin L.Yu., Isaevich A.G., Semin M.A., Gazizullin R.R. Dynamics of air-dust mixture in ventilation of blind drifts operating a team of cutter-loaders. *Gornyy Zhurnal*. 2015, no 1, pp. 72—75.

5. Kachurin N.M., Stas' G.V., Mokhnachuk I.I., Pozdeev A.A. Aero-gas-dynamics at working faces in underground mines. Problemy bezopasnosti i effektivnosti osvoeniya georesursov v sovremennykh usloviyakh: sbornik trudov konferentsii [Problems of safe and efficient development of georesources in modern conditions: proceedings of the conference], Perm, 2014, pp. 381—386.

6. Kachurin N.M., Mokhnachuk I.I., Pozdeev A.A., Stas' G.V. Mathematical models of aerogas-dynamic processes in face areas of underground mines. *Izvestiya Tul'skogo gornogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2013, no 1, pp. 267—276. [In Russ].

7. Kaledina N.O., Kobylkin S.S. 3D modeling as a method to study and control thermal and aero-gas-dynamic processes in mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 1, pp. 149—156. [In Russ].

8. Kaledina N.O., Kobylkin S.S. System design of mine ventilation based on 3D modeling of aero-gas-dynamic systems. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no S1, pp. 282—293. [In Russ].

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, no 89, pp. 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, no 29 (3), pp. 22—32.

11. Camelli F.E., Byrne G., Löhner R. Modeling subway air flow using CFD. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014, no 43, pp. 20—31.

12. Kurnia J.C., Sasmito A.P., Mujumdar A.S. CFD simulation of methane dispersion and innovative methane management in underground mining faces. *Applied Mathematical Modelling*. 2014, no 38 (14), pp. 3467—3484.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мальцев Станислав Владимирович*[1] — инженер, e-mail: stasmalcev32@gmail.com,
*Казаков Борис Петрович*[1] — д-р техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник, Scopus ID: 14042066100,
*Исаевич Алексей Геннадьевич*[1] — канд. техн. наук,
зав. сектором, Scopus ID: 56671263900,
*Семин Михаил Александрович*[1] — канд. техн. наук,
научный сотрудник, Scopus ID: 56462570900,
[1] Горный институт Уральского отделения РАН.
**Для контактов:** Мальцев С.В., e-mail: stasmalcev32@gmail.com.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.V. Maltsev*[1], Engineer, e-mail: stasmalcev32@gmail.com,
*B.P. Kazakov*[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Scopus ID: 14042066100,
*A.G. Isaevich*[1], Cand. Sci. (Eng.), Sector Manager, Scopus ID: 56671263900,
*M.A. Semin*[1], Cand. Sci. (Eng.), Researcher, Scopus ID: 56462570900,
[1] Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
614007, Perm, Russia.
**Corresponding author:** S.V. Maltsev, e-mail: stasmalcev32@gmail.com.



Получена редакцией 02.09.2019; получена после рецензии 23.12.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 02.09.2019; received after the review 23.12.2019; accepted for printing 20.01.2020.


## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ


(2019, № 12, СВ 51, 28 с.)



*Артеменко Сергей Иванович* — начальник отдела, ООО «УГМК — ХОЛДИНГ ПАО «Гайский ГОК» Подземный рудник, e-mail: ser.artemenko2013@yandex.ru,
*Жантлисова Екатерина Анатольевна* — канд. экон. наук, доцент, декан,
Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», e-mail: eajantlisova@mail.ru.



Проблемы управления промышленными предприятиями остаются в настоящее время очень актуальными, так как от правильно разработанных технологий управления зависят результаты их деятельности, особенно при внедрении в производство инновационных технологий и мероприятий научно-технического прогресса. Приведен обзор аналитической литературы по выбранной тематике. Обозначены подходу применения гибких технологий управления на промышленных предприятиях. Представлен опыт ПАО «Гайский горно-обогатительный комбинат».



Ключевые слова: промышленные предприятия, гибкие технологии, управление производством, ПАО «Гайский горно-обогатительный комбинат».


### MANAGEMENT TECHNOLOGIES AS THE BASIS FOR DEVELOPMENT INDUSTRIAL ENTERPRISES


*S.I. Artemenko*, Head of Department, OOO «UGMK-Holding», PAO «Gaiskiy GOK» Underground mine, Russia,
*E.A. Zhantlisova*, Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Dean, Novotroitsk branch of National University of Science and Technology «MISiS», e-mail: eajantlisova@mail.ru, Russia.



The problems of managing industrial enterprises are currently very relevant, since the result of activities depend on correctly developed management technologies, especially when introducing innovative technologies and measures of scientific and technological progress into production. The article provides an overview of analytical literature on selected topics. The approach to the application of flexible management technologies in industrial enterprises is indicated. The experience of PJSG «Gaysky Mining and Processing Plant» is presented.



Key words: industrial enterprises, flexible technologies, production management, PJSG «Gaysky Mining and Processing Plant».