ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10

УДК 622.663.3

© Николаев А.В., Файнбург Г.З., 2015

ОБ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕМ ПРОВЕТРИВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НЕФТЕШАХТ

А.В. Николаев, Г.З. Файнбург

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

На Ярегском месторождении (ООО «ЛУКОЙЛ-Ками») применяется термощахтный способ добычи нефти. При подобном способе наблюдаются значительные тепловыделения в рабочих зонах нефтяных шахт. Повышение температуры воздуха становится причиной ухудшения санитарно-гигиенических норм и снижения производительности труда горнорабочих. Предложенные и используемые в настоящее время мероприятия и способы снижения температуры воздуха в уклонных блоках требуют значительных финансовых затрат: на внедрение – оснащение холодильными и калориферными установками вентиляционных скважин, проходку самих скважин, а также на процесс воздухоподготовки – затраты электрической энергии на кондиционирование (охлаждение) и энергетических ресурсов (в основном природного газа) на подогрев воздуха, подаваемого в скважины в холодное время года. Предложен способ проветривания уклонного блока, который позволяет использовать положительное действие естественной тяги (тепловой депрессии), возникающей между подземными горными выработками вследствие разности температур (плотностей, удельного веса) воздуха в них. Предложенный способ позволит уменьшить затраты электрической энергии на проветривание, а также снизить температуру воздуха в подземных горных выработках нефтяных шахт. Помимо этого в предложенном способе не требуется оснащение вентиляционных скважин системами кондиционирования и подогрева воздуха. Между стволами нефтяной шахты будет возникать естественная тяга, которая, как показали расчеты, будет иметь положительное значение, т.е. будет способствовать проветриванию. Регулирование производительности и давления, развиваемого главной вентиляторной установкой (ГВУ) с учетом действия естественной тяги, также будет способствовать снижению электрической энергии на проветривание.

Ключевые слова: нефтешахта, проветривание, естественная тяга, тепловая депрессия, уклонный блок, главная вентиляторная установка.

ON ENERGY AND RESOURCE-SAVING OF UNDERGROUND OIL MINE WORKINGS

A.V. Nikolaev, G.Z. Fainburg

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

In Yarega field (LUKOIL-Komi) thermoshaft method of oil extraction is applied. Such a method implies significant heat release within the operating areas of the oil mines. Increase of air temperature brings about deterioration of sanitary-hygienic norms and reduction in labour productivity. The existing technical solutions for lowering air temperature in winzes require considerable financial resources: for putting into operation, i.e. installation of cooling equipment and calorifiers in ventilation holes, hole making, as well as for air handling, i.e. power consumption for air conditioning (cooling) and energy resources (mainly natural gas) to heat air supplied in cold season. The paper describes a method for ventilation of winzes, which draws on the positive effect of natural draft (thermal depression) occurring between the underground mine workings due to the temperature difference (density, specific gravity) of air in them. The proposed method will reduce the cost of electricity for ventilation, as well as reduce the temperature of the air in the underground workings of oil mines. In addition, with such an arrangement no air conditioning or heating systems are required in ventilation holes. Between the oil mine shafts a natural draft might take place, which, as the calculations showed, would be positive, hence contributing to airing. Controlling performance and pressure produced by the main fan, taking account of natural draft, will also reduce energy requirements for ventilation.

Keywords: oil mine, ventilation, natural draft, thermal depression, winze, main mine fan.

Введение

Как известно, процесс добычи нефти термощахтным способом [1, 2] сопровождается значительными тепло- и влаговыделениями в рабочих зонах (буровых галереях уклонных блоков), в результате чего для нормализации состава и параметров рудничной атмосферы в нефтешахту требуется подавать всё большее количество свежего воздуха, что влечет за собой неоправданно быстрый рост затрат на электроэнергию.

Однако, в силу «вспомогательного» характера проветривания в общей структуре производства, физико-технических сложностей управления и расчета процессов проветривания, вопросам, связанным с оптимизацией затрат на обеспечение безопасности средствами вентиляции и регулированием теплового режима нефтешахт, уделяется недостаточное внимание. В частности, расчеты расхода воздуха, необходимого для проветривания, ведутся по методике, созданной для угольных шахт и калийных рудников [3], далекой от учета реальных условий нефтешахт севера. Всё это приводит к тому, что рекомендации по улучшению условий проветривания нефтешахт не всегда бывают низкозатратными и эффективными.

Перестройку решения проблем проветривания нефтешахт, связанных с обеспечением безопасности ведения добычных работ и нормализацией условий труда горнорабочих, при соблюдении жестких требований к энерго- и ресурсосбережению необходимо решать в комплексе, в духе так называемого бережливого производства, когда последовательно и систематически исключаются затратные процедуры и вводятся «низкозатратные – бережливые», обеспечивающие повышение общей эффективности производства [4].

В связи с этим рассмотрим ряд ключевых, по мнению авторов настоящей работы, вопросов.

Управление проветриванием уклонного блока с позиции энергосбережения

Типичная схема проветривания уклонного блока [5] состоит в том, что воздух подается через уклон, поступает в буровую галерею и выдается по ходку в выработку, соединенные с вентиляционным стволом (рис. 1). Температура воздуха в буровой галерее достигает 36–55 °С, а потому исходящий из уклонного блока воздух также будет иметь гораздо более высокую температуру, чем воздух в поступающей струе. Вследствие этого между ходком и уклоном возникает естественная тяга (тепловая депрессия), Па, определяемая по формуле

$$h_e = g (\rho_{\text{ср.укл}} - \rho_{\text{ср.ход}}) \cdot H, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $\rho_{\text{ср.укл}}$ и $\rho_{\text{ср.ход}}$ – средние плотности воздуха соответственно в уклоне и ходке кг/м^3 ; H – разность высотных отметок между входом в выработку (в уклон или ходок) и выходом из нее, м.

Рис. 1. Упрощенная схема проветривания уклонного блока нефтешахты

Плотность воздуха в любой (i -й) точке сети горных выработок определяется по формуле

$$\rho_i = \frac{0,465 \cdot p_i}{273,15 + t_i}, \quad (2)$$

где p_i и t_i – соответственно барометрическое давление (мм рт. ст.) и температура (°C) воздуха.

Из формул (1) и (2) видно, что направление естественной тяги (h_e) в существующей схеме проветривания будет совпадать с требуемым направлением движения воздуха, т.е. она будет способствовать проветриванию и тем самым энергосбережению.

Однако исходящий из буровой галереи нагретый воздух, попадая в вентиляционные выработки, не только ухудшает санитарно-гигиенические условия в них, но и активно «участвует» в формировании естественной тяги всей нефтешахты (общешахтной естественной тяги) [6].

Особенно большие сложности возникают при необходимости подачи большого количества свежего (холодного) воздуха в рабочие зоны с одновременным подогревом его на входе в нефтешахту по требованиям безопасности защиты стволов от промерзания. Всё это ведет к огромным затратам энергии.

В работе [7] для локального снижения температуры воздуха в рабочей зоне при ограниченности подачи поверхностного воздуха в стволы нефтешахты было предложено осуществлять обособленное проветривание уклонного блока через скважины (воздухоподающую и воздуховыдающую), пробуренные с поверхности. При этом в устье воздухоподающей скважины предполагается установка нагнетательных вентиляторов, оборудованных промышленными кондиционерами, с регулируемым приводом. В холодное время года для предотвращения обмерзания скважины воздух, подаваемый в нее, предполагается подогревать в небольших калориферных установках.

Подобная схема проветривания уклонного блока, рассмотренная абстракт-

но, сама по себе, несомненно будет способствовать улучшению тепловой обстановки в уклонном блоке, но чуть более широкий подход сразу же выявляет огромные затраты на ее практическую реализацию:

- организация работ и бурение скважин диаметром 800 мм на глубину 150–200 м (иногда и больше) будет связана с большими экономическими затратами материальных, трудовых и энергетических ресурсов;

- система множественного кондиционирования воздуха не уменьшит, а существенно увеличит затраты на потребляемую электроэнергию;

- обогрев воздуха в калориферных установках, расположенных на скважинах, в холодное время года будет связан с дополнительным потреблением энергоресурсов (природного газа) на нагрев теплоносителя, подаваемого в установку;

- подача воздуха под давлением с поверхности приведет к тому, что поступающая из основных выработок струя будет ограничена, в то время как количество исходящего через вентиляционные выработки нагретого воздуха может возрасти, и только его меньшая часть будет удаляться через воздуховыдающую скважину.

Еще одним недостатком обособленной вентиляции является то, что даже при нормальном проветривании уклонных блоков все остальные выработки нефтешахты также должны проветриваться при помощи главной вентиляторной установки (ГВУ), потребляющей значительное количество электроэнергии.

В целом при увеличении количества уклонных блоков затраты электроэнергии (на нагнетательные вентиляторы, на работу кондиционеров и ГВУ) и энергоресурсов (калориферные установки на скважинах) будут лишь увеличиваться.

С целью повышения ресурсо- и энергоэффективности был разработан способ проветривания уклонного блока нефтешахты, в котором используется положительное действие тепловых депрессий,

возникающих естественным путем¹. Основная идея предложенного способа проветривания заключается в следующем.

В уклонный блок воздух поступает из главных выработок через ходок 1, а удаляется по вентиляционной скважине 3 на поверхность (рис. 2).

Воздух, температура которого равна температуре пород (порядка 10 °С), по ходку поступает в буровую галерею 2. Температура воздуха в буровой галерее, согласно работам [1, 2, 5, 7], может достигать 55 °С и выше, в результате чего подаваемый воздух нагревается и становится более легким. Нагретый воздух за счет разрежения направляется вверх к устью 7 вентиляционной скважины. Для поддержания устойчивой направленности потока воздуха по скважине она оборудуется на поверхности источником тяги (дефлектором или вентилятором) 9. Из-за разности температур воздуха, поступающего в уклонный блок, и воздуха, выходящего из буровой галереи, между выработками возникает естественная тяга h_e , направление действия которой совпадает с требуемым направлением движения воздуха. Установленный в уклоне 6 воздушный тамбур с перемычками 4 предотвратит возможность поступления нагретого воздуха в уклон и далее в выработки главных направлений. Для прохода горнорабочих из буровой галереи в уклон и из него в перемычках установлены двери 5. Наличие тамбура, выполненного из перемычек, с дверьми исключает возможные утечки нагретого воздуха в уклон в момент открытия одной из дверей. Труба 8, устанавливаемая в устье скважины, препятствует осыпанию породы и попаданию атмосферных осадков в скважину, улучшает проветривание и ограждает скважину от возможности попадания в нее посторонних предметов. Высота трубы выбирается такой, чтобы

исходящий из источника тяги 9 воздух выбрасывался выше зоны дыхания человека (порядка 2–2,5 м). Источник тяги выбирается в зависимости от объема воздуха, необходимого для проветривания уклонного блока, диаметра скважины, т.е. ее аэродинамического сопротивления, климатических условий региона и температуры воздуха в буровой галерее.

Рис. 2. Упрощенная схема предлагаемого способа проветривания уклонного блока нефтешахты: а – вид сверху; б – вид сбоку; 1 – ходок; 2 – буровая галерея; 3 – вентиляционная скважина; 4 – воздушный тамбур с перемычками; 5 – двери для прохода рабочих; 6 – уклон; 7 – устье скважины; 8 – труба; 9 – источник тяги (дефлектор или вентилятор)

¹ Система проветривания уклонного блока нефтешахты: заявка на изобретение № 2013120706 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Файнбург Г.З., Николаев В.А. – Поступл. 06.05.2013.

Устройство для создания тяги совместно с естественной тягой создадут необходимое разрежение для преодоления аэродинамического сопротивления вентили-

ляционной скважины. В качестве устройства создания тяги предлагается использовать дефлектор или вентилятор. В случае, когда дефлектор не будет способен создавать разрежение, необходимое для подачи в уклонный блок нефтешахты требуемого объема воздуха, вместо него устанавливают вентилятор необходимой мощности. Величина естественной тяги, действующей в уклонном блоке, рассчитывается в зависимости от нагрева пласта и точечных источников (добычных скважин) тепла по математическим зависимостям [8–12].

Управление проветриванием нефтешахты с позиции энергосбережения

В силу разности плотностей свежего и исходящего воздуха естественная тяга (общешахтная естественная тяга) также возникает между стволами нефтешахты. При этом данная естественная тяга, за счет того что удаляемый воздух имеет большую температуру (более легкий), чем поступающий, способствует увеличению подаваемого в нефтешахту воздуха. В этой связи в нефтешахту при помощи ГВУ можно подавать меньший объем воздуха, который будет компенсироваться за счет действия положительной общешахтной естественной тяги. Смоделированный в работе [13] процесс управления электроприводом ГВУ с учетом действия общешахтной естественной тяги показал, что даже в течение суток потребляемая на работу ГВУ электроэнергия может быть снижена на 11,7 % – с 38 160 до 33 686 кВт·ч (на 4474 кВт·ч $\approx$ 4,5 МВт·ч).

Известно, что согласно Единым правилам безопасности [14] в холодное время года воздух, подаваемый по стволам в нефтешахту, должен иметь температуру не ниже +2 °С, для чего он подогревается в калориферных установках до этой температуры. Поскольку верхний предел температуры поступающего в нефтешахту воздуха не ограничен, то на практике в стволы подают воздух, температура ко-

торого значительно выше требуемой, что вызывает следующие негативные последствия:

- общешахтная естественная тяга снижается, что приводит (при том же количестве подаваемого воздуха) к увеличению энергопотребления ГВУ;

- при определенных условиях работа калориферных установок становится причиной возникновения «воздушных пробок» в стволах, т.е. по одному из воздухоподающих стволов перестает поступать воздух;

- завышение температуры воздуха, подаваемого в нефтешахту, ведет к дополнительным затратам энергоресурсов (в основном природного газа), расходуемым на нагрев теплоносителя, поступающего в калориферные установки.

С целью исключения данных негативных последствий была разработана система автоматизации процесса согласованной работы шахтных калориферных и главной вентиляторной установок [15]. Предложенная система работает таким образом, что при изменении параметров наружного воздуха в теплое время года автоматически будет поддерживаться заданная производительность ГВУ за счет задающего устройства электропривода. В холодное время года система автоматизации будет контролировать теплопроизводительность калориферных установок за счет изменения тепловой мощности калориферов, а требуемая «смешиваемость» потоков воздуха (через калориферный канал, в случае его наличия, и подсосы наружного воздуха через надшахтное здание) в воздухоподающем стволе будет обеспечиваться за счет изменения режима работы нагнетательных вентиляторов калориферной установки.

Совместная работа главной вентиляторной и шахтных калориферных установок обеспечит поддержание подачи воздуха в нефтешахту в требуемом объеме, а в случае действия положительной общешахтной естественной тяги позволит

снизить затраты потребляемой электро-энергии. При этом регулирование теплопроизводительности калориферных установок позволит обеспечить требуемую температуру подаваемого в нефтешахту воздуха (+2 °C), что, в свою очередь, приведет к снижению затрат природных ресурсов на подогрев воздуха в калориферных установках и позволит исключить возможность образования «воздушных пробок» в стволах.

Заключение

Таким образом, одним из принципиальных вопросов развития и поддержания

объемов добычи нефти на нефтешахтах в XXI в. становится организация «бережливого проветривания», достигаемого всеобщим снижением необоснованной и нерациональной (а потому в целом предотвратимой) излишне затратной «мощи» проветривания за счет рационального использования свежего воздуха и оптимальной организации проветривания, ведущих к максимальному повышению его эффективности при минимизации затрат. Это, в свою очередь, позволит оптимизировать затраты на проветривание, а также на обеспечение безопасной и производительной работы нефтешахт.

Список литературы

1. Термощахтная разработка нефтяных месторождений / Ю.П. Коноплев, В.Ф. Буслаев, З.Х. Ягубов, Н.Д. Цхадая; под ред. Н.Д. Цхада. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2006. – 288 с.
2. Chertentkov M.V., Mulyak V.V., Konoplev Y.P. The Yarega Heavy Oil Field – History, Experience, and Future // *Journal of Petroleum technology*. – 2012. – № 4. – P. 158–160.
3. Справочник по рудничной вентиляции / под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1977. – 328 с.
4. Файнбург Г.З. Бережливое проветривание как неотъемлемый элемент рудника будущего // *Рудник будущего*. – 2013. – № 1(13). – С. 53–57.
5. Коноплев Ю.П., Гуляев В.Э. Внедрение новых методов термощахтной разработки на Ярегском месторождении высоковязкой нефти // *Нефтяное хозяйство*. – 2011. – № 2. – С. 89–91.
6. 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.
7. Исаевич А.Г. Особенности проветривания нефтешахты // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы науч. сессии Горн. ин-та УрО РАН*. – Пермь, 2012. – Вып. 10. – С. 247–248.
8. Kutateladze S.S., Kirdyashkin A.G., Ivakin V.P. Turbulent natural convection on a vertical plate and in a vertical layer // *Int. J. Heat Mass Transfer*. – 1972. – Vol. 15, № 2. – P. 193–202.
9. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности: в 2 ч. – М.: Высшая школа, 1982. – 304 р.
10. Handbook of Heat and Mass Transfer Operations / Ed. N.P. Cheremisinoff. – Houston: Gulf. Publ., 1986. – Vol. XIV. – 1456 p.
11. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с.
12. Roseno W.M., Hartnett J.P., Gani E.N. Handbook of Heat Transfer Fundamentals. – 2nd ed. – New York: Me Grow-Hill Book Company, 1985. – 1374 p.
13. Седунин А.М., Николаев А.В., Седнев Д.Ю. Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2012. – № 11. – С. 2–7.
14. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ИБ 03-553-03). Сер. 03. Вып. 33 / НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2003. – 200 с.
15. Система автоматизации главной вентиляторной установки: пат. 131083 Рос. Федерация: МПК E21 F 1/00, F24 H 3/04 / Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Энергосервис». – № 2013112380/03; заявл. 19.03.2013; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

References

1. Konoplev Yu.P., Buslaev V.F., Yagubov Z.Kh., Tskhadaia N.D. Termoshakhtnaia razrabotka neftiannykh mestorozhdenii [Thermal-mining oil field development]. Moscow: Nedra-Biznesstsent, 2006. 288 p.
2. Chertentkov M.V., Mulyak V.V., Konoplev Y.P. The Yarega Heavy Oil Field – History, Experience, and Future. *Journal of Petroleum technology*, 2012, no. 4, pp. 158–160.
3. Spravochnik po rudnichnoi ventilatsii [Handbook of mine ventilation]. Ed. K.Z. Ushakov. Moscow: Nedra, 1977. 328 p.
4. Fainburg G.Z. Berezhlivoe provetrivanie kak neot'emlemyi element rudnika budushchego [Lean ventilation as an inherent system of future mines]. *Rudnik budushchego*, 2013, no. 1(13), pp. 53–57.
5. Konoplev Yu.P., Gulyaev V.E. Vnedrenie novykh metodov termoshakhtnoi razrabotki na Iaregskom mestorozhdenii vysokoviazkoi nefi [Implementing new methods of thermal-mining development at Yarega field of high-viscosity oil]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2011, no. 2, pp. 89–91.
6. 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.
7. Isaevich A.G. Osobennosti provetrivaniia nefteshakhty [Specificity of oil mine ventilation]. *Materialy nauchnoi sessii Gornogo instituta Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk "Strategia i protsessy osvoeniia georesurov"*. Perm', 2012, no. 10, pp. 247–248.
8. Kutateladze S.S., Kirdyashkin A.G., Ivakin V.P. Turbulent natural convection on a vertical plate and in a vertical layer. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1972, vol. 15, no. 2, pp. 193–202.
9. Beliaev N.M., Riadno A.A. Metody teorii teploprovodnosti [Methods of heat transfer theory]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1982. 304 p.
10. Handbook of Heat and Mass Transfer Operations. Ed. N.P. Cheremisinoff. Houston: Gulf. Publ., 1986, vol. XIV. 1456 p.
11. Kutateladze S.S. Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of heat exchange]. Moscow: Atomizdat, 1979. 415 p.
12. Roseno W. M., Hartnett J.P., Gani E.N. Handbook of Heat Transfer Fundamentals, 2nd ed. New York: Me Grow-Hill Book Company, 1985. 1374 p.
13. Sedunin A.M., Nikolaev A.V., Sednev D.Iu. Elektroprivod glavnoi ventilatornoi ustanovki nefteshakhty, reguliruemyi s ucheto deistviia obshcheshakhtnoi estestvennoi tiagi [Regulation of electric drive of the main fan unit in oil mine depending on overall natural draught]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2012, no. 11, pp. 2–7.

14. Edinye pravila bezopasnosti pri razrabotke rudnykh, nerudnykh i rossypnykh mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh podzemnym sposobom (PB 03-553-03) [Unified safety standards of ore, industrial mineral and placer deposits development by underground technique (PB 03-553-03)]. Moscow, 2003. 200 p.

15. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sedunin A.M. Sistema avtomatizatsii glavnoi ventilatornoi ustanovki [A system of main fan unit automatization]. Patent no. 131083 Russian Federation.

Об авторах

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

Файнбург Григорий Захарович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, директор Института безопасности труда, производства и человека Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: faynburg@mail.ru).

About the authors

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

Grigoriy Z. Fainburg (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mining Activity; Director, Institute of Labour, Production and Human Safety, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29; e-mail: faynburg@mail.ru).

Получено 14.01.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Николаев А.В., Файнбург Г.З. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок нефтешахт // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 92–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10

Please cite this article in English as:

Nikolaev A.V., Fainburg G.Z. On energy and resource-saving of underground oil mine workings. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 14, pp. 92–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10