metals to fumes and contribute to transformation of noble metals to the analyzed form. The sampling intervals characterized by high contents made it possible to assess the prospects of the Olkhovsky site of the Pashiyskaya area on the western slope of the Urals as a deposit of gold.
The purpose of this study is to develop a methodology for the identification of organic matter associated with gold and assessment of the role of gold associated with organic matter in the overall balance of gold in terrigene–carbonate sediments in terms of the study site (Olkhovsky).

Keywords: terrigene–carbonate rocks, gold forms, organic matter, sapropel type, assaying, assaying and mass-spectrometry, charge, chloride, sulfide mineralization.

References

1. Cline J. S., Hofstra A. H., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carline-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models. *Society of Economic Geologists.* 2005. 100th Anniversary Volume. pp. 451–484.
2. Roberts R. J., Radtke A. S., Coats R. R. Gold-bearing deposits in north-central Nevada and southwestern Idaho. *Economic Geology.* 1971. Vol. 66. pp. 14–33.
3. Muntean J. L., Cline J. S., Simon A. C., Longo A. A. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits. *Nature Geoscience.* 2011. Vol. 4, Iss. 2. pp. 122–127.
4. Volkov A. V., Sidorov A. A. Geological–genetic model of Carline-type gold deposit. *Litosfera.* 2016. No. 6. pp. 145–165.
5. Rafailovich M. S., Dyachkov B. A. Geological–structural model of the Suzdalskoe gold deposit in the Eastern Kazakhstan. *Izvestiya Natsionalnoi Akademii Nauk Pespubliki Kazakhstan. Seriya geologii i tekhnichskikh nauk.* 2011. No. 6. pp. 45–61.
6. Murzin V. V., Sazonov V. N., Ronkin Yu. L., Model of formation of the Vorontsovskoe gold deposit in the Urals (Carline-type): New data and problems. *Litosfera.* 2010. No. 6. pp. 66–73.
7. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Kolesnikova M. K., Korolyuk V. N. Gold content of arsenopyrite at gold–sulfide deposit in the Eastern Kazakhstan. *Geologiya i geofizika.* 2011. Vol. 52, No. 2. pp. 225–242.
8. Sedykh E. M., Smetannikov A. F., Bannykh L. N., Shanina S. N. Features of finding Au, Pt and Pd in slat rocks of the Upper Kama deposit. *Geokhimiya.* 2017. No. 4. pp. 363–367.
9. Ivanov V. V., Lukashova M. V. Bushkareva K. Yu., Zemskova L. A. Studying gold–carbon systems by the method of scanning electron microscopy. *Tsvetnye Metally.* 2016. No. 7. pp. 38–42. DOI: 10.17580/tsm.2016.07.04
10. Zhao L.-C., Wang J.-G., Li X., Zhang S., Zhang Z.-F. et al. Application of inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry/mass spectrometry to phase analysis of gold in gold ores. *Chinese Journal of Analytical Chemistry.* 2018. Vol. 46, Iss. 2. pp. 1801–1809.
11. Cheuquepán W., Martínez-Olivares J., Rodes A., Orts J. M. Squaric acid adsorption and oxidation at gold and platinum electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 2018. Vol. 819. pp. 178–186.
12. Bas A. D., Ghali E., Choi Y. A review on electrochemical dissolution and passivation of gold during cyanidation in presence of sulphides and oxides. *Hydrometallurgy.* 2017. Vol. 172. pp. 30–44.
13. Carrino T. A., Crósta A. P., Toledo C. L. B., Silva A. M. Hyperspectral remote sensing applied to mineral exploration in southern Peru: A multiple data integration approach in the Chapi Chiara gold prospect. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 2018. Vol. 64. pp. 287–300.
14. Smetannikov A. F., Serebryany B. L., Krasnoshtein A. E. Method of quantitative and qualitative determination of organic noble metal compounds in different composition rocks. Patent RF No. 2354967Applied: 18.09.2007. Published: 10.05.2009. Bulletin No. 13.
15. Smetannikov A. F., Shanina S. N. Problems of diagnostic analysis and extraction of organic noble metal compounds in some rocks. *IV Russian Conference on Organic Mineralogy with International Participation.* Chernogolovka. 2013. pp. 142–145. 5.
16. Petrov S. V., Kotlyarov I. D., Katsnelson A. B., Sen M. S. Forecasting price of gold in subsoil. *Obogashchenie Rud.* 2016. No. 2. pp. 3–8. DOI: 10.17580/or.2016.02.01

УДК 621.63:622.45

ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Н. И. АЛЫМЕНКО, *ведущий научный сотрудник, проф., д-р техн. наук, nik.alymenko@yandex.ru*
А. А. КАМЕНСКИХ, *научный сотрудник, канд. техн. наук*

Горный институт УрО РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия

Рассмотрены варианты проветривания при помощи эжекторной вентиляторной установки рудников, расположенных в северо-восточной части России. Приведены полученные зависимости для определения оптимальных параметров эжекторной вентиляторной установки с разными вентиляторами. Обосновано применение эжекторной вентиляторной установки в качестве главной установки для проветривания рудников, вскрытых штольнями или стволами небольшой протяженности.

Ключевые слова: *рудник, проветривание, вентиляторная установка, ствол, аэродинамическое сопротивление, способ проветривания, труднопроветриваемые зоны.*

DOI: *10.17580/gzh.2018.06.12*

Введение

Северо-восток России включает в себя Хабаровский край, Магаданскую область и Чукотский автономный округ. На данной территории расположено значительное число рудников по добыче олова, серебра, золота и других полезных ископаемых, для проветривания которых требуются одна или несколько главных вентиляторных установок (ГВУ). Применяются различные конструкции и типы вентиляторных установок для проветривания рудника или его части (отдельных горизонтов или пластов, выработок). При эквивалентном отверстии вентиляционной сети рудника около 1 м^2 используют ГВУ, разработанные для рудников и шахт с соразмерными аэродинамическими характеристиками [1]. Однако, если сопротивление вентиляционной сети или участка сети имеет эквивалентное отверстие более 1 м^2, могут применять в качестве ГВУ вентиляторные установки эжекторного типа

© Алыменко Н. И., Каменских А. А., 2018

(ЭВУ). При малом аэродинамическом сопротивлении вентиляционной сети ЭВУ способны подать в рудник большее количество воздуха [2, 3].

Отрасль вентиляторостроения для горной промышленности в Российской Федерации в основном развивалась, опираясь на опыт проветривания угольных шахт. В прошлом производили и в настоящее время изготавливают центробежные и осевые вентиляторы, развивающие достаточные статические давление и производительность. Данный подход применим при вскрытии шахтного поля рудника вертикальными или наклонными стволами, на которые приходится значительная часть депрессии вентиляционной сети, а аэродинамическое сопротивление участков горных выработок от воздухоподающих до вентиляционных стволов несущественное и составляет от 5 до 15–20 % всей депрессии вентиляционной сети [4]. Использующие подземный способ добычи предприятия, расположенные на территории северо-востока нашей страны, имеют преимущественно штольневое вскрытие с меньшим по объему выработанным пространством, а количество воздуха, требуемое для их проветривания, существенно меньше по сравнению с глубокими рудниками.

Иногда для проветривания шахт и рудников на практике применяют вентиляторы-эжекторы, не способные обеспечить необходимое распределение воздуха по рабочим местам вентиляционной сети рудника в связи с отсутствием постоянных аэродинамических характеристик. Эжекторным вентиляторным установкам присущи преимущества вентилятора-эжектора, однако они обладают постоянными аэродинамическими характеристиками, работая в вентиляционной сети с переменным сопротивлением. ЭВУ имеет камеру смешения для эжектирующего и эжектируемого потоков воздуха, которую в комплексе с вентилятором устанавливают в подземной горной выработке (**рис. 1–3**). Однако необходимо оборудование перемычки, позволяющей предотвращать циркуляцию воздушного потока между стенками горной выработки и камерой смешения. Реверс воздушной струи обеспечивается в результате установки реверсивного вентилятора зеркально относительно рабочего со стороны диффузора камеры смешения. Таким образом, существует аэродинамическая схема ЭВУ с постоянными аэродинамическими характеристиками при работе в руднике [2, 3, 5–8].

Цель работы – определение области применения эжекторных вентиляторных установок в качестве главных установок проветривания.

Особенности проветривания рудников северо-востока России

В соответствии с правилами безопасности (ПБ) к ГВУ предъявляется ряд требований по составу, месту расположения, количеству воздуха, подаваемого в рудник в прямом и реверсивном режимах проветривания. Способ проветривания может быть нагнетательным или всасывающим [1, 9].

Для обеспечения расчетным количеством воздуха всех рабочих мест рудника в любом режиме проветривания ГВУ должны быть оснащены вентиляторными установками (осевыми или цен-

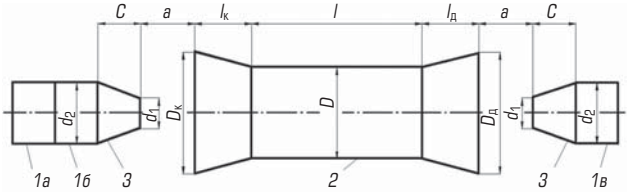

Рис. 1. Принципиальная аэродинамическая схема ЭВУ (ППВУ):
1 – вентилятор (*а* – рабочий, *б* – резервный, *в* – реверсивный); *2* – камера смешения; *3* – сопло; D, $D_к$, $D_д$ – диаметр прямоточной части камеры смешения, конфузора, диффузора соответственно; C – длина сопла вентилятора; a – расстояние от сопла до конфузора (диффузора); l, $l_к$, $l_д$ – длина прямоточной части камеры смешения, конфузора, диффузора соответственно; d_1, d_2 – диаметры сопла

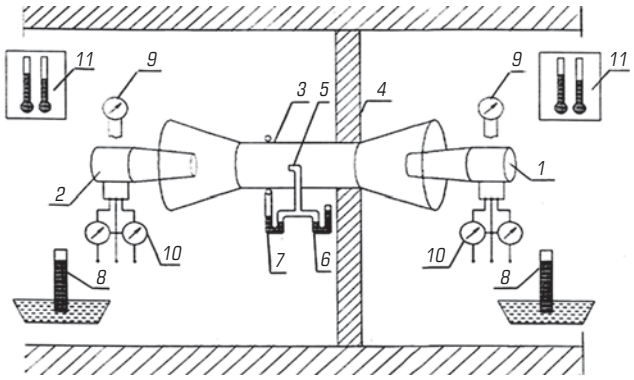

Рис. 2. Схема аэродинамических испытаний:
1 – вентилятор; *2* – реверсивный вентилятор; *3* – труба Вентури; *4* – перемычка; *5* – трубка измерения давления в трубе Вентури; *6, 7* – дифференциальный манометр; *8* – барометр; *9* – анемометр; *10* – устройство для измерения мощности; *11* – психрометр

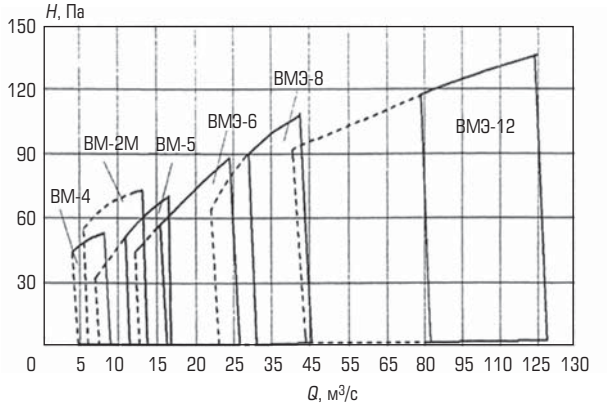

Рис. 3. Поля вентиляционных режимов при использовании аэродинамических схем ЭВУ с вентиляторами местного проветривания

тробежными) с соответствующими аэродинамическими характеристиками. Области промышленного использования вентиляторов ограничены аэродинамическими характеристиками и изолинией КПД 0,6, рабочий режим вентиляторов не должен выходить за эти пределы.

В настоящее время для перераспределения воздуха в труднопроветриваемых зонах (ТПЗ) на калийных рудниках используется передвижная подземная вентиляторная установка (ППВУ) типа ЭВУ [5, 10, 11]. В «Указаниях по проветриванию нагорных рудников месторождения «Многовершинное» отмечено, что «ППВУ предназначена для перераспределения воздуха в участках вентиляционных сетей рудников, тоннелей и метрополитенов с эквивалентным отверстием свыше 2 м^2». ППВУ применяют для перераспределения воздуха в участках вентиляционных сетей калийных рудников Верхнекамского месторождения. Такие установки могут быть смонтированы в руднике в связи с тем, что не требуют значительных затрат на строительство здания, вентиляционных каналов, ляд переключения. Реверсия вентиляционной струи реализуется за счет установки реверсивного вентилятора зеркально рабочему. Испытания ЭВУ по аэродинамической схеме проведены с вентиляторами ВМ-4, ВМ-5, ВМЭ-6, ВМЭ-8 и ВМЭ-12.

Обсуждение результатов

Контроль за параметрами работы ЭВУ осуществляется с помощью приборов, аналогичных устанавливаемым на ГВУ, или посредством другой контрольно-измерительной аппаратуры, разрешенной для этих целей в установленном порядке [12].

Первоначально необходимо решить вопрос о месте установки ЭВУ в вентиляционной сети. С учетом федеральных норм и правил ГВУ должна быть расположена на поверхности земли у устья герметически закрытых шахт, штолен или под землей. Результаты расчетов на математических моделях вентиляционных сетей рудников не всегда подтверждают необходимость установки ГВУ на поверхности. В мировой практике встречается размещение ГВУ под землей, что по результатам расчетов и опыта ее эксплуатации в некоторых случаях является более экономичным и надежным средством проветривания подземных горных выработок. Первая ГВУ на руднике СКРУ-1 была установлена под землей, и утечки воздуха в районе были меньше, чем на ГВУ, которая позднее была построена на поверхности по истечении срока эксплуатации подземной ГВУ. Таким образом, ЭВУ, исполняющие роль ГВУ, могут быть установлены как в подземных горных выработках, так и на земной поверхности. При установке ЭВУ под землей возможно ее расположение в оптимальном месте с точки зрения распределения воздуха в руднике. Для рудников с расходом воздуха 11–121 м^3/с можно изготавливать легкоперемещаемую ЭВУ либо разбираемую на мобильные узлы, что позволит при закрытии рудника оборудовать ее в другом месте эксплуатации. На руднике «Дукат» были проведены исследования ЭВУ в качестве ГВУ, при этом изменяли места ее установки и использовали как нагнетательный, так и всасывающий способ проветривания. Для ЭВУ могут применяться осевые и центробежные вентиляторы любого типоразмера, выбор которых осуществляется на основании аэродинамических характеристик вентиляционной сети рудника и потребного для его проветривания количества воздуха.

На основании результатов анализа эффективности проветривания некоторых подземных горных предприятий Магаданской области и Республики Саха (Якутия), обслуживаемых ФГУП «ВГСЧ «Северо-Востока», отмечено, что многие рудники можно проветривать с помощью ЭВУ. На горном предприятии «Дукат» ЭВУ введена в эксплуатацию в 2002 г. Первоначально она была установлена на расстоянии 530 м от устья рудного штрека на гор. +980 м. Этот штрек являлся основной выработкой, по которой поступал свежий воздух, и одновременно был выработкой воздухоподготовки. По мере отработки шахтного поля потребовалось переместить ЭВУ в другие точки вентиляционной сети и расположить ее под землей в 15 м от устья штольни № 9. ЭВУ была запроектирована, согласована и введена в эксплуатацию с вентилятором ВМЭ-12АУ5. Она обеспечивала поступление в рудник 65–157,4 м^3/с при развиваемом статическом давлении 51–150 Па. Регулирование производительности осуществляли сменой рабочих колес вентилятора с углами установки лопаток рабочих колес 15, 25, 35° и изменением расстояния между входным сечением в камеру смешения и выходным сечением сопла вентилятора. Реверсирование воздушной струи выполняли вентилятором ВМЭ-12АУ5, который располагали зеркально рабочему относительно камеры смешения. Производительность при реверсии составляла практически 100 % относительно прямого режима проветривания. Спустя несколько лет на руднике была введена в эксплуатацию еще одна ЭВУ. В результате этого было установлено, что рудник можно проветривать как всасывающим, так и нагнетательным способом. Каждый способ имеет свои преимущества в зависимости от влияния естественной тяги на проветривание в разные периоды года [13].

В настоящее время в эксплуатации находится существенное число нагорных рудников малой производительности с эквивалентным отверстием вентиляционной сети значительно более 2 м^2. Эти рудники преимущественно имеют штольневое вскрытие, у них нет воздухоподающих и вентиляционных стволов, а ГВУ развивают небольшие давления, что приводит к работе в области низких значений КПД. Срок службы ГВУ на таких горных предприятиях бывает больше срока эксплуатации самого рудника. Это связано с существенными затратами (в частности, в условиях северо-востока России) ввиду того, что ГВУ на таких рудниках работают в зонах низких давлений, подавая в рудник расчетное количество воздуха.

Результатом промышленных испытаний ЭВУ на рудниках СКРУ-2 ОАО «Сильвинит», «Многовершинный», «Дукат», ОАО «Каральвеем» и модельных испытаний, которые были выполнены в ГосНИЦ ЦАГИ им. Н. Е. Жуковского [5], явились полученные зависимости для определения оптимальных параметров ЭВУ с разными типами вентиляторов (см. рис. 1):

$$D/d_2 = 1{,}5;\ d_1/d_2 = 2;\ D/d_1 = 3;\ l_к = l_д = 1{,}31D;$$
$$(a + l_к)/D = 2;\ l/D = 3{,}33.$$

Во время проведении испытаний в ЭВУ были использованы вентиляторы местного проветривания, которые выпускаются серийно в нашей стране.

На руднике «Многовершинный», находящемся на севере Хабаровского края, была проведена научно-исследовательская работа, испытаны и внедрены подземные передвижные установки эжекторного типа для проветривания отдельных рудных тел и рудника. В то же время были проведены испытания в параллельном режиме работы ЭВУ при размещении в разных горных выработках, которые проветривали рудные тела «Южное» и «Промежуточное». Альтернативой ГВУ с вентилятором ВОД-16 были две ЭВУ суммарной производительностью 58,7 м^3/с при статическом давлении 130 Па. ЭВУ в качестве ГВУ была реализована в 2002 г. на руднике «Дукат» ЗАО «Серебро Магадана».

Заключение

Таким образом, ЭВУ можно использовать для проветривания в качестве ГВУ. Необходимая (расчетная) производительность обеспечивается типоразмером применяемого в ЭВУ вентилятора. Исходя из конструктивных особенностей аэродинамических схем ЭВУ и простоты изготовления камер смешения, ЭВУ легко перемещаются на новое место и располагаются в оптимальной точке вентиляционной сети. Данные обстоятельства особенно важны в фазе строительства и введения в эксплуатацию новых рудников.

Анализ режимов работы рудников, территориально расположенных на северо-востоке Российской Федерации (Хабаровский край, Магаданская область и Чукотка), свидетельствует о том, что ЭВУ могут проветривать многие рудники и могут быть использованы для перераспределения воздуха в пределах участков вентиляционной сети. В настоящее время ЭВУ постоянно совершенствуется, в результате чего разработчиками было получено 11 патентов Российской Федерации.

Библиографический список

См. англ. блок. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 6, pp. 56–59
DOI: 10.17580/gzh.2018.06.12

Main ventilation fan selection for mines in the northeast of Russia

Information about authors
N. I. Alymenko[1], Leading Researcher, Professor, Doctor of Engineering Sciences, nik.alymenko@yandex.ru
A. A. Kamenskikh[1], Researcher, Candidate of Engineering Sciences
[1] Mining Institute, Perm Federal Research Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract
In order to ensure design air supply of all working places in any ventilation mode in mines, main ventilation installation should be equipped with fans (axial or centrifugal) with sufficient aerodynamic characteristics. The range of industrial use of fans is limited by aerodynamic characteristics and 0.6 efficiency line, and performance of fans should not go beyond this range.
The article considers variants of ventilation using ejector fan installation in mines in the the Magadan Region, Chukotka Autonomous Okrug and Khabarovsk Territory. The mode and capabilities of this installation are described. Based on research findings, serviceability of the ejector fan installation as an auxiliary and main ventilation system is discussed. The main results of operation of the ejector fan plant as the main ventilation installation in the Dukat and Mnogovershinny mines are presented. The design and aerodynamic scheme of the ejector fan installation with constant aerodynamic characteristics is considered. The obtained dependences are presented to determine the optimal parameters of the ejector fan installation with different fans are given, and its applicability as a main mine ventilation system in mines accessed by adits and short shafts is substantiated. The variants of the ejector fan installation location on ground surface and in underground mine are discussed. The article shows that the mines in the northeast of Russia are, basically, accessed by adits, small in size and need much less air supply as compared with deep mines.

Keywords: mine, ventilation, fan installations, shaft, aerodynamic drag, ventilation method, difficult ventilation zones.

References

1. Bratchenko B. F. (Ed.) Stationary Mine Installations. Moscow : Nedra. 1977. 439 p.
2. Alymenko N. I., Minin V. V. Ventilation Fans and Application. Yekaterinburg : UrO RAN. 1999. 223 p.
3. Gendler S. G. The justification of new technique ventilation at contraction of working with two exits in soil surface. *Eurasian Mining.* 2016. No. 2. pp. 41–44. DOI: 10.17580/em.2016.02.10
4. Medvedev I. I., Krasnoshtein A. E. Aerology of Potash Mines. Sverdlovsk : UrO AN USSR, 1990. 251 p.
5. Alymenko N. I., Kamenskikh A. A., Nikolaev A. V., Petrov A. I. Ejector fan installations used in mines of Russia. *Advances in Engineering Research.* 2017. Vol. 133. pp. 54–60.
6. Čantrak Đ. S., Damjanović V. M. Z. Č., Janković N. Z. Study of the turbulent swirl flow in the pipe behind the axial fan impeller. *Mechanics and Industry.* 2016. Vol. 17, No. 4.
7. Du S., Tang R., Tang Z. Experimental Study on Aerodynamic Characteristics of Fanwing. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics.* 2017. Vol. 49(3). pp. 403–410.
8. Cheng J., Wu Y., Xu H., Liu J., Yang Y. et al. Comprehensive and Integrated Mine Ventilation Consultation Model–CIMVCM. *Tunneling and Underground Space Technology.* 2015. Vol. 45. pp. 166–180.
9. Mine Ventilation: Handbook. K. Z. Ushakov (Ed.). Moscow : Nedra. 1988. 440 p.
10. Levin L. Yu. Energy-saving in mine ventilation systems. *Strategies and Processes of Georesources Development : Collection of Scientific Papers.* Perm : GI UrO RAN. 2015. Iss. 13. pp. 254–256.
11. Bachurin B. A., Borisov A. A. Up-to-date gas-geochemical technologies for control of technogenesis processes during exploration of resources at Verkhnekamsky region. *Eurasian Mining.* 2013. No. 2. pp. 42–45.
12. Klyukin Yu. A. Microclimate normalization system for underground working zones. *Strategies and Processes of Georesources Development: Collection of Scientific Papers.* Perm : GI UrO RAN. 2015. Iss. 13. pp. 270–272.
13. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. The choice of the main fan installation. *Current Problems of Enhancing Efficiency and Safety of Underground Mining and Oil Field Equipment : II International Scientific and Practical Conference Proceedings.* Perm : PNIPU. 2015. Vol. 1. pp. 190–199.