

УДК 621.184.85, 622.445, 622.446, 629.048.4, 697.92

к.т.н. Ткачев М. Ю.

(АДИ ДонНТУ, г. Горловка, ДНР, mishel-tkachev@ya.ru)

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ НОВЫХ УСТАНОВОК ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ

*На основании многолетних исследований и освещения уровня техники, реализующей активное пылегазоподавление с известными недостатками (наличие застойных «мертвых» зон), рассмотрена концепция построения новых установок вентиляции глубоких карьеров, осуществляющих свою работу в сложных климатических и неблагоприятных синоптических условиях. Отличительной особенностью предлагаемых решений является использование в конструкции агрегатов защищенного патентом РФ на изобретение модернизированного узла безопасного вентилятора, принцип действия которого основывается на аэродинамических эффектах Коанда и торнадо.*

**Ключевые слова:** установка местного проветривания, установка вентиляции карьеров, предельно допустимые концентрации, безопасный вентилятор, эффект Коанда, теория вихревого движения.

Технологические процессы открытой разработки месторождений полезных ископаемых сопровождаются образованием большого количества газов, пыли, аэрозолей, которые смешиваются и при отсутствии системы вентиляции попадают в окружающую среду, в результате чего резко ухудшаются санитарно-гигиенические условия труда [1–3]. Для предотвращения загрязнения воздуха в районах размещения крупных предприятий необходимы разработка и внедрение в производство передовых методов эвакуации, локализации и очистки образующихся пыли и газов, которые бы обеспечили с большой энергетической эффективностью достижение требуемого результата [4]. Наряду с традиционными системами газоотсоса и газоочистки, основанными на применении мощных дымососов и вентиляторов, в настоящее время находят промышленное использование установки, в которых направленная циркуляция газовой среды обеспечивается путем создания зон пониженного давления за счет огибания движущимися потоками воздуха специальных аэродинамических профильных поверхностей. При этом снижается энергопотребление для выполнения транспортирующей функции

во время эвакуации газопылевых выбросов, образующихся при работе технологических агрегатов тяжелого промышленного производства (горнодобывающая и сырьевые отрасли), в том числе в области автомобилестроения, транспортных средств и т. д., где сосредоточено более трех четвертей большегрузного автотранспорта.

Разработка высокоэффективного с энергетической точки зрения оборудования является актуальной задачей в условиях рыночной экономики, а также реализации программ импортозамещения. В части потребления инженерными системами установок и устройств электрической и других видов энергии установлено, что ее доля составляет около 90 % по отношению к используемому в мире объему. Ввиду значительного удельного веса данного показателя актуальной представляется задача повышения технико-экономических показателей работы систем вентиляции месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом [5].

**Целью** данной работы является повышение технико-экономических показателей работы создаваемых конструкций установок вентиляции карьеров за счет применения в основе их принципа действия эффек-

тов Коанда и торнадо, реализующихся высокоэффективным безлопастным вентилятором в соответствии с положениями теории вихревого движения с учетом влияния скорости генерируемого потока, индуцированного замкнутым вихревым кольцом. Для повышения показателей эффективности функционирования таких отраслей промышленности, как химическая, машиностроительная, металлургическая, улучшения показателей работы комплекса очистки воздушной среды над транспортной магистралью, в тоннелях, создания благоприятного микроклимата рабочего пространства при открытой разработке мест полезных ископаемых должны быть использованы нижеприведенные результаты теоретических и экспериментальных исследований рациональных конструктивных параметров составных элементов установок вентиляции, в том числе их рабочих органов, создающих направленный воздушный поток в горизонтальной и вертикальной плоскостях выработок, с целью осуществления энергоэффективного активного подавления и удаления пылегазовых образований, аэрозолей от источников.

**Задачей** данной работы является разработка на основании достаточного объема эмпирических исследований конструкции новых установок вентиляции карьеров с минимальными временными и технико-экономическими затратами для обеспечения качественной эвакуации газопылевых выбросов от источников их образования в рабочем пространстве при проведении открытых горных работ.

**Объект исследования** — высокоэффективное технологическое оборудование, предназначенное для эвакуации, а также подавления пылегазовых образований от источника их происхождения.

**Предмет исследования** — схемотехнические решения и конструктивные параметры установок и устройств местного проветривания и вентиляции.

По данным исследователей, до 80 % полезных ископаемых в настоящее время до-

бывается открытым способом в карьерах, глубина которых достигает 500–700 м и более. При этом около 50 % годового времени работу в таких карьерах проводят в условиях нарушения воздухообмена с окружающей средой и накопления вредных примесей в образующихся застойных зонах, что в конечном счете является причиной простоя оборудования из-за невозможности нахождения обслуживающего персонала в местах с предельно допустимой концентрацией опасных веществ [1].

Для поддержания требуемого ритма функционирования карьеров и надлежащих условий работы технического персонала необходимы специальные аэрационные установки, реализующие различные способы вентиляции.

Поиск технических решений, обеспечивающих соответствующие требования охраны труда, в области местного проветривания карьеров [6] проводился по следующим классам МПК: А62В 29/00 — устройства, например установки для обезвреживания или защиты от химических отравляющих веществ; В08В 15/00 — предотвращение распространения дыма, паров, пыли и прочих продуктов загрязнения из мест, где они образуются; сбор или удаление продуктов загрязнения из мест их скопления; E21F 1/00 — вентиляция рудников или туннелей; распределение вентиляционных потоков; F24F 7/00 — вентиляция; F24F 7/04 — вентиляция с системами трубопроводов; F24F 9/00 — применение воздушных потоков для экранирования, например воздушные завесы.

При поиске были выделены следующие наиболее перспективные устройства, системы и способы, нашедшие свою техническую реализацию.

Установка для проветривания карьеров (рис. 1) [1] смонтирована на транспортном средстве 1 и состоит из пропеллерного ротора 2 с приводом 3, спрямляющего аппарата-турбулизатора 4, механизма поворота ротора 5, оросительной системы 6. Спрямляющий аппарат-турбулизатор

состоит из внутреннего кольца 7, внешнего кольца 8, лопаток 9 и механизма одновременного поворота лопаток 10.

Предприятием «НИПИГОРМАШ» (РФ, г. Екатеринбург) выпускаются [7] установки местного проветривания УМП-1Б (рис. 2), которые представляют собой самоходный вентилятор-ороситель, предназначенный для использования в карьерах, имеющих автомобильные дороги. На раме, соединенной с рамой автомобиля, установлена приводная колонка с винтом. Привод осуществляется от двигателя через карданные валы, редуктор, промежуточный карданный вал и повышающую передачу автомобиля. Поворот винта в горизонтальной и вертикальной плоскостях обеспечивается гидравлическими цилиндрами.

Водяная система с помощью насоса и вентиля обеспечивает подачу воды из цистерны в гидромонитор, поливочное устройство и форсунки, а при необходимости — и забор воды из любого водоема.

Подача воды в воздушную струю осуществляется форсунками, расположенными на верхнем ограждении. Орошение горной массы производится с помощью гидромонитора, автомобильных дорог — с помощью поливочного устройства.

Привод насоса производится через карданную передачу, коробку отбора мощности от повышающей передачи автомобиля.

Сотрудниками кафедры МОЗЧМ ГОУВПО «ДонНТУ» совместно с Старооскольским технологическим институтом им. А. А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет „МИСиС“» разработана с использованием узла безлопастного вентилятора [8] новая система проветривания карьеров (рис. 3) [1], содержащая ходовую часть 1 на базе трехосного грузового автомобиля, на раме которого смонтирована поворотная горизонтальная платформа 2 с жестко закрепленными на ней основанием 3 плоского трехзвенного рычажного механизма и воздушным компрессором 11 для подачи по гибким тру-

бопроводам 4 и 5 сжатого воздуха к системе возбуждения и формирования газозвукового потока, выполненной в виде горизонтально расположенного безлопастного вентилятора 6. Данный вентилятор шарнирно связан с конечным звеном 7 рычажного механизма, несущая балка 15 которого с возможностью поворота в вертикальной плоскости одним концом соединена с основанием 3. Относительное перемещение в пространстве балки 15 и звена 7 обеспечивается силовыми гидроцилиндрами 8 и 14. Компрессор 11 и маслосос 13, обеспечивающий работу гидроцилиндров, приводятся в действие двигателем внутреннего сгорания 12. Вентили 9 и 10 служат для регулирования расхода воздуха, поступающего к элементам безлопастного вентилятора 6.

Вентиляторные установки, представленные на рисунках 4–7, являются специальным оборудованием. Установленная мощность представленных крупных вентиляторных установок достигает 5000 кВт. Вентилятор-ороситель НК-12КВ с газовыводящим соплом на гусеничном шасси (рис. 4, а) или на базе автомобиля (рис. 4, б) предназначен для подачи в застойные зоны карьеров свежего воздуха, выноса за карьерное пространство, а также активного подавления вредных примесей воздушно-водяными струями.

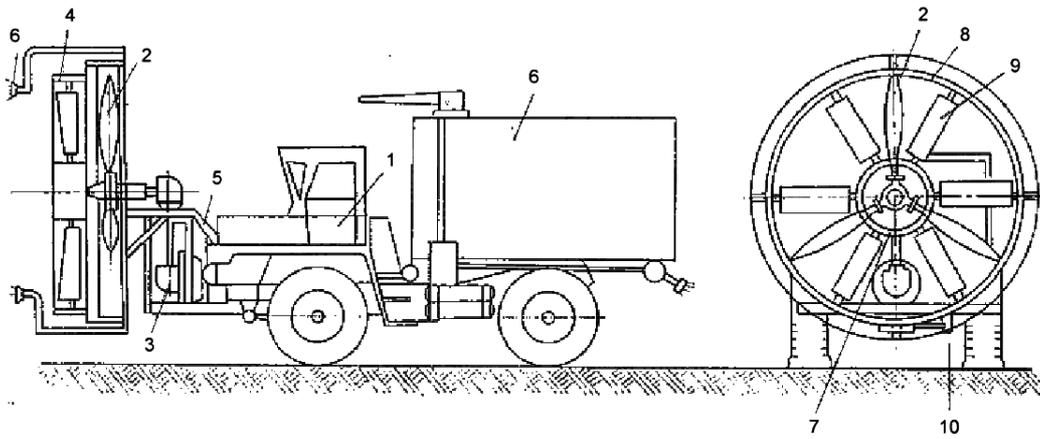
Карьерная оросительно-вентиляционная установка (рис. 8) содержит ходовую часть 1 автомобиля, формирователь потока 2, обечайку 3 с днищами 4 и 5, емкость 6 для воды, турбовинтовой двигатель 7, поворотную платформу 8, патрубок 9 скоростного воздушного напора, форсунки 10 с трубопроводом 11 для подачи воды в воздушный поток.

Вентиляционные установки (рис. 1, 2, 4) относятся к устройствам с изотермическими и неизотермическими струями, вследствие чего оборудованы оросительными системами, с помощью которых вода или активные растворы вводятся непосредственно в вентиляционный поток. При этом

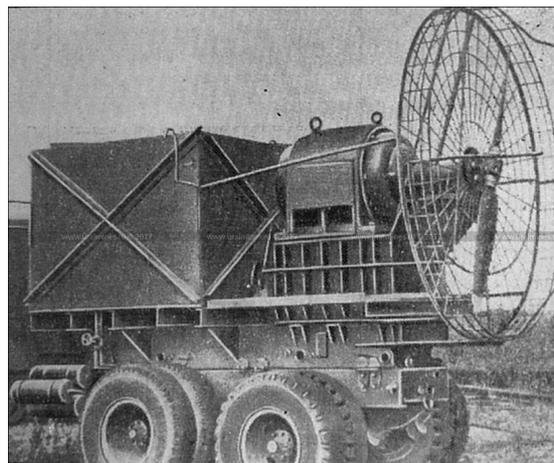
**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

следует отметить, что наиболее предпочтительными в эксплуатации с точки зрения удельных энергетических затрат являются вентиляторные установки с изотермиче-

скими струями, рациональность конструкций которых реализуется за счет применения максимально большого диаметра начального сечения (ротора).



а



б

Рисунок 1 Конструкция установки для проветривания карьеров (а) и общий вид ее модифицированной модели (б)



а



б

Рисунок 2 Общий вид УМП-1Б на марше (а) и в карьере (б)

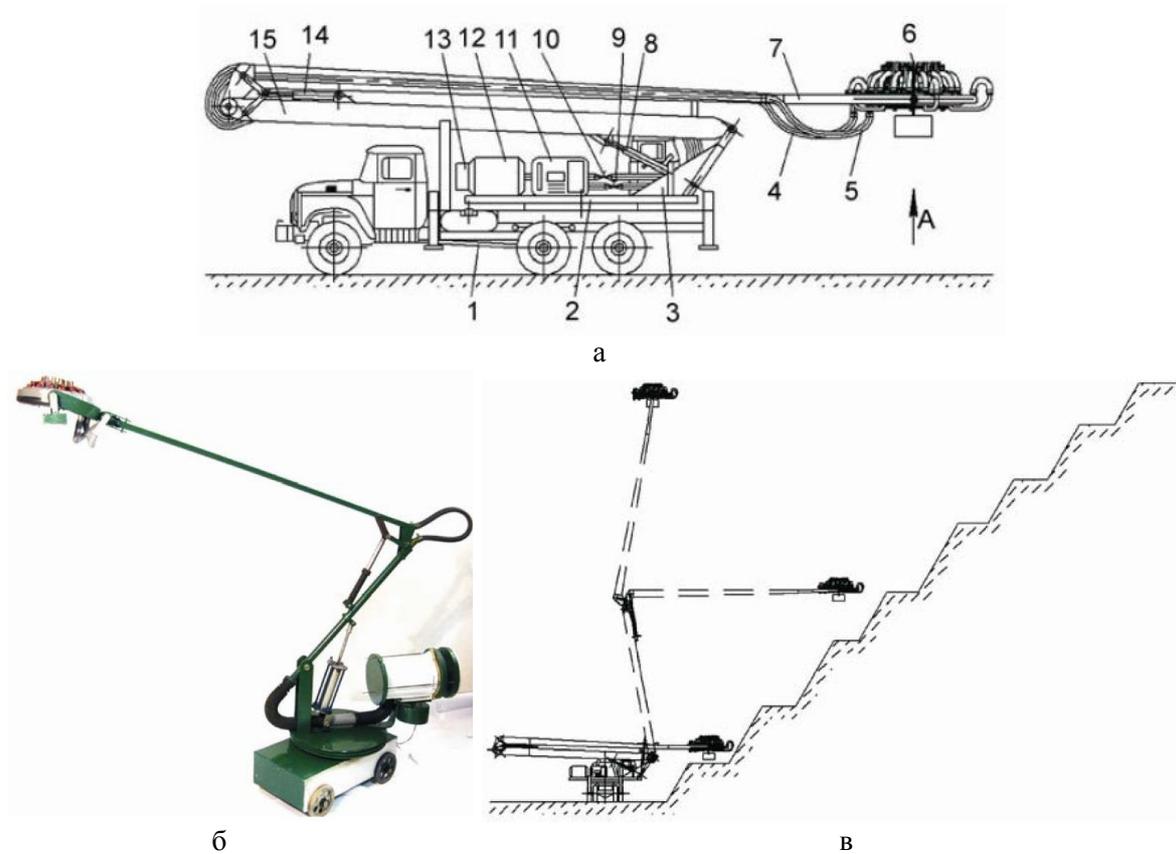


Рисунок 3 Конструкция (а), общий вид разработанной вентиляторной установки (б) и относительное положение ее элементов в рабочем положении (в)

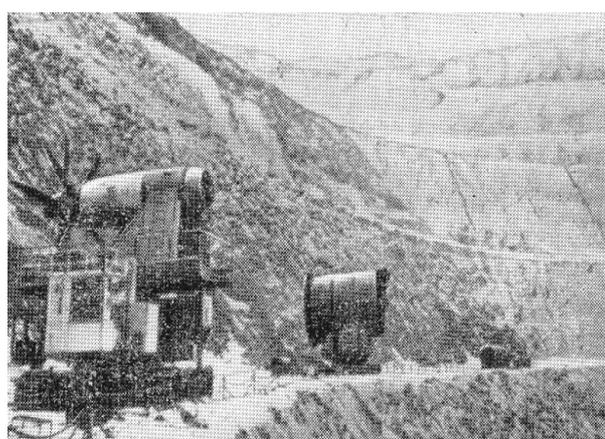


Рисунок 4 Карьерная вентиляторная установка НК-12КВ с газывыводящим соплом

Также на базе автомобиля монтируются вентиляторные установки с турбореактивным двигателем (рис. 7).

Вентиляторная установка «Метеотрон УТ-ЛФИ-2» (рис. 9) является тепловой. Ее устройство создает конвективные струи за счет сжигания в горелках, размещенных на пустотелой поворотной ферме, жидкого или газообразного топлива.

Также к тепловой установке относится газотурбинная установка УПК 60/300 (рис. 10), отличающаяся высоким (0,98) КПД.

Известные вентиляторные устройства имеют следующие характеристики: расход

воздуха —  $125...3770 \text{ м}^3/\text{с}$ ; мощность —  $220...80000 \text{ кВт}$ ; дальность струи  $\approx 1300 \text{ м}$ ; расход воздуха в конце активного участка струи  $\leq 80000 \text{ м}^3/\text{с}$ ; часовой расход топлива  $\leq 7900 \text{ кг}$ ; электрическая мощность  $\leq 1000...1200 \text{ кВт}$ .

Эффективное проветривание рабочих зон крупных карьеров (рис. 11) возможно при использовании систем вентиляции, состоящих из нескольких мощных вентиляторов, расположенных в карьерном пространстве с учетом конфигурации карьера и рельефа окружающей местности (рис. 12–15).

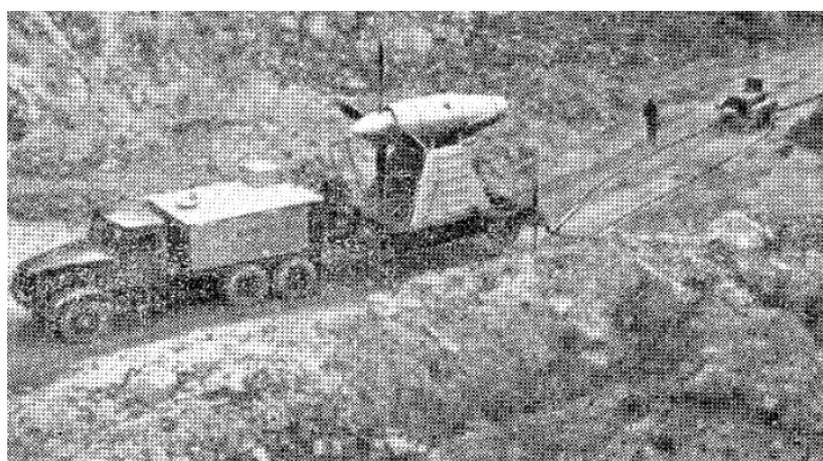
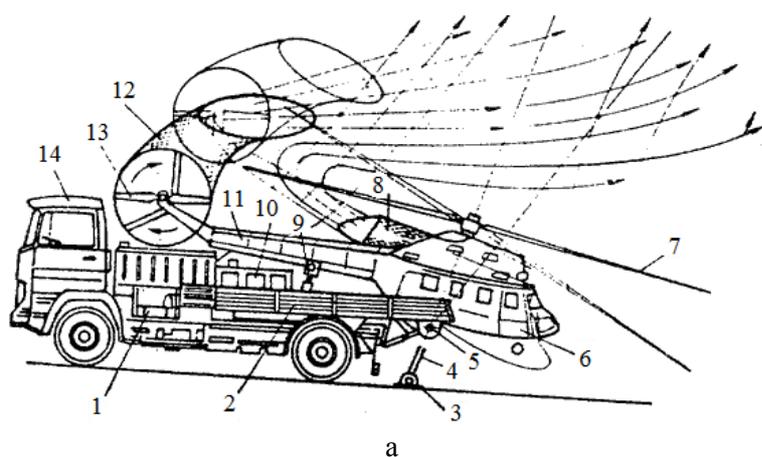
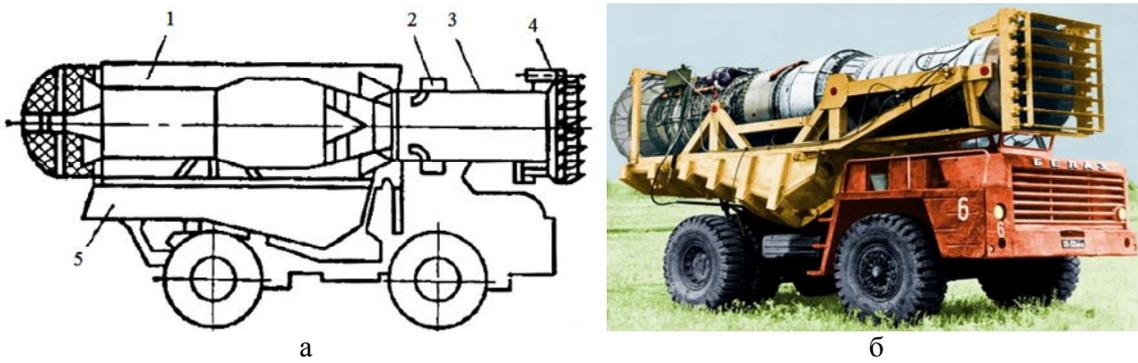


Рисунок 5 Карьерная вентиляторная установка АИ-20КВ



- а
- 1 — баки; 2 — силовая рама; 3 — опора; 4 — аутригеры; 5 — шарнир; 6 — вертолет; 7 — воздушный винт; 8 — выхлопные патрубки; 9 — гидроцилиндры; 10 — баки; 11 — хвостовая балка; 12 — вентиляционный патрубков; 13 — дополнительный винт; 14 — кабина

Рисунок 6 Конструкция (а) и общий вид вентиляторного агрегата (б) с несущими винтами вертолета



1 — двигатель; 2 — форсунка; 3 — эжекторная насадка; 4 — отклоняющее устройство; 5 — цистерна с топливом

Рисунок 7 Вентиляционная установка УВУ-1 с турбореактивным двигателем на базе автомобиля БелАЗ-540

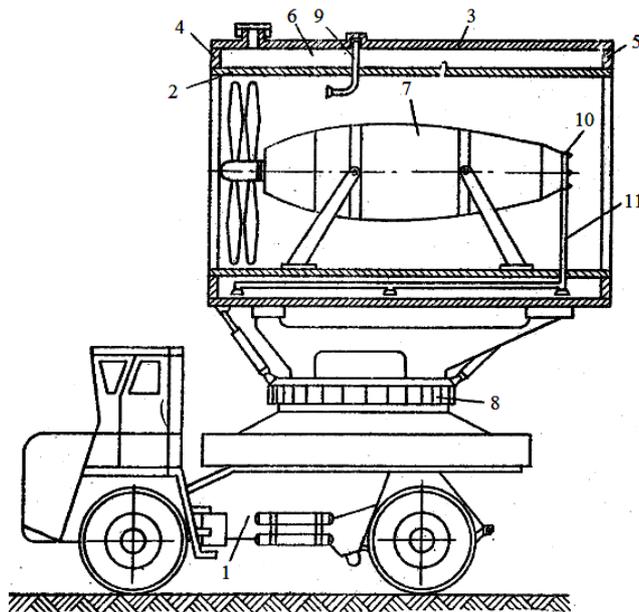


Рисунок 8 Карьерная оросительно-вентиляционная установка

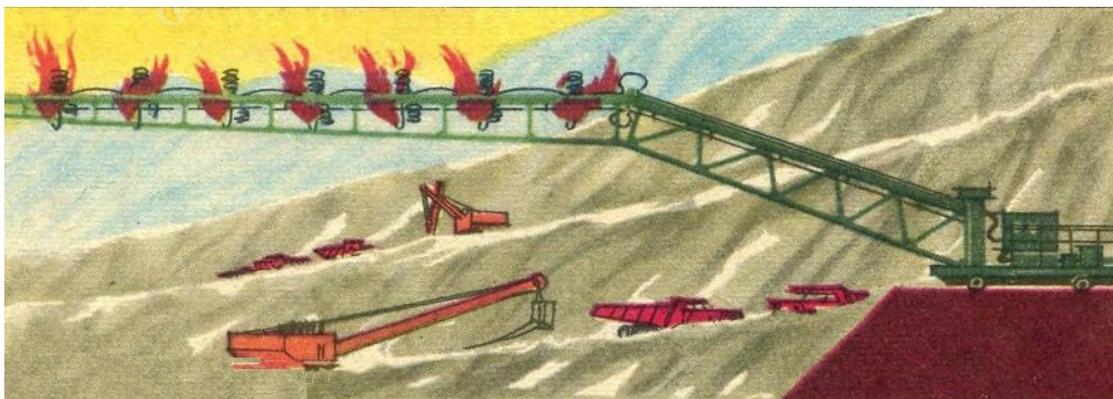


Рисунок 9 Вентиляторная установка «Метеотрон УТ-ЛФИ-2»

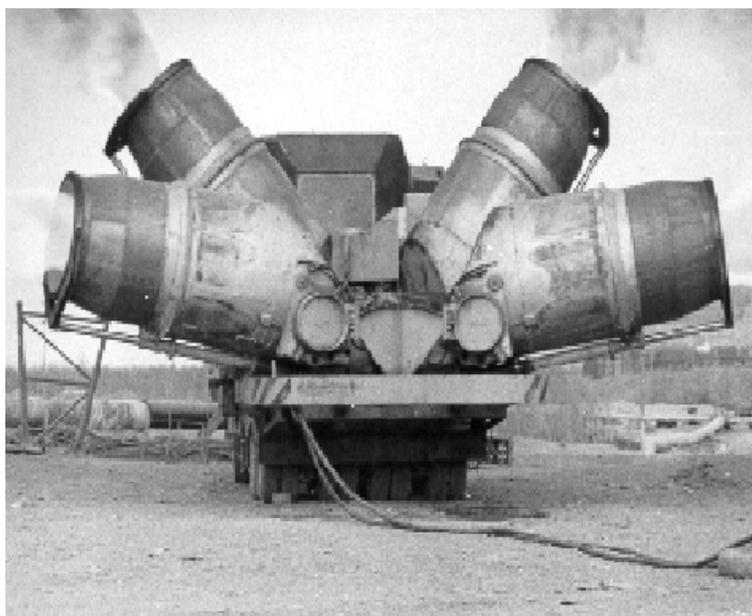


Рисунок 10 Газотурбинная установка УПК 60/300



а



б

Рисунок 11 Рабочий уступ рудника «Узельгинский» Учалинского ГОКа (а) и карьер Башкирского медно-серного комбината (б)

Ведущий замысел построения платформы рекомендуемой к разработке УВК-1 (рис. 16) должен соответствовать концепции прицепного автопоезда для размещения на раме компрессора и цистерны.

В воронкообразных карьерах с целью повышения эффективности проветривания за счет обеспечения проветривания всего карьерного пространства вентиляционные установки УВК-1 устанавливаются в объеме карьера по восходящей конической винтовой линии с углом наклона осей струй,

создаваемых вентиляционными установками, в пределах  $10\text{--}25^\circ$  к горизонту, при этом расстояние между вентиляционными установками составляет  $0,5\text{--}0,9$  величины предельной дальности, а расстояние последней вентиляционной установки от поверхности — не менее  $0,9$  ее предельной дальности.

Также получение вихревого восходящего потока может быть достигнуто за счет применения УВК-2 по способу проветривания карьеров, представленному на рисунке 17.

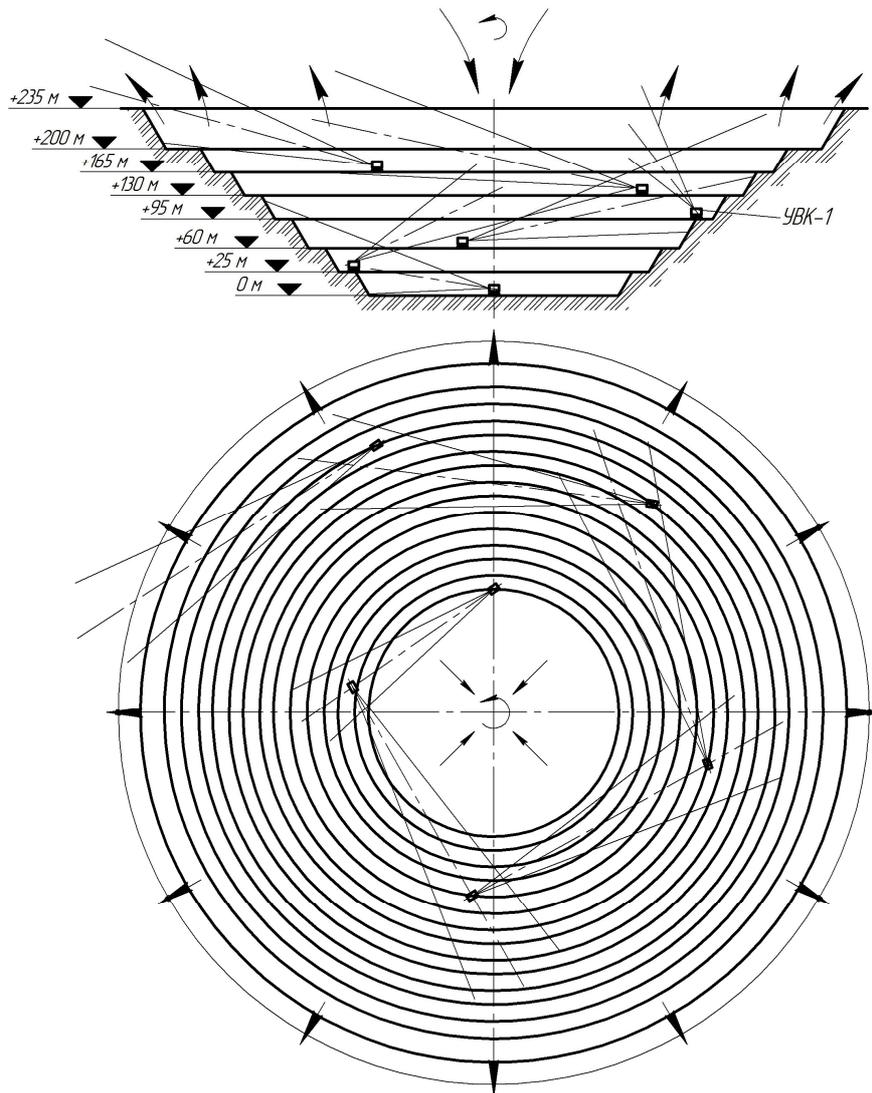


Рисунок 12 Схема вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере карьеров с применением установки вентиляции УВК-1

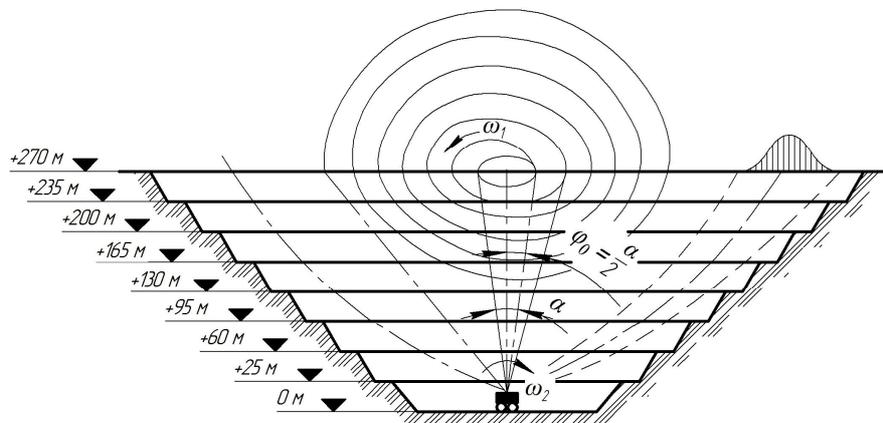


Рисунок 13 Схема вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере воронкообразных карьеров с применением установки вентиляции УВК-2

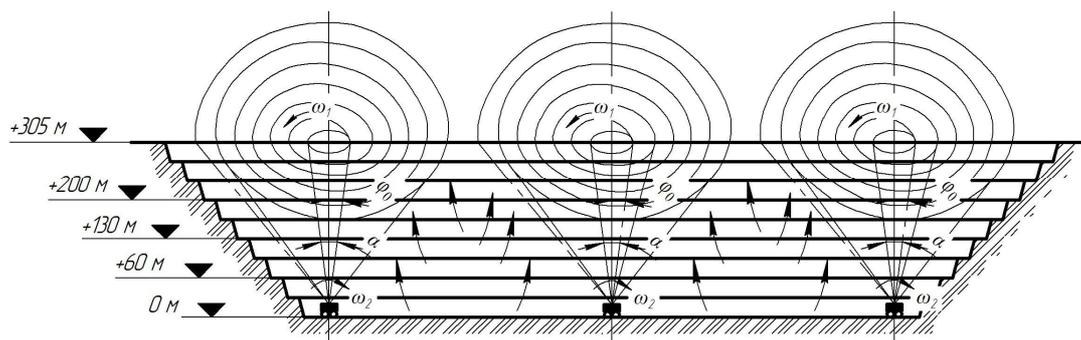


Рисунок 14 Схема вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере вытянутых карьеров с применением установки вентиляции УВК-2

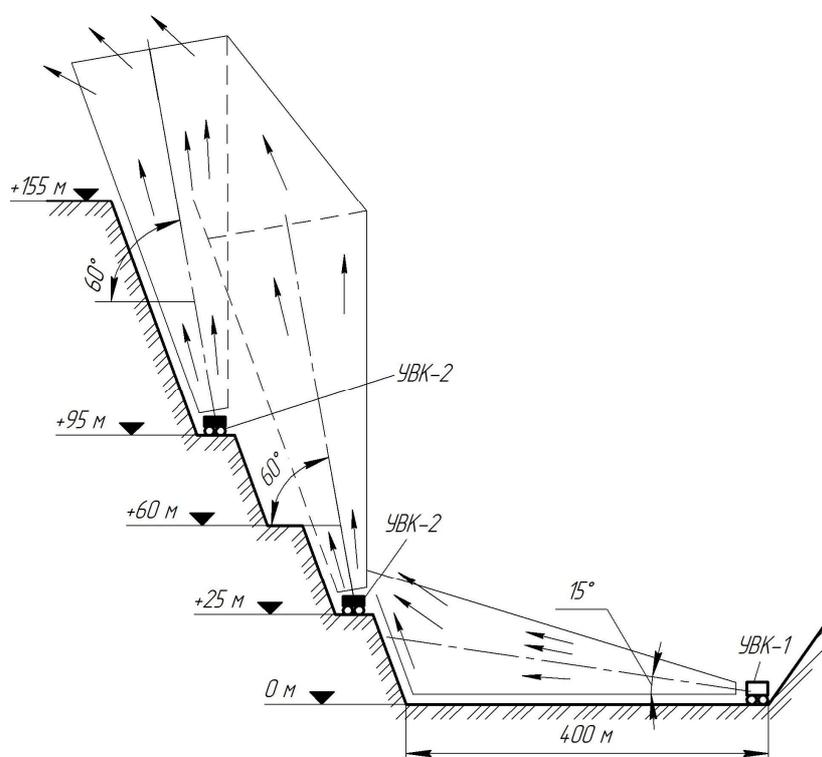
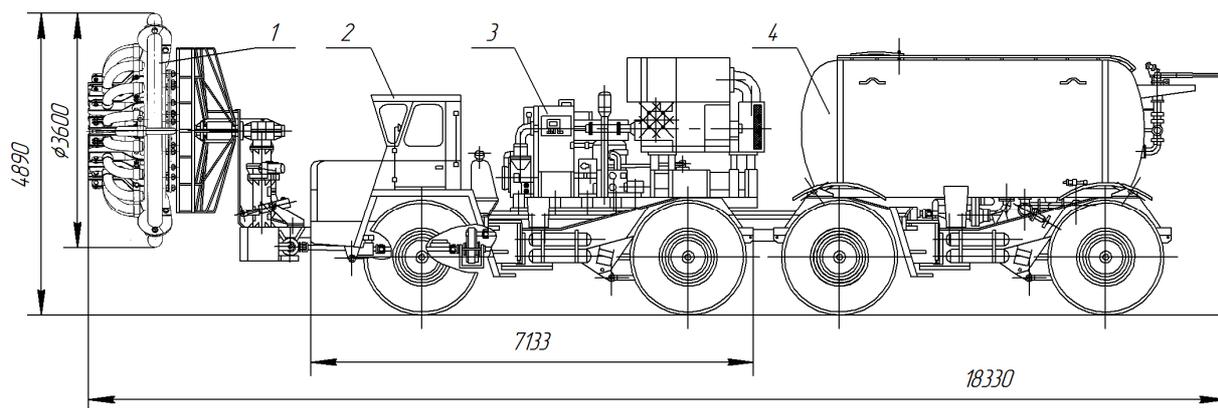


Рисунок 15 Схема вентиляции и пылегазоподавления в атмосфере карьеров с применением установок вентиляции УВК-1 и УВК-2 с объемом проветривания застойных зон размером  $20 \cdot 10^6 \text{ м}^3$

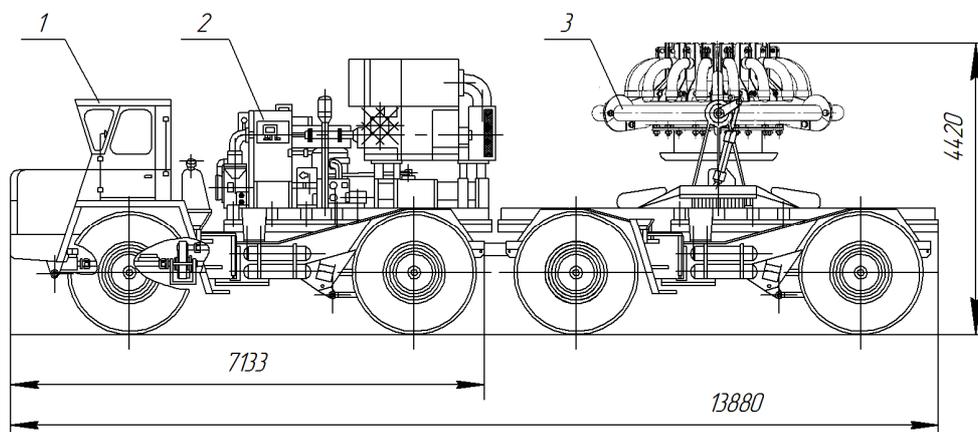
Повышение эффективности проветривания вытянутых в плане карьеров (рис. 14) может быть достигнуто следующим образом. Вихревой конус вращения образуют с углом наклона траектории оси струи  $\varphi_0$  к вертикали, равным половине полного угла раскрытия струи ( $\alpha/2$ ), затем непрерывно перемещают вентиляционную струю в вертикальной и горизонтальной плоскостях, причем по мере увеличения угла от-

клонения вентиляционной струи от вертикали к борту карьера скорость вращения струи в горизонтальной  $\omega_1$  и вертикальной  $\omega_2$  плоскостях уменьшают, а при уменьшении угла — увеличивают. При этом за один оборот струи в горизонтальной плоскости ее траекторию перемещают в вертикальной плоскости на величину полного угла раскрытия струи.



1 — узел безлопастного вентилятора; 2 — база БелАЗа 75401;  
3 — турбокомпрессор TRX180; 4 — цистерна для воды

Рисунок 16 Конструкция УВК-1 и ее основные узлы



1 — база БелАЗа 75401; 2 — турбокомпрессор TRX180; 3 — узел безлопастного вентилятора

Рисунок 17 Конструкция УВК-2

В карьерном пространстве устанавливают несколько вентиляторных установок УВК-2, струи которых перемещают в вертикальной и горизонтальной плоскостях синхронно.

Комбинированное применение установок вентиляции УВК-1 и УВК-2 для создания приточно-вытяжной вентиляции показано на рисунке 15.

Таким образом, создание высокоэффективных с энергетической точки зрения систем для локализации, удаления пылегазовых образований от источников их происхождения является актуальной задачей, которая достигается за счет огибания движущимися потоками воздуха профилей специальных конструкций. Из уровня тех-

ники известен ряд систем, реализующих активное воздействие на газовые потоки с целью обеспечения нужной траектории их движения для проведения их последующей очистки. Наибольшую эффективность имеют системы, в основе принципа действия которых лежат эффекты Коанда и торнадо, за счет чего формируются потоки воздуха особой формы с большим транспортировочным эффектом. Известными недостатками существующих систем являются нерациональность воздушных потоков, обратный ток струй, а также образование зон с их отсутствием.

За счет нового ведущего замысла построения (концепции) УВК и компоновки

их структурных элементов формируется устойчивый вихрь, позволяющий качественно локализовать распространение пылегазовых образований от источников происхождения, а также осуществить их активное подавление. Представленные результаты являются достоверными, поскольку основываются на физическом моделировании процесса эвакуации пылегазовых образований системой новой конструкции, что позволило сделать вывод о соответствии параметров полученного вихреподобного столба газов основным положениям теоретического описания вихря. Аналитические исследования в работе основывались на по-

ложениях функционально-стоимостного анализа и управления техническими системами, фундаментальных положениях механики сплошных сред, теории решения изобретательских задач.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на адаптацию конструктивной компоновки установки вентиляции карьеров к условиям работы комплексов очистки воздушной среды над транспортными магистралями и системами, снижающими в тоннелях концентрацию сильнодействующих ядовитых и отравляющих веществ до необходимого в соответствии с санитарными требованиями минимума.

### Библиографический список

1. Разработка конструкции и модельные исследования новой вентиляторной системы проветривания карьеров [Текст] / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, Е. Н. Смирнов и др. // Черная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2018. — № 1. — С. 26–32.
2. Ткачев, М. Ю. Обоснование энергосиловых параметров системы эвакуации газопылевых выбросов [Текст] / М. Ю. Ткачев // Сборник научных трудов ДонГТИ. — 2021. — № 23 (66). — С. 75–85.
3. Ткачев, М. Ю. Использование энергии вихря для повышения эффективности работы вентиляционных устройств и систем [Текст] / М. Ю. Ткачев, Е. В. Ошовская // Донбасс будущего глазами молодых ученых : материалы научно-технической конференции. — Донецк : ДонНТУ, 2017. — С. 94–98.
4. Мартьянов, В. Л. Аэрология карьеров [Текст] / В. Л. Мартьянов. — Кемерово : КузГТУ, 2012. — 103 с.
5. Битколов, Н. З. Улучшение условий труда на карьерах [Текст] / Н. З. Битколов. — М. : Недра, 1972. — 104 с.
6. Рудники Урала [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://uralmines.ru/> (по состоянию на 17.02.2022).
7. Установка местного проветривания УМП-1Б [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nipigormash.ru/> (по состоянию на 17.02.2022).
8. Пат. 2630443 Российская Федерация, МПК F24F7/00, F04D25/00, F04D29/00. Узел безопасного вентилятора для эвакуации газопылевых выбросов из промышленных агрегатов / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. А. Скляр, А. В. Сазонов, Б. И. Стародубцев, А. С. Сосонкин, О. И. Малахова : заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». — № 2016119782 ; заявл. 23.05.16 ; опубл. 07.09.17, Бюл. № 25. — 9 с. : ил.

© Ткачев М. Ю.

**Рекомендована к печати д.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТИ Вишневским Д. А., д.т.н., проф., зав. каф. АТ АДИ ДонНТУ Мищенко Н. И.**

Статья поступила в редакцию 17.02.2022.

**PhD in Engineering Tkachev M. Yu.** (*ARI of DonNTU, Gorlovka, DPR, mishel-tkachev@ya.ru*)

**DESIGN OF NEW VENTILATION TECHNOLOGIES FOR QUARRIES**

*The research is devoted to the development of a number of quarries ventilation technologies that implement the alignment of harmful and hazardous content of substances and impurities formed during blasting and loading operations to the staff health in the atmosphere of work. There has been determined a ventilation scheme in horizontal and vertical planes for dust and gas suppression in funneled and elongated quarries under unfavorable meteorological conditions.*

**Key words:** *auxiliary fan, installing of open cast ventilation, maximum concentration limit, bladeless air machine, Coanda effect, whirling theory.*