

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.10

УДК 622.276.05:[697.975+697.382

© Николаев А.В., 2014

### ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В НЕГЛУБОКИХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**А.В. Николаев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

Для предотвращения процесса выпадения конденсата в неглубоких подземных выработках горнодобывающих предприятий применяется система кондиционирования воздуха (СКВ). На работу применяемых в настоящее время СКВ затрачиваются колоссальные объемы электроэнергии, в связи с чем многие предприятия отказываются от их применения. Однако при отсутствии СКВ возникают проблемы, связанные с выпадением влаги. Особую опасность данная агрессивная среда представляет для электрооборудования, а также для взрывозащищенного оборудования. Приводится вариант размещения СКВ, при котором между стволами подземного горнодобывающего предприятия будет возникать положительная общерудничная (общешахтная) естественная тяга, вызванная конвективным теплообменом. Данное явление связано с тем, что более теплый (более легкий) воздух стремится подняться вверх, а более холодный – опуститься вниз. При этом в подземную часть горнодобывающего предприятия подается объем воздуха в количестве больше, чем требуется для нормального режима работы. В этом случае режим работы главной вентиляторной установки можно будет перевести в область более низких давлений, снизив тем самым потребляемую электроэнергию. Сэкономленная электрическая энергия может использоваться для работы СКВ. В этом случае значительно увеличивается энергетическая эффективность воздухоподготовки, а также устраняются проблемы, связанные с выпадением влаги в подземной части горнодобывающего предприятия.

**Ключевые слова:** система кондиционирования воздуха, энергетическая эффективность, испаритель, конденсатор, главная вентиляторная установка, общерудничная (общешахтная) естественная тяга, воздухоподводящий ствол.

### CONCEPT OF AIR CONDITIONING SYSTEMS IN SHALLOW UNDERGROUND MINING WORKINGS

**A.V. Nikolaev**

Perm National Research  
Polytechnic University, Perm, Russian Federation

To prevent the process of condensation in shallow underground workings, mining companies implement the air conditioning system (ACS). The existing ACS consume enormous amounts of electricity, hence many businesses refuse to apply them. However, without ACS problems with moisture precipitation occur. This aggressive medium is particularly dangerous for an electric equipment, as well as explosion-resistant equipment. The paper outlines a concept of the ACS design based on positive overall natural draft between two mine shafts, generated by heat convection. This phenomenon is due to the fact that a warmer (lighter) air tends to lift up while a cooler to go down. In doing so, air is fed to the underground part of a mining enterprise in amounts exceeding standard requirements. Such a design allows switching an operation mode of the main fan to lower pressures, thus reducing energy consumption. The saved electric energy can be used to power ACS. In this layout energy efficiency of air handling increases considerably, while problems of moisture precipitation in the underground mine space are solved.

**Keywords:** air conditioning system, energy efficiency, evaporator, condenser, main fan, overall natural draft, intake shaft.

## Введение

В теплое время года в шахтных сетях, расположенных на относительно небольшой глубине (до 400–500 м), подземных горных предприятий происходит конденсация влаги (водяного пара) на стенках горного массива в результате охлаждения поступающего в шахту (рудник) воздуха. Процесс теплообмена, вызывающий выпадение конденсата, связан с тем, что температура горных пород на данной глубине составляет порядка 8–11 °С и в течение года остается практически неизменной, а поступающий в процессе проветривания воздух нагреет до более высокой температуры.

Особенно данная проблема актуальна для соляных (например, калийных) рудников, в которых влага, выпадающая в большом количестве, образует агрессивную среду, оказывающую разрушающее воздействие на горное оборудование, транспорт, ведет к затоплению выработок и вызывает пробуксовку конвейерной ленты на приводных барабанах. В результате износа электрооборудования (автоматических выключателей, пускателей, трансформаторов и т.д.) в руднике создается опасная ситуация. Кроме того, ввиду повышенной гигроскопичности горных пород, в результате выпадения влаги, значительно снижается несущая способность целиков. Предотвратить подобную ситуацию возможно, если подаваемый в рудник воздух охлаждать до температуры, при которой происходит его осушение. Для этой цели необходимо оборудовать горнодобывающее предприятие системой кондиционирования воздуха (СКВ). Однако в этом случае возникает проблема, связанная с тем, что на работу СКВ требуются значительные затраты электроэнергии. Поэтому особо значимой задачей является применение технологий, позволяющих повысить энергоэффективность работы СКВ.

## Варианты расположения системы кондиционирования воздуха

В зависимости от глубины подземного горнодобывающего предприятия применяются различные варианты расположения СКВ:

1. Поверхностные СКВ. Данный вариант расположения эффективен только при небольшой (порядка 500 м) глубине шахты (рудника). Связано это с тем, что при поступлении воздуха в воздухоподающий ствол происходит его нагрев вследствие возрастающего барометрического давления. При данной глубине, как было указано выше, температура горных пород составляет порядка 8–11 °С. Следовательно, воздух в горных выработках будет вновь охлаждаться. При этом будут соблюдаться условия по тепловому режиму для осуществления работ. Если в СКВ воздух был охлажден до температуры, при которой происходит его осушение, влага на стенках горных выработок выпадать не будет.

2. Подземные СКВ. Подобный вариант расположения в нашей стране [1] и в мире [2, 3] применяется в основном в глубоких шахтах и рудниках. Для этой цели используются передвижные подземные СКВ, устанавливаемые непосредственно в горных выработках, в которых ведутся работы. На неглубоких подземных горнодобывающих предприятиях данные установки не применяются.

С целью экономии энергетических ресурсов, при осуществлении воздухоподготовки в теплое время года, разрабатывались различные способы охлаждения воздуха: охлаждение воздуха льдом [1, 4], применение геотермальных насосов<sup>1</sup> [5], пропускание воздуха через вы-

<sup>1</sup> Пат. 2476798 Рос Федерация: МПК F28C 1/00, F24F 9/00. Теплообменное устройство для охлаждения шахтной вентиляционной струи / Закиров Д.Г., Боринских И.И., Закиров Г.Д., Мухамедшин М.А., Гуляев В.Э., Кузнецов С.А.; заявитель и патентообладатель УРАН «Горный институт УрО РАН». № 2011119716/06; завл. 16.05.2011; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6.

равнивающие каналы [6] и т.д. Однако для условий неглубоких шахт и рудников (особенно соляных) не все вышеприведенные способы применимы, а ряд из них имеют малый КПД и, следовательно, затрачивают значительное количество электроэнергии на свою работу.

В связи с этим с целью повышения энергетической эффективности воздухоподготовки для неглубоких подземных горнодобывающих предприятий в патенте<sup>2</sup> и работах [7] было предложено использовать подземно-поверхностную СКВ.

### **Описание предлагаемой системы кондиционирования воздуха**

В шахту (рудник) по воздухоподающим стволам за счет разрежения, создаваемого главной вентиляторной установкой (ГВУ), поступает наружный воздух. После проветривания всех рабочих зон подземной части горнодобывающего предприятия воздух выдается через вентиляционный ствол и канал ГВУ на поверхность (рис. 1).

Охлаждаемый воздух за счет общешахтной депрессии, создаваемой ГВУ, а также за счет работы нагнетательных вентиляторов поступает в теплообменники испарителя (часть СКВ, предназначенная для охлаждения воздуха), расположенного на воздухоподающем стволе № 1, где он охлаждается, и через калориферный канал после смешения с воздухом, подсасываемым через надшахтное здание, поступает в ствол.

Хладопроизводительность испарителя должна быть такой, чтобы температура и влагосодержание воздуха, поступающего в воздухоподающий ствол № 1, после смешения охлажденного и наружного потоков воздуха поддерживались на уровне,

при котором влага в шахте (руднике) выпадать не будет либо будет выпадать в значительно меньшем объеме. Охлажденный воздух поступает в околоствольный двор воздухоподающего ствола № 1, где он за счет барометрического давления, создаваемого столбом воздуха в стволе, нагревается. Следуя по горным выработкам подземной части горнодобывающего предприятия, воздух вновь охлаждается до температуры горных пород. В связи с тем, что воздух в испарителе поверхностной СКВ охлаждается до температуры, при которой происходит его осушение, влага в шахте (руднике) выпадать не будет либо будет выпадать в значительно меньшем объеме.

В воздухоподающий ствол № 2 охлаждаемый воздух поступает через здание калориферной установки, теплообменники которой в теплое время года отключены, по калориферному каналу и через надшахтное здание. Далее охлаждаемый воздух поступает в испаритель подземной СКВ, который располагается в околоствольном дворе воздухоподающего ствола № 2. В испарителе подземной СКВ воздух охлаждается и поступает в подземную часть горнодобывающего предприятия.

В настоящее время наиболее эффективными в охлаждении большого объема воздуха являются парокомпрессорные холодильные установки [1, 4, 8]. Они представляют собой комплекс основных и вспомогательных функциональных блоков, объединенных в единую систему трубопроводами, запорно-регулирующей арматурой, средствами контроля, защиты и управления. Общий вид парокомпрессорной холодильной установки приведен на рис. 2.

В испарителе хладоноситель кипит за счет тепла, отнимаемого от охлаждаемого воздуха. Далее по трубопроводу хладоноситель в газообразном состоянии поступает в компрессор конденсатора СКВ, где он сжимается. Сжатие сопровождается соответствующим повышением температуры. В теплообменниках конден-

<sup>2</sup> Пат. 140553 Рос. Федерация: МПК E21F1/00. Система проветривания неглубокого рудника / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». № 2013154241/03; заявл. 05.12.2013; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13.

сатора хладоноситель охлаждается до температуры насыщения и, конденсируясь, переходит в жидкое состояние. Тепло нагрева и конденсации отводится охлаждающей средой за счет охлаждающих вентиляторов. Для регулирования давления хладоносителя в трубопроводе предназначен регулирующий вентиль.

При изменении положения регулирующего вентиля меняется величина давления хладоносителя в трубопроводе, тем самым регулируется хладопроизводительность СКВ. Однако предпочтительным способом изменения давления хладоносителя в трубопроводе является регулирование работы компрессора.

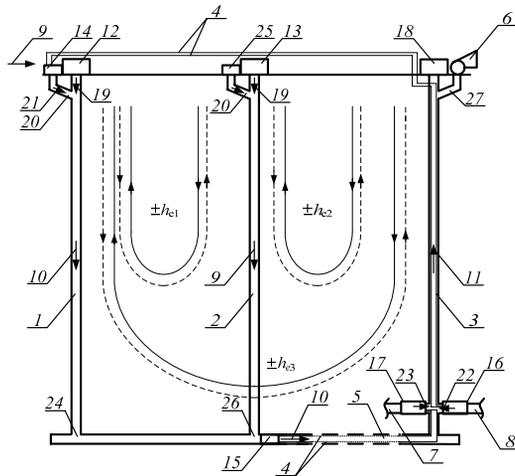


Рис. 1. Схема расположения СКВ (при двух воздухоподающих и одном вентиляционном стволах): 1 – воздухоподающий ствол № 1; 2 – воздухоподающий ствол № 2; 3 – вентиляционный ствол; 4 – трубопровод с хладоносителем; 5 – подземная часть рудника; 6 – ГВУ; 7 – 1-я главная вентиляционная выработка, подходящая к вентиляционному стволу 3; 8 – 2-я главная вентиляционная выработка, подходящая к вентиляционному стволу 3; 9 – охлаждаемый воздух; 10 – охлажденный воздух; 11 – исходящая струя воздуха; 12 – надшахтное здание воздухоподающего ствола № 1; 13 – надшахтное здание воздухоподающего ствола № 2; 14 – испаритель надшахтного СКВ; 15 – испаритель подземной СКВ; 16 – конденсатор поверхностной СКВ; 17 – конденсатор подземной СКВ; 18 – надшахтное здание вентиляционного ствола; 19 – наружный воздух, подсасываемый через надшахтное здание; 20 – caloriferный канал; 21 – воздух, охлажденный в поверхностной СКВ; 22 – воздух, нагретый в конденсаторе 16; 23 – воздух, нагретый в конденсаторе 17; 24 – околоствольный двор воздухоподающего ствола № 1; 25 – здание caloriferной установки; 26 – околоствольный двор воздухоподающего ствола № 2; 27 – канал ГВУ

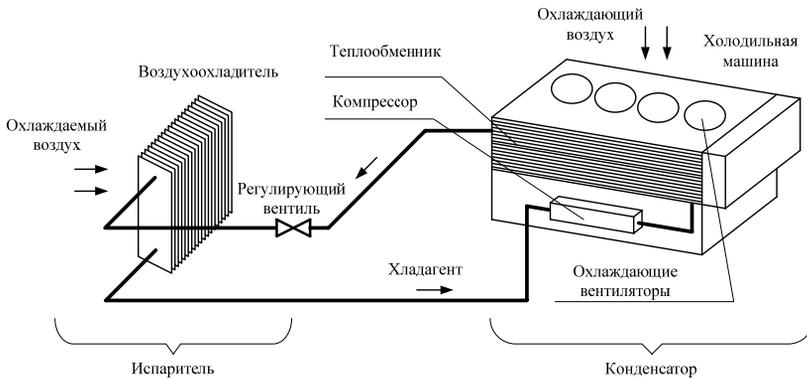


Рис. 2. Структурная схема парокомпрессорной холодильной установки

Авторами<sup>3</sup> предлагается теплый воздух, нагретый в конденсаторе подземной СКВ, выбрасывать в исходящую по вентиляционному стволу струю воздуха, повышая ее температуру.

В случае небольшой глубины подземного горнодобывающего предприятия (до 500 м) в одной из главных вентиляционных выработок, подходящих к вентиляционному стволу, может быть размещен конденсатор поверхностной СКВ, который будет «выбрасывать» в вентиляционный ствол нагретый в процессе работы конденсатора поверхностной СКВ поток воздуха.

### **Энергетическая эффективность применения подземно-поверхностной СКВ**

При проветривании рудника (шахты) между его стволами действуют тепловые депрессии (естественные тяги)  $h_{ei}$  (см. рис. 2), возникающие вследствие конвективного теплообмена, т.е. когда более теплый (более легкий) воздух стремится подняться вверх, а более холодный (более тяжелый) – опуститься вниз. Возникающие между сообщающимися стволами тепловые депрессии вызывают перепад гидростатических давлений в них, препятствуя либо способствуя движению воздуха. Совместное действие тепловых депрессий образует результирующую – общерудничную (общешахтную) естественную тягу ( $h_e$ ), которая оказывает влияние на работу ГВУ, увеличивая либо снижая общий объем подаваемого воздуха. В случае действия положительной общерудничной (общешахтной) естественной тяги режим работы ГВУ можно будет перевести в область более низких давлений, снизив тем самым потребляемую ею электроэнергию [9, 10]. При регулировании режимов работы ГВУ с учетом действия общерудничной (общешахтной) естественной тяги требуется учитывать разность высотных отметок устьев стволов [11, 12], а также

поверхностные утечки воздуха в надшахтном здании ГВУ [13].

Согласно статье [10] изменение абсолютной величины тепловых депрессий ( $h_{ei}$ ), действующих между стволами, приведет к изменению величины (а иногда и направленности) общерудничной (общешахтной) естественной тяги:

$$h_e = \text{sign}(h_{e1}) + \text{sign}(h_{e2}) + \text{sign}(h_{e3}),$$

где  $\text{sign}$  – знак, определяющий направленность тепловой депрессии.

При этом, если теплый воздух из конденсаторов СКВ сбрасывать в исходящую по вентиляционному стволу струю воздуха, положительная общерудничная (общешахтная) естественная тяга, способствуя работе ГВУ, увеличивается в несколько раз [7].

### **Заключение**

На неглубоких шахтах и рудниках необходимо использовать поверхностно-подземную СКВ, конденсаторы которой будут располагаться в главных вентиляционных выработках вентиляционного ствола. При этом необходимо применять СКВ парокompрессорного типа. Подобный вариант размещения СКВ будет способствовать возникновению между шахтными стволами положительной общерудничной (общешахтной) естественной тяги, а сброс теплого воздуха из конденсаторов в исходящий по вентиляционному стволу поток позволит увеличить это значение в несколько раз.

При действии положительной общерудничной (общешахтной) естественной тяги режим работы ГВУ можно будет перевести в область более низких давлений, снизив тем самым потребляемую электроэнергию. В этом случае экономия электроэнергии, затрачиваемой на работу ГВУ при охлаждении и осушении воздуха, будет частично или полностью использоваться для работы СКВ. Подобная взаимная работа позволит повысить энергетическую эффективность воздухоподготовки и проветривания подземного горнодобывающего предприятия в целом.

<sup>3</sup> Пат. 140553 Рос. Федерация: МПК E21F1/00. Система проветривания неглубокого рудника / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А.

Список литературы

1. Воропаев А.Ф. Тепловое кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах. – М.: Недра, 1979. – 192 с.
2. Li M. Refrigerant air conditioning systems operating in coal mine feasibility analysis utilized // *Applied mechanics and materials*. – 2013. – Vol. 433–435. – Chapter 17: Research and Design in Mechanical Engineering. – P. 2231–2234. DOI: 10.4028/AMM.433-435.2231
3. Caliza F. Guidelines for Installing and Operating Booster fans in Underground Mines // *Proceedings the 9th International Mine Ventilation Congress / Department of Mining Engineering, Indian School of Mines. – Dhanbad, 2009. – P. 727–735.*
4. McPherson M.J. Refrigeration plant and mine air conditioning systems // *Subsurface ventilation and environmental engineering*. – 1993. – P. 651–738. DOI: 10.1007/978-94-011-1550-6\_18
5. Watzlaf G.R., Ackman T.E. Underground mine water for heating and cooling using geothermal heat pump systems // *Mine water and the environment*. – 2006. – P. 1–14. DOI: 10.1007/s10230-006-0103-9
6. Мохирев Н.Н., Казаков Б.П., Стукалов В.А. Испытание системы осушения воздуха в руднике ОАО «Уралкалий» // *Горный журнал*. – 1998. – № 6. – С. 69–70.
7. Николаев А.В. Система кондиционирования шахтного воздуха комбинированного поверхностно-подземного типа // *Изв. вузов. Горный журнал*. – Екатеринбург, 2013. – № 3. – С. 40–45.
8. Николаев А.В. Потребление электроэнергии поверхностной системой кондиционирования воздуха парокomppressorного типа на проектируемом руднике Усольского калийного комбината // *Научные исследования и инновации*. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 146–149.
9. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Влияние тепловых депрессий, действующих между стволами, на величину общерудничной естественной тяги // *Рудник будущего*. – Пермь, 2011. – № 3. – С. 106–107.
10. Николаев А.В. Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: дис. ... канд. техн. наук / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь, 2012. – 159 с.
11. Алыменко Н.И., Николаев А.В. О влиянии взаимного расположения шахтных стволов на величину возникающих между ними тепловых депрессий // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – Новосибирск, 2011. – № 5. – С. 84–91.
12. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts // *Journal of Mining Science*. – 2011. – Vol. 47, № 5. – P. 636–642.
13. Николаев А.В., Алыменко Н.И., Садьков Р.И. Расчет величины поверхностных утечек воздуха на калийных рудниках // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2012. – № 5. – С. 115–121.

References

1. Voropaev A.F. Teplovoe konditsionirovanie rudnichnogo vozdukhа v glubokikh shakhtakh [Thermal air conditioning in deep mines]. Moscow: Nedra, 1979. 192 p.
2. Li M. Refrigerant air conditioning systems operating in coal mine feasibility analysis utilized. *Applied mechanics and materials*, 2013, vol. 433–435. Chapter 17. Research and Design in Mechanical Engineering, pp. 2231–2234. DOI: 10.4028/AMM.433-435.2231
3. Caliza F. Guidelines for Installing and Operating Booster fans in Underground Mines. *Proceedings the 9th International Mine Ventilation Congress*. Dhanbad: Department of Mining Engineering, Indian School of Mines, 2009, pp. 727–735.
4. McPherson M.J. Refrigeration plant and mine air conditioning systems. *Subsurface ventilation and environmental engineering*, 1993, pp. 651–738. DOI: 10.1007/978-94-011-1550-6\_18
5. Watzlaf G.R., Ackman T.E. Underground mine water for heating and cooling using geothermal heat pump systems. *Mine water and the environment*, 2006, pp. 1–14. DOI: 10.1007/s10230-006-0103-9
6. Mokhirev N.N., Kazakov B.P., Stukalov V.A. Ispytanie sistemy osusheniia vozdukhа v rudnike ОАО «Uralkaliy» [Tests of air drying system in the JSC «Uralkaliy» mine]. *Gornyi zhurnal*, 1998, no 6, pp. 69–70.
7. Nikolaev A.V. Sistema konditsionirovaniia shakhtnogo vozdukhа kombinirovannogo poverkhnostno-podzemnogo tipа [Mine air conditioning system of surface-underground type]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. Ekaterinburg, 2013, no. 3, pp. 40–45.
8. Nikolaev A.V. Potreblenie elektroenergiu poverkhnostnoi sistemoi konditsionirovaniia vozdukhа parokompessornogo tipа na proektiruемом rudnike Usol'skogo kaliniynogo kombinata [Energy consumption by vapor compression air-conditioning system at the designed mine of Usolsky potassium complex]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 146–149.
9. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Vliianie teplovykh depressii, deistvuiushchikh mezhdv stvolami, na velichinu obscherudnichnoi estestvennoi tiagi [Influence of thermal depressions between the shafts on overall natural draft]. *Rudnik budushchego*. Perm', 2011, no. 3, pp. 106–107.
10. Nikolaev A.V. Upravlenie teplovyimi depressiiami v sistemakh ventilatsii kaliniykh rudnikov [Controlling thermal depressions in ventilation systems in potassium mines]. Thesis of the candidate of technical sciences. Perm', 2012. 159 p.
11. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. O vliianii vzaimnogo raspolozheniia shakhtnykh stvolov na velichinu voznikaushchikh mezhdv nimi teplovykh depressii [Effects of well spacing on the value of thermal depression between them]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. Novosibirsk, 2011, no. 5, pp. 84–91.
12. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts. *Journal of Mining Science*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 636–642.
13. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sadykov R.I. Raschet velichiny poverkhnostnykh utechek vozdukhа na kaliniykh rudnikakh [Calculations of surface leakage of air in potassium mines]. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2012, no. 5, pp. 115–121.

Об авторе

**Николаев Александр Викторович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации горных предприятий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

About the author

**Aleksandr V. Nikolaev** (Perm, Russian Federation) – Ph. D in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrification and Automation of Mining Enterprises, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

Получено 11.09.2014

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Николаев А.В. Вариант применения системы кондиционирования воздуха в неглубоких подземных горнодобывающих предприятиях // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2014. – № 13. – С. 93–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.10

Please cite this article in English as:

Nikolaev A.V. Concept of air conditioning systems in shallow underground mining workings. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2014, no. 13, pp. 93–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.13.10