

УДК 622.663.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАХТНОЙ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПО ПЕРИМЕТРУ НАДШАХТНОГО ЗДАНИЯ

Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, В.А. Николаев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

А.А. Каменских

Горный институт Уральского отделения Российской академии наук (614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а)

ABOUT THE PRODUCTIVITY OF SHAFT AIR HEATER LOCATED ALONG THE PERIMETER OF PITHEAD

N.I. Alymenko, A.V. Nikolaev, V.A. Nikolaev

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskii av., Perm, 614990, Russian Federation)

A.A. Kamenskikh

Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78a Sibirskaya st., Perm, 614007, Russian Federation)

Получена / Received: 29.11.2015. Принята / Accepted: 12.02.2016. Опубликовано / Published: 30.03.2016

Ключевые слова:

шахтная калориферная установка, надшахтное здание, теплообменник, воздухоподающий ствол, энергоэффективность, математическое моделирование.

В существующих шахтных калориферных установках (ШКУ), предназначенных для нагрева воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы в холодное время года, используется калориферный канал. Часть воздуха из ШКУ подается по калориферному каналу, а часть подсасывается через надшахтное здание за счет общешахтной депрессии, создаваемой шахтной главной вентиляторной установкой (ГВУ). При этом возникает проблема смешения этих двух потоков воздуха, вследствие чего нарушается тепловой режим в стволах, что может привести к нарушению герметизации межтубинговых уплотнений. Кроме того, строительство калориферного канала связано с дополнительными финансовыми затратами.

В статье приведено описание ШКУ, расположенной в надшахтном здании. Отличительной особенностью предложенной конструкции ШКУ является то, что теплообменники располагаются по периметру надшахтного здания в один ряд. В этом случае не требуется строительства калориферного канала, а следовательно, исключается проблема смешения холодного и нагретого в ШКУ потоков воздуха.

Выполнено математическое моделирование процесса подготовки воздуха (в программном пакете Solidworks Flow Simulation) в теплообменниках калориферной установки, расположенной по периметру надшахтного здания, и смешения в воздухоподающем стволе потоков холодного и нагретого в ШКУ воздуха, поступающего по калориферному каналу. Проведен сравнительный анализ работы обеих типов ШКУ, в результате которого доказывается эффективность предложенной конструкции установки: равномерное распределение теплового поля по всему сечению воздухоподающего ствола, снижение затрат энергетических ресурсов на воздухоподготовку и электроэнергии на работу ГВУ за счет «преобразования» отрицательной общерудничной естественной тяги в положительную.

Key words:

shaft heater, pithead, heat-changing unit, air supplier channel, energy efficiency, mathematical modeling.

In the existing shaft air heaters that heat the air for air suppliers in the cold season heater channel is used. Part of the air from heater goes to the channel, another one is sucked through pithead by general shaft pressure drawdown formed by main ventilation installation. Wherein, mix of two air flow leads to shaft heat regime violation that could break the pressurization of intertubular sealers. Moreover, heater channel design is associated with additional expenditures. Paper describes the air heater, located in the pithead. The location of a heater in one line along pithead perimeter is the key feature. In this case there is no need to design heater channel, thus, there is no problem with mix of cold and heated air flows.

Air processing at the heater located on the perimeter of pithead and mix of cold and heated air flows in the supplier from the channel was modeled in the software Solidworks flow simulation. The comparative analysis of both types of heater proved efficiency of proposed design of installation, smooth propagation of heat field along the all cross-section of air supplier, decrease of consumption of electric power for air processing and installation operation by transformation negative natural common excavation traction to positive.

Алыменко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых (моб. тел.: +007 912 789 80 86, e-mail: nik.alymenko@yandex.ru).

Николаев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации горных предприятий (моб. тел.: +007 908 241 40 19, e-mail: nikolaev0811@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

Николаев Виктор Александрович – старший преподаватель кафедры горной электромеханики (моб. тел.: +007 908 241 40 19, e-mail: nikolaev.va.pstu@mail.ru).

Каменских Антон Алексеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики (моб. тел.: +007 909 731 69 44, e-mail: anton.kamenskikh@mi-perm.ru).

Nikolai I. Alymenko (Author ID in Scopus: 54895153400) – Doctor of Engineering, Professor at the Department of the Development of Mineral Deposits (mob. tel.: +007 912 789 80 86, e-mail: nik.alymenko@yandex.ru).

Aleksandr V. Nikolaev (Author ID in Scopus: 7202396660) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Electrification and Automation of Mine Enterprises (mob. tel.: +007 908 241 40 19, e-mail: nikolaev0811@mail.ru). The contact person for correspondence.

Viktor A. Nikolaev – Senior Lecturer at the Department of Mining Electronics and Mechanics (mob. tel.: +007 908 241 40 19, e-mail: nikolaev.va.pstu@mail.ru).

Anton A. Kamenskikh – PhD in Engineering, Researcher at the Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics (mob. tel.: +007 909 731 69 44, e-mail: anton.kamenskikh@mi-perm.ru).

Введение

На всех подземных горно-добывающих предприятиях с целью обеспечения условий безопасности производственного процесса согласно [1] подаваемый в воздухоподающие стволы воздух в холодное время года необходимо нагревать в шахтных калориферных установках (ШКУ) до обеспечения в стволе температуры не ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом одной из основных проблем, возникающих в процессе воздухоподготовки в холодное время года, является нормализация теплового режима в воздухоподающих стволах. Согласно [2–5] вызвана она тем, что в воздухоподающий ствол поступает два потока воздуха: нагретый в ШКУ ($Q_{\text{ШКУ}}$) и подсосываемый через надшахтное здание ($Q_{\text{н.зд}}$) за счет общешахтной депрессии, создаваемой главной вентиляторной установкой (ГВУ) (рис. 1). Для поддержания требуемого теплового режима в стволе необходимо обеспечивать процесс

смешения данных потоков. С этой целью требуется регулировать производительность и давление, развиваемое нагнетательными вентиляторами ШКУ, а также расход теплоносителя [6].

Фактически во многих случаях наблюдается ситуация, когда температура воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы, значительно превышает установленные правилами безопасности значения, что ведет к нарушению теплового режима в них, а также приводит к перерасходу энергоресурсов, затрачиваемых на работу ШКУ [7–9]. Связано это с тем, что при поступлении в воздухоподающий ствол нагретого (легкого) воздуха и выдаче по вентиляционному стволу более холодного (более тяжелого) воздуха между стволами образуется перепад гидростатических давлений, который носит название отрицательная общерудничная естественная тяга (тепловая депрессия), направленная навстречу требуемому движению воздуха [10–18]. В зависимости от значения общерудничной естественной

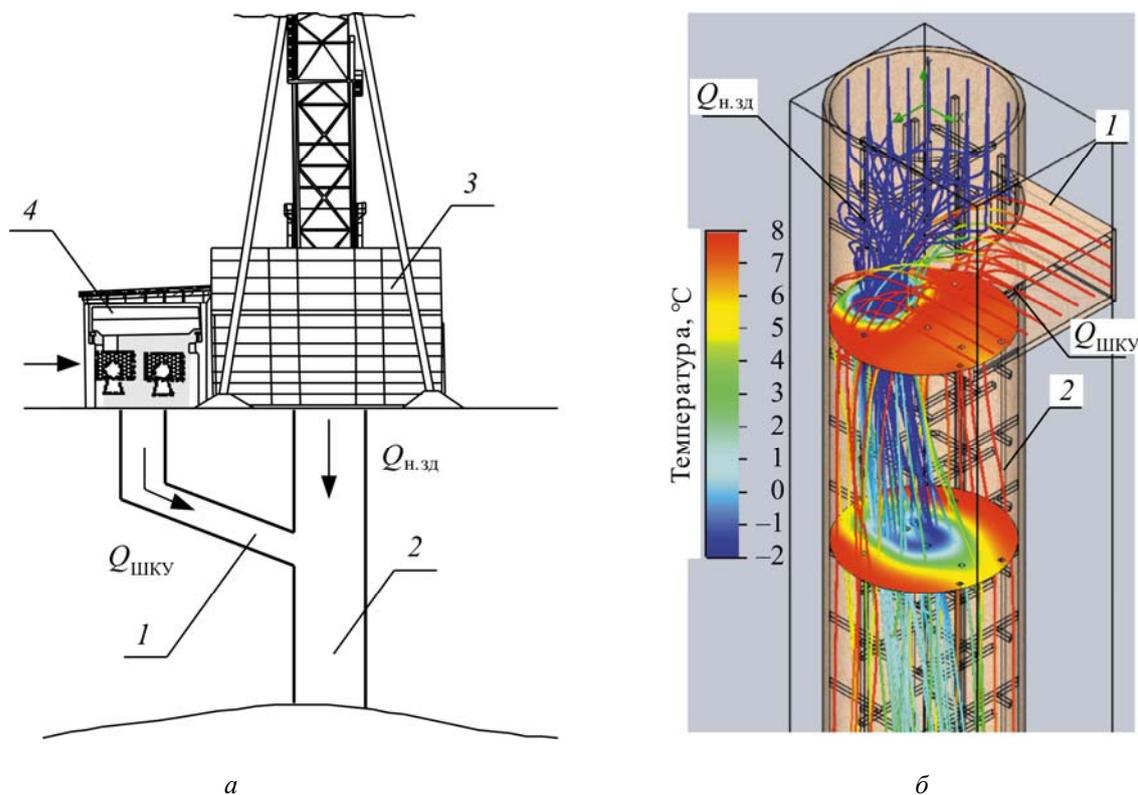


Рис. 1. Процесс смешения холодного и нагретого в ШКУ потоков воздуха:
 а – поверхностный комплекс ШКУ (общий вид); б – результат моделирования;
 1 – калориферный канал; 2 – воздухоподающий ствол; 3 – надшахтное здание;
 4 – калориферная установка

тяги изменяется производительность ГВУ, в результате чего режим ее работы необходимо переводить в область более высоких давлений. В связи с этим увеличиваются затраты электроэнергии на обеспечение проветривания.

В связи с тем что оба вышеупомянутых процесса («перегрев» воздуха, т.е. нагрев его до температуры значительно большей требуемой и вызванная в результате этого отрицательная общерудничная естественная тяга) увеличивают затраты энергоресурсов, необходимо разрабатывать и применять технические решения, позволяющие обеспечить энерго- и ресурсосбережение при воздухоподготовке в холодное время года.

Причины энергозатратности процесса воздухоподготовки в холодное время года

В 50–70-х гг. в СССР, когда высокими темпами проектировались и строились новые, восстанавливались разрушенные шахты и рудники, вопрос ресурсо- и энергосбережения при добыче полезного ископаемого не был актуальным. Ему начали уделять внимание сравнительно недавно. Так, например, согласно [19] при проведении воздушно-депрессионной съемки в холодное время года на руднике БКПРУ-1 ПАО (ранее ПО) «Уралкалий» в 1988 г. было установлено, что температура воздуха в стволах достигала 24–28 °С, т.е. была выше требуемой в 12–14 раз.

В работах [6, 20] процесс воздухоподготовки в холодное время года предлагается автоматизировать с учетом изменяющихся климатических условий и величины общерудничной естественной тяги. В случае, если при расчете и моделировании принимать воздухоподающий ствол за полый цилиндр, как это делалось ранее, поставленная задача решается без особых проблем. Однако результаты работ [3, 5] показали ошибочность принятия подобных допущений, так как ствол армирован, в результате чего он разделяется на участки с различными сечениями. В этом случае скорости, а следовательно, и объемный расход в каждом из сечений будут различными, т.е. и нагрев воздуха в них будет производиться неравномерно.

На рис. 2, 3 представлены результаты моделирования процесса распределения тепловых потоков воздуха в воздухоподающем стволе с учетом его армировки.

Как видно из рис. 2, 3, в стволе присутствуют участки холодного воздуха. При этом по мере движения вниз по стволу участки холодного воздуха перемещаются в другие области, лишь незначительно увеличивая свою температуру.

По мере увеличения температуры поступающего воздуха с 5 до 9 °С (см. рис. 2) распределение тепловых потоков по стволу не изменяется, а лишь незначительно повышается температура в зонах холодного воздуха. Таким образом, можно сделать вывод о том, что только при значительном повышении температуры воздуха, подаваемого по калориферному каналу, участки с температурой воздуха, близкой или равной критической (+ 2 °С), будут исчезать, т.е. только при «перегреве» воздуха.

Наличие в воздухоподающем стволе участков тепловых потоков, имеющих различную температуру, приведет к тому, что в нем самом появится перепад давлений – так называемая «внутристволовая естественная тяга (тепловая депрессия)», которая может полностью препятствовать поступлению воздуха в ствол, т.е. в нем образуется «воздушная пробка» [18, 21].

Данная задача до сих пор не решена, и в воздухоподающих стволах наблюдается неравномерное распределение тепловых полей, что приводит к описанным выше проблемам.

Описание ШКУ, расположенной по периметру надшахтного здания, и моделирование процесса ее работы

В связи с тем что проблему смешения нагретого в ШКУ и подсасываемого через надшахтное здание потоков воздуха решить довольно сложно, была разработана конструкция ШКУ, в которой предлагается отказаться от применения калориферного канала [22–24]. Нагреваемый воздух при этом засасывается в ШКУ за счет общешахтной депрессии, создаваемой ГВУ (рис. 4). Кроме воздуха, поступающего через ШКУ, в воздухоподающий ствол поступает холодный наружный воздух через скиповые окна.

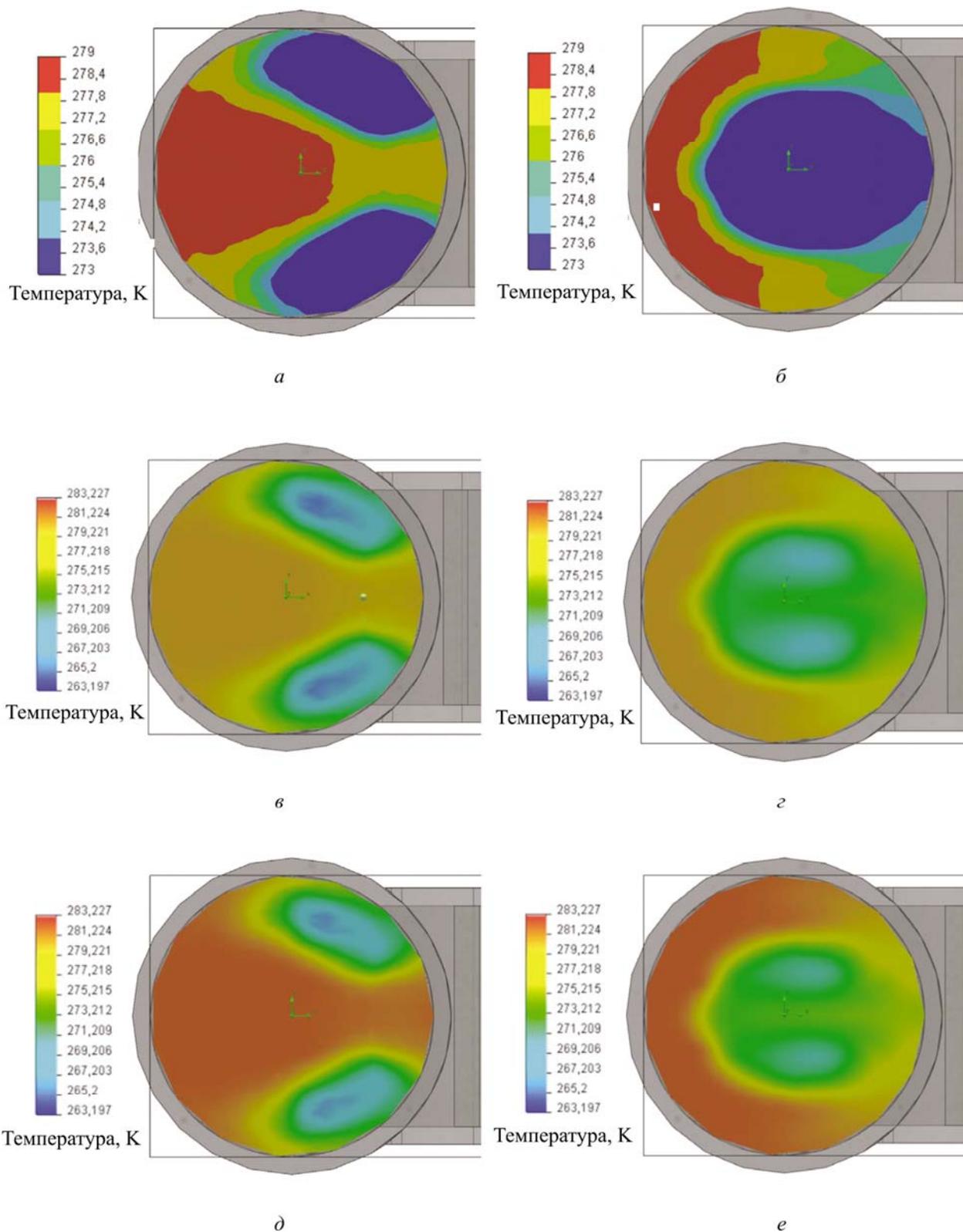


Рис. 2. Распределение тепловых потоков по стволу при $Q_{\text{ПКУ}} = 147,27 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{\text{н.зд}} = 20,71 \text{ м}^3/\text{с}$:
a, *б*, *д* – на отметке -15 м; *в*, *г*, *e* – на отметке -30 м, при изменяющейся температуре
 воздуха, поступающего через калориферный канал: *a*, *б* – 5 °С; *в*, *г* – 7 °С; *д*, *e* – 9 °С

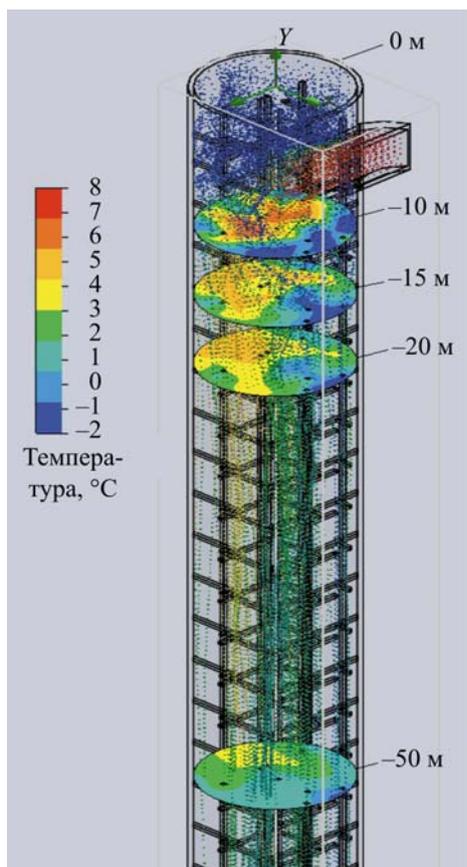


Рис. 3. Распределение теплового поля по воздухоподающему стволу

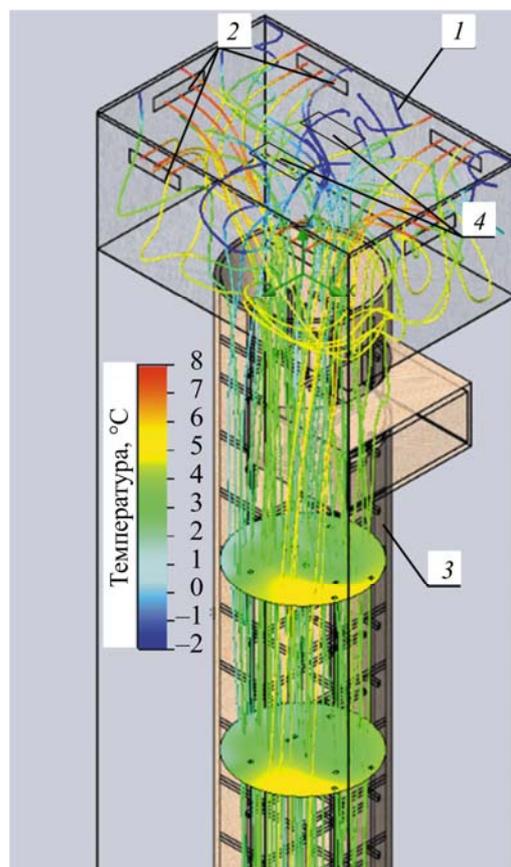


Рис. 5. Распределение теплового поля по воздухоподающему стволу при расположении ШКУ по периметру надшахтного здания: 1 – надшахтное здание; 2 – теплообменники ШКУ, расположенной по периметру надшахтного здания; 3 – воздухоподающий ствол; 4 – скиповые окна

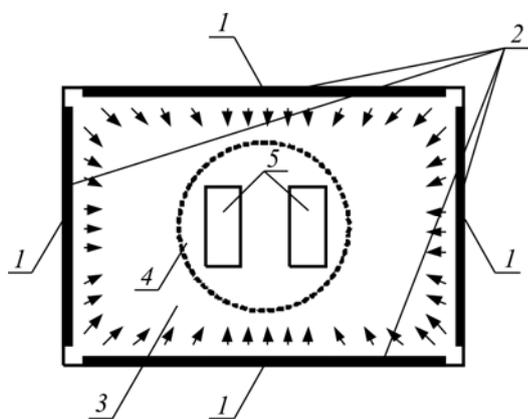


Рис. 4. ШКУ, расположенная по периметру надшахтного здания (вид сверху): 1 – теплообменники; 2 – шахтная калориферная установка; 3 – надшахтное здание; 4 – воздухоподающий ствол; 5 – скиповые окна

С целью определения эффективности применения предлагаемой ШКУ процесс воздухоподготовки в ней и последующей подачи нагретого воздуха в ствол был смоделирован в программном

пакете Solidworks Flow Simulation. Результаты моделирования представлены на рис. 5.

Как видно из рис. 5, за счет того что ШКУ состоит из теплообменников, расположенных по периметру надшахтного здания, поток холодного воздуха, поступающего через скиповые окна, смешивается в устье воздухоподающего ствола. Наличие в надшахтном здании скиповых окон приводит к тому, что температура исходящего из ШКУ воздуха близка к $+8^{\circ}\text{C}$. При этом в стволе наблюдается распределение тепловых полей с незначительным температурным разбросом.

В случае подачи воздуха в воздухоподающий ствол по калориферному каналу при таких же температурах нагретого и наружного воздуха (см. рис. 2, 3) распределение теплового поля в стволе неравномерно.

Заключение

В результате моделирования процесса воздухоподготовки в ШКУ, расположенной по периметру надшахтного здания, подтвердились предположения об ее эффективности.

Во-первых, в процессе воздухоподготовки в стволе нормализуется тепловой режим, т.е. исчезают участки со значительной разностью температур. В этом случае отсутствует вероятность возникновения «внутристволовой естественной тяги», в результате чего практически полностью исключается угроза образования в воздухоподающих стволах «воздушных пробок».

Во-вторых, сравнительный анализ результатов моделирования работы действующей ШКУ и предлагаемой показал высокую эффективность

последней. При одинаковых значениях температуры наружного и нагретого воздуха в стволе отсутствуют участки с температурой воздуха ниже установленной правилами безопасности только в случае работы предлагаемой ШКУ. Следовательно, при примерно одинаковом расходе теплоносителя процесс воздухоподготовки эффективен только при работе ШКУ, расположенной по периметру надшахтного здания.

В-третьих, снижение температуры воздуха в стволе до комфортного и безопасного значения приведет к тому, что вместо упомянутой отрицательной тяги между стволами возникнет хоть и небольшая, но положительная общерудничная естественная тяга. В этом случае на работу ГВУ не потребуется дополнительно затрачивать электрическую энергию.

Список литературы

1. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2014. – Сер. 03, вып. 78. – 276 с.
2. Николаев А.В. К вопросу о рациональном использовании электроэнергии и природных ресурсов при работе калориферных установок // Молодой ученый. – 2012. – № 9. – С. 32–35.
3. Результаты математического моделирования смешивания холодного и теплого потоков воздуха в воздухоподающем стволе рудника / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, А.А. Каменских, А.И. Петров // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 12. – С. 31–33.
4. Hanjalic K., Launder B.E. A Reynolds stress model of turbulence and its application to thin shear flows // *J. Fluid Mech.* – 1972. – Vol. 52, № 4. – P. 609–638. DOI: 10.1017/S002211207200268X.
5. Движение воздуха в воздухоподающем и вентиляционном стволах рудника / Н.И. Алыменко, Каменских А.А., Николаев А.В., Петров А.И. // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы I междунар. науч.-практ. конф., 27–30 октября 2014 г. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – С. 122–125.
6. Васильев Е.М., Николаев А.В., Королев Н.А. Система управления электроприводом нагнетательных вентиляторов и сетевого насоса для поддержания теплового режима в шахтных стволах // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 1. – С. 20–24.
7. Николаев А.В., Постникова М.Ю., Мохирев Н.Н. Сравнительный анализ потребления тепло- и энергоресурсов шахтными калориферными установками // Вестник Пермско-

References

1. Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh: Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti [Safety rules during mining and processing of solid minerals: State Standards and Rules of industrial safety]. Moscow: Nauchno-tekhnikeskii tsentr issledovaniia problem promyshlennoi bezopasnosti, 2014, seriia 03, vol. 78, 276 p.
2. Nikolaev A.V. K voprosu o ratsional'nom ispol'zovanii elektroenergii i prirodnykh resursov pri rabote kalorifernykh ustanovok [To the question of the rational use of electric energy and natural resources during the work of air heaters]. *Molodoi uchenyi*, 2012, no. 9, pp. 32-35.
3. Alymenko N.I., Nikolaev A.V., Kamenskikh A.A., Petrov A.I. Rezultaty matematicheskogo modelirovaniia smeshivaniia kholodnogo i teplogo potokov vozdukha v vozdukhopodaiushchem stvole rudnika [The results of mathematical modeling of the mixing of cold and warm air streams in an air supply mine trunk]. *Mining equipment and electromechanics*, 2014, no. 12, pp. 31-33.
4. Hanjalic K., Launder B.E. A Reynolds stress model of turbulence and its application to thin shear flows. *J. Fluid Mech.*, 1972, vol. 52, no. 4, pp. 609-638. DOI: 10.1017/S002211207200268X
5. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. Dvizhenie vozdukha v vozdukhopodaiushchem i ventilatsionnom stvolakh rudnika [The movement of air in the air supply and ventilation shafts of the mine]. *Aktual'nye problemy povysheniia effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gorno-shakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniia: materialy I mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 27-30 oktiabria 2014 g.* Perm': Izdatel'stvo Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2014, pp. 122-125.
6. Vasil'ev E.M., Nikolaev A.V., Korolev N.A. Sistema upravleniia elektroprivodom nagnetatel'nykh ventilatorov i setevogo nasosa dlia podderzhanii teplovogo rezhima v shakhtnykh stvolakh [The system for control of electric drive of ventilators and network blowers pump to main-

го государственного технического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2010. – № 5. – С. 95–102.

8. McPherson M.J., Robinson G. Barometric survey of shafts at Baaulbay Mine, Cleveland Potash // *Mine vent. South Africa*. – 1980. – Vol. 33. – P. 145–164.

9. Анализ работы системы воздухоподготовки на руднике БКПРУ-2 / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин, Г.З. Файнбург, В.А. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 255–265.

10. Комаров В.Б., Килькеев Ш.Х. Рудничная вентиляция. – М.: Недра, 1969. – 416 с.

11. Бурчаков А.С., Мустель П.И., Ушаков К.З. Рудничная аэрология. – М.: Недра, 1971. – 376 с.

12. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 324 с.

13. Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model / Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang // *Tunneling and underground space technology*. – 2015. – Vol. 45. – P. 166–180. DOI: 10.1016/j.tust.2014.09.004.

14. 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. DOI: 10.1134/S1062739147050121.

15. Bruce W.E. Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. – US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986. – 34 p.

16. Лялькина Г.Б., Николаев А.В. Определение величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной вероятностью // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 2. – С. 124–129.

17. Linden P.F. The fluid mechanics of natural ventilation // *Annual Review of Fluid Mechanics*. – 1999. – Vol. 31. – P. 201–238. DOI: 10.1146/annurev.fluid.31.1.201.

18. 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.

19. Алыменко Н.И., Норин А.А., Минин В.В. Влияние естественной тяги воздухоподающих стволов на проветривание калийных рудников // Вентиляция шахт и рудников. Интенсификация воздухообмена и пылегазообразование в горных выработках. – Ленинград: Изд-во ЛГИ, 1989. – С. 54–57.

20. Николаев А.В., Королев Н.А. Ресурсо- и энергосберегающие технологии подготовки шахтного воздуха в холодное время года // *Master's Journal*. – 2014. – № 1. – С. 182–187.

21. Алыменко Н.И., Николаев А.В., Седнев Д.Ю. Зависимость воздухораспределения от величины тепловых депрессий, действующих между стволами // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2011. № 11. – С. 199–201.

22. Алыменко Н.И., Николаев А.В., Каменских А.А. Вариант расположения шахтной калориферной установки в стене надшахтного здания // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 2. – С. 99–106.

23. Шахтная калориферная установка: пат. 141759 Рос. Федерация: МПК E21F1/08; E21F3/00 / А.В. Николаев, Н.И. Алы-

menko [The thermal regime in the mine shafts]. *Mining equipment and electromechanics*, 2015, no. 1, pp. 20–24.

7. Nikolaev A.V., Postnikova M.Iu., Mokhired N.N. Sravnitel'nyi analiz potrebleniia teplo- i energoresurov shakhtnymi kalorifernymi ustanovkami [The comparative analysis of consumption of heat and power resources by mine air heater installations]. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2010, no. 5, pp. 95–102.

8. McPherson M.J., Robinson G. Barometric survey of shafts at Baaulbay Mine, Cleveland Potash. *Mine vent. South Africa*, 1980, vol. 33, pp. 145–164.

9. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sedunin A.M., Fainburg G.Z., Nikolaev V.A. Analiz raboty sistemy vozdukhopodgotovki na rudnike BKPRU-2 [Analysis of the air handling system operation at the mine BKPRU-2]. *Mining informational and analytical bulletin*, 2015, no. 2, pp. 255–265.

10. Komarov V.B., Kil'keev Sh.Kh. Rudnichnaia ventilatsiia [Mine ventilation]. Moscow: Nedra, 1969. 416 p.

11. Burchakov A.S., Mustel' P.I., Ushakov K.Z. Rudnichnaia aerologiia [Mine aerology]. Moscow: Nedra, 1971. 376 p.

12. Mokhired N.N., Rad'ko V.V. Inzhenernye raschety ventilatsii shakht. Stroitel'stvo. Rekonstruktsiia. Eksploatatsiia [Engineering calculations of mine ventilation. Building. Reconstruction. Exploitation]. Moscow: Nedra-Biznestsentr, 2007. 324 p.

13. Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang. Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model. *Tunneling and Underground Space Technology*, 2015, vol. 45, pp. 166–180. DOI: 10.1016/j.tust.2014.09.004.

14. 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. DOI: 10.1134/S1062739147050121.

15. Bruce W.E. Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986. 34 p.

16. Lial'kina G.B., Nikolaev A.V. Opredelenie velichiny i napravleniia obshcherudnichnoi estestvennoi tiagi s zadannoi doveritel'noi veroiatnost'iu [Determination of the magnitude and direction of common excavation natural traction with a given confidence probability]. *Journal of Mining Science*, 2015, no. 2, pp. 124–129.

17. Linden P.F. The fluid mechanics of natural ventilation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1999, vol. 31, pp. 201–238. DOI: 10.1146/annurev.fluid.31.1.201.

18. Nikolaev A.V. Upravlenie teplovymi depressiiami v sistemakh ventilatsii kaliinykh rudnikov: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Thermal depression management in potash mines ventilation systems: thesis for PhD in Engineering]. Perm', 2012. 159 p.

19. Alymenko N.I., Norin A.A., Minin V.V. Vliianie estestvennoi tiagi vozdukhopodaiushchikh stvolov na provetrivanie kaliinykh rudnikov. Ventilatsiia shakht i rudnikov [Influence of natural draft of air supply shaft to the airing of potash mines. Ventilation of mines and pits]. *Intensifikatsiia vozdukhooobmena i pyl'egazooobrazovanie v gornykh vyrabotkakh*. Leningrad: Izdatel'stvo LGI, 1989. Pp. 54–57.

20. Nikolaev A.V., Korolev N.A. Resurso- i energosberegaiushchie tekhnologii podgotovki shakhtnogo vozdukh v kholodnoe vremia goda [Resource and energy-saving technology of preparation of mine air in the cold season]. *Master's Journal*, 2014, no. 1, pp. 182–187.

менко, В.А. Николаев, А.М. Седунин; заявитель и патенто-обладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». № 2013149747/03; заявл. 06.11.2013; опубл. 10.06.2014. – Бюл. № 16.

24. Николаев А.В. Способы повышения эффективности подготовки шахтного воздуха на подземных горно-добывающих предприятиях // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 10, ч. 1. – С. 50–55.

21. Alymenko N.I., Nikolaev A.V., Sednev D.Iu. Zavisimost' vozdukhoraspredeleniia ot velichiny teplovykh depressii, deistvuiushchikh mezhdurazmashchivami [The dependence of the air distribution of the value of thermal depressions acting between shafts]. *Geology and Mineral Resources in the Western Urals*, 2011, no. 11, pp. 199-201.

22. Alymenko N.I., Nikolaev A.V., Kamenskikh A.A. Variant raspolozheniia shakhtnoi kalorifernoii ustanovki v stene nadshakhtnogo zdaniia [Alternative locations mine air heater installed in the wall pithead]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 2, pp. 99-106.

23. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Nikolaev V.A., Sedunin A.M. Shakhtnaia kalorifernaia ustanovka: pat. 141759 Ros. Federatsiia: MPK E21F1/08; E21F3/00 [Mine air heater installation: US Pat. 141759 Ros. Africa: IPC E21F1/08; E21F3/00]; № 2013149747/03; zaivleno 06.11.2013; opublikovano 10.06.2014, Biulleten' no. 16.

24. Nikolaev A.V. Sposoby povysheniia effektivnosti podgotovki shakhtnogo vozdukh na podzemnykh gornodobyvaiushchikh predpriatiiakh [Ways to improve efficiency of preparation of mine air on underground mining facilities]. *Fundamental research*, 2015, no. 10, part 1, pp. 50-55.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Об эффективности работы шахтной калориферной установки, расположенной по периметру надшахтного здания / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, В.А. Николаев, А.А. Каменских // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2016. – Т.15, №18. – С. 91–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.18.10

Please cite this article in English as:

Alymenko N.I., Nikolaev A.V., Nikolaev V.A., Kamenskikh A.A. About the productivity of shaft air heater located along the perimeter of pithead. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no.18, pp. 91-98. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.18.10