

## ТЕРМОДИНАМИЧНИ ОСОБЕНОСТИ ПРИ ЕСТЕСТВЕНА ВЕНТИЛАЦИЯ НА КАРИЕРИТЕ

**Пламен Савов, Майя Вацкичева**

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700, psavov@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Процесът на генериране, разпространение и отлагане на праха във въздуха на мините и кариерите е един от основните, които се проследяват за оценка на качеството на въздуха. Метеорологичните условия са главен фактор при формиране на атмосферната стратификация и заедно с комплексната топография на кариерата предизвикват сложен процес на разпространение (рециркулация, вторично излъчване и утаяване) на праховите примеси в атмосферния граничен слой. Поради тази причина определянето на режима на вентилация в кариерите е сложен процес, върху който оказват влияние както естествената ветрова система с нейните денонощни и сезонни особености, така и пряката слънчева радиация, често формираща многослойна атмосферна стратификация. В тази работа са представени резултати от сравнението на експериментални данни с тези от прост термодинамичен теоретичен модел, описващ процеса на естествено проветряване на кариерите. Моделът отчита погълнатата през деня слънчева топлина, като симулира процеса на охлаждане на склоновете на кариерата през нощта и генерираната в резултат на това локална ветрова система.

### THE THERMODYNAMIC PECULIARITY OF THE NATURAL VENTILATION OF OPEN PIT MINES

**Plamen Savov, Maya Vatzkitcheva**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria*

**ABSTRACT.** Dust generation and its dispersion has been the major concern in ambient air quality in deep cavities such as open cast mines. The meteorological conditions within the deep open pit mines are significantly affected by temperature (stability) and roughness conditions which ultimately generate complex dispersion phenomenon including separation of atmospheric boundary layer, recirculation, resuspension and settling of dust. The determination of the internal ventilation regime within the open pit is a complex process as the driving natural wind system will change subject to diurnal and seasonal changes in its strength and direction, which are dictated by the local wind systems and the differential heating of the earth's surface by the sun. In this paper are presented the results from the simple thermodynamic model of the dynamic of open pit ventilation systems. The model can simulate the diurnal change of the solar radiation that take place during the day and the release of this energy during the evening and night as natural ventilation.

### Въведение

Основно направление в развитието на промишления добив на полезни изкопаеми се явява откритият способ на разработка на месторожденията. Дълбочината при по-голямата част от съвременните кариери е в границите 150 – 450 m, като в перспектива тя ще продължава да се увеличава.

При проектирането на кариерите е необходимо да се оцени ефективността на тяхното естествено проветряване с цел прогноза на състава на атмосферните примеси и предписание на необходимите средства и начини за борба с тях.

Изискването за непрекъснато подобряване на условията на труд на минните работници и необходимостта от интензификация на производството поставя пред изследователите на процесите на аерация на кариерите редица нови задачи, които предполагат едно по-дълбоко изучаване на законите на проветряване в зависимост от процесите на образуване, разсейване и утаяване на вредните примеси в тясна връзка с микроклиматичните особености на кариерното пространство.

Необходимостта от решаването на този сложен проблем доведе до значително увеличаване на броя на научните изследвания свързани с аерацията на кариерите, като в процеса на проучване се използват най-съвременни методи и апаратура за измерване на параметрите на атмосферата и показателите на въздуха в кариерите (Grainer and Meroney, 1993; Loska, 2007). Едновременно с експерименталните изследвания голяма част от работите в областта са посветени и на теоретични разработки на модели за предвиждане на процесите на разпространение на вредните примеси в атмосферата на откритите рудници (Baklanov, 1986; Vodnor et al., 2008).

Настоящата работа разглежда оценката на потенциала за естествено термодинамично проветряване на кариерите чрез използване на експериментални данни за метеопараметрите и процеса на нагряване и охлаждане на кариерните склонове. На базата на тези данни са пресметнати скоростите на конвективните потоци по склоновете на кариерата през деня в зависимост от тяхното географско разположение.

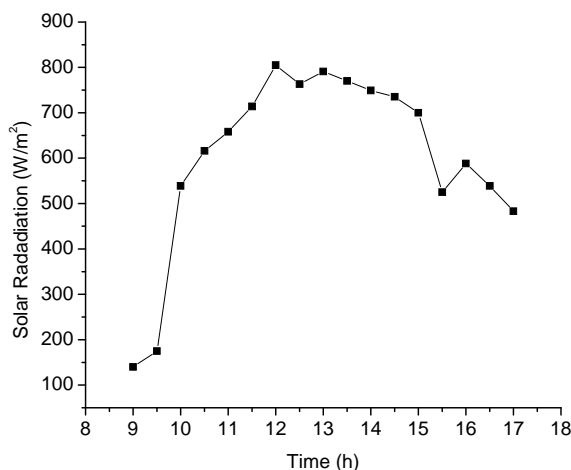
## Експериментални резултати

Спецификата на кариерите, формираща микроклиматическите особености, зависи от абсолютните и относителните размери на кариерата, географската ориентация, експозицията и степента на разработка на страничните склонове, от минералния и петрографски състав, албедото и физикохимичните свойства на подложната повърхност.

Главен източник на топлинна енергия за всички атмосферни термодинамични процеси се явява слънчевата радиация. Притокът на топлина към даден участък зависи от неговата ориентация, наклон, време от денонощието, окраска и др. Количеството на сумарната слънчева радиация на дъното на кариерата и на нейните бордове при безоблачно време зависи от изменението на ъгъла на падане на слънчевите лъчи върху разглежданата повърхност.

За да се симулират процесите на нагряване на склоновете на кариерата, са използвани два контейнера с обем  $0,03 \text{ m}^3$  и повърхнина  $0,1 \text{ m}^2$  - със североизточно и югоизточно изложение съответно. Контейнерите са пълни с около  $45 \text{ kg}$  варовик с размери на късовете в диапазона  $1 - 4 \text{ cm}$ . За определяне на температурата на две дълбочини -  $5$  и  $10 \text{ cm}$  са използвани калибрирани терморезистори. Слънчевата радиация е измервана с термоелектричен пиранометър. Измерванията са проведени в края на юни 2014.

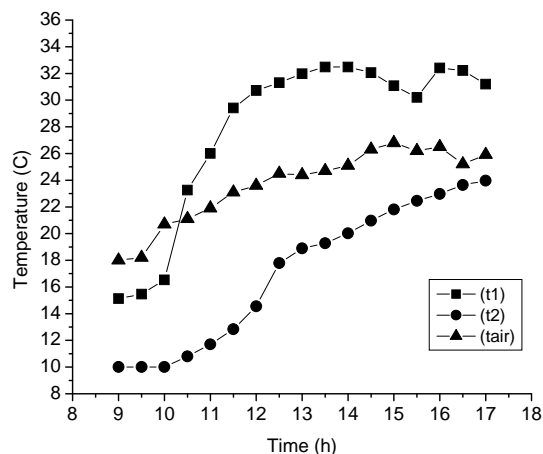
На фигура 1 са представени стойностите на слънчевата радиация през деня. Тя се променя от около  $150 \text{ W/m}^2$  в сутрешните часове до около  $800 \text{ W/m}^2$  към обяд, след което започва да спада и в  $17$  часа достига до  $500 \text{ W/m}^2$ .



Фиг.1. Стойности на слънчевата радиация през деня

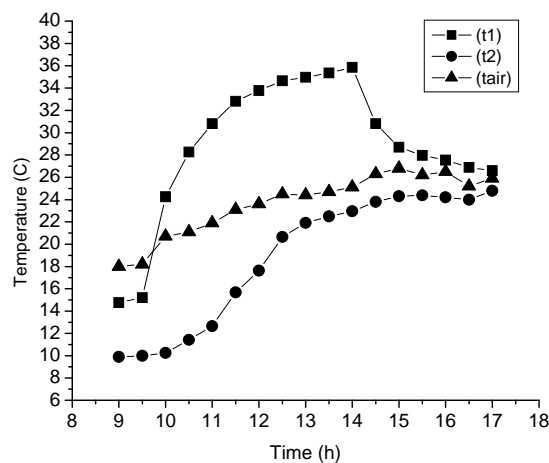
На фигура 2 са представени данни за еволюцията на температурите на варовика на две дълбочини ( $5$  и  $10 \text{ cm}$ ) и на температурата на въздуха. В началото на деня до около  $10$  часа температурата на скалите е по-ниска от тази на въздуха, след което температурата на дълбочина  $5 \text{ cm}$  бързо надхвърля тази на въздуха, като около обяд повърхностният слой се нагрява до около  $33^\circ\text{C}$ . Температурата на скалните късове на дълбочина  $10 \text{ cm}$

дори в  $17$  часа не успява да достигне тази на въздуха от около  $24^\circ\text{C}$ .



Фиг. 2. Промяна на температурата на варовика на дълбочина  $5 \text{ cm}$  (кривата с квадратчета), на дълбочина  $10 \text{ cm}$  (кръгчета) и на въздуха (триъгълници), североизточно изложение

На фигура 3 са представени данните от контейнера с югозападно изложение. За него е характерно, че след  $14$  часа този склон е вече засенчен. Много добре се вижда как повърхностният слой бързо се охлажда, като само около час след засенчването температурата му почти достига тази на въздуха, докато на дълбочина  $10 \text{ cm}$  влиянието на засенчването е значително по-слабо.



Фиг. 3. Промяна на температурата на варовика на дълбочина  $5 \text{ cm}$  (кривата с квадратчета), на дълбочина  $15 \text{ cm}$  (кръгчета) и на въздуха (триъгълници), югозападно изложение

Разпределението на топлинната енергия в обема на кариерата се определя от температурата на подложната повърхност. На свой ред, непосредственият контакт между подложната повърхност и въздуха определя температурата на последния за сметка основно на топлообмена.

Приходът на топлина към повърхността на кариерата е неравномерен във времето. Неговото специфично разпределение между различните нива и бордове формира в обема на кариерата своеобразно температурно поле, което съществено се различава от това на повърхността.

## Теоретични пресмятания

Разпространението на примесите в кариерата, характера и нивото на замърсяване на въздуха се определят от структурата, посоката, скоростта и режима на въздушните потоци, действащи при различните схеми на естествено проветряване. В основата на класификацията на аеродинамичната картина на движение на въздуха под влияние на естествените термични и/или динамични сили лежат четири типа схеми на аерация: конвективна; инверсионна; правопоточна и рециркуляционна. В редица случаи могат да се наблюдават и комбинирани схеми на проветряване.

Главните физични величини, определящи възникването на една или друга схема на проветряване са скоростта и посоката на вятъра на повърхността и големината на вертикалния температурен градиент в атмосферата на кариерата.

Скоростта на въздуха в кариерата зависи от скоростта на вятъра на повърхността, температурния градиент и от геометрията и ориентацията на кариерата. При скорост на вятъра на повърхността по-ниска от 2 – 3 m/s скоростта на въздушните потоци в кариерата в значителна степен се определят от термичния фактор.

В тази работа е анализирана конвективната схема на проветряване на кариерата. При тази схема на аерация въздухообмена в кариерата се осъществява от възходящите въздушни потоци, възникващи за сметка на притока на топлина към повърхността. Под влияние на слънчевата радиация конвективните потоци активно се развиват през деня, а при пожари и окислителни процеси могат да се наблюдават и нощно време. Конвективно движение на въздуха в кариерата възниква когато вертикалния температурен градиент е положителен и стойността му надвишава сухо адиабатния градиент ( $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ).

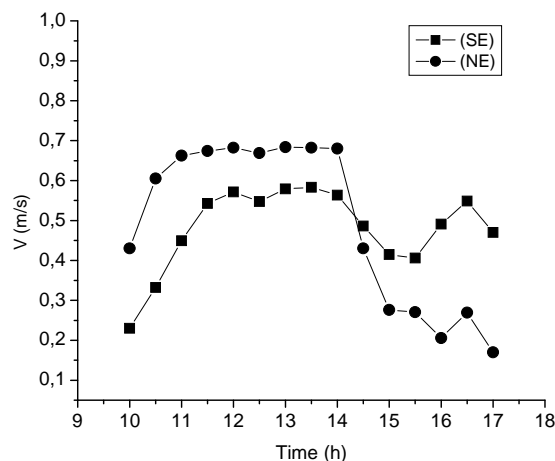
Скоростта на възходящия поток се определя от интензивността на нагриване на съответния борд, неговия ъгъл на наклон и от минералния състав. Ориентировъчно скоростта на възходящите въздушни потоци може да бъде пресметната по формулата (Никитин и Битколов, 1975; Бересневич и др., 1990).

$$v = 0,06 \sqrt{g(H-h) \left( \frac{t_n}{t_b} - 1 \right) \sin \alpha},$$

където  $H$  е дълбочината на кариерата,  $h$  е дълбочината на точката, за която се изчислява скоростта,  $t_n$  е температурата на повърхността на склона,  $t_b$  е температурата на въздуха на повърхността на кариерата,  $\alpha$  е ъгълът на наклона на съответния склон.

На базата на тази формула и от експерименталните данни за температурите се получават скорости на въздушните потоци, които са показани на фиг. 4. За дълбочината на кариерата е взета стойност 150 m, дълбочината на точката за която се определя скоростта на възходящите потоци, е 50 m, а ъгълът на наклона на

склоновете -  $20^\circ$ . От фигурата се вижда, че скоростта на възходящия поток на склона със североизточно изложение след 11 часа достига стойности от около 0,7 m/s, а на другия - 0,6 m/s. След засенчването на склона със североизточно изложение, скоростта на потоците нагоре бързо спада, като два часа след засенчването достига 0,2 m/s.



Фиг. 4. Еволюция на скоростта на въздушните потоци през различните часове от деня, за двете ориентации на склоновете (NE – североизточно и SE – югоизточно изложение)

## Заклучение

Експерименталните данни за еволюцията на температурата на късовете варовик за двете дълбочини 5 и 10 cm, показват, че в началото на деня температурата на скалните късове е по-ниска в сравнение с тази на въздуха. Само след около час – за контейнера с югозападно изложение и след около час и половина – за този със североизточно изложение температурата на варовика превишава тази на околния въздух, като около обяд достига стойности с десет градуса по-високи от тези на въздуха.

След засенчването на контейнера със североизточно изложение, температурата на дълбочина 5 cm започва сравнително бързо да се понижава, като за час тя спада с осем градуса и е само с около два градуса по-висока от тази на околния въздух.

При пресмятането на скоростта на вертикалните въздушни потоци за двете ориентации се вижда, че за склона с югоизточно изложение скоростта на потока в следобедните часове, с малки изключения, се поддържа около 0,6 m/s. За контейнера със североизточно изложение, поради по-бързото му нагриване в началото на деня и достигането на по-високи температури на повърхността, за скоростта на конвективния поток се получават стойности от около 0,7 m/s, която само около час след засенчването спада до около 0,2 m/s.

На базата на тази информация могат да се направят следните изводи:

- Продължителността и интензитетът на слънчевото греене, както и геометрията и ориентацията на кариерата, определят степента на нагряване на съответните склонове.
- Температурният градиент между повърхността на кариерните склонове и въздуха на повърхността определят от своя страна скоростта и времетраенето на конвективните потоци.
- Интензитетът и продължителността на тези потоци формират специфичните условия за проветряване на атмосферата на кариерите в зависимост от тяхната геометрия, ориентация, дълбочина и минерален състав, което в крайна сметка определя и комфорта за работа в мините.

## Литература

- Бересневич, П., Михайлов В., Филатов С., 1990. Аэрология карьеров, Москва, Недра.
- Никитин В., Битколов Н., 1975. Проветривание карьеров. Москва, Недра.
- Baklanov A., 1986. A method for evaluating the energy characteristics of the air in an open pit mine. *Journal of Mining Science*, 22.1, pp.66-70.
- Bodnor T., Benez and Kozel, K. 2008. Numerical simulation of flow and pollution dispersion in the area of opencast coal mine. *American Institute of Physics, Conference proceedings*. 1048, 100-103.
- Grainer C. and Meroney, R.N. 1993. Dispersion in an open-cut coal mine in stably stratified flow. *Boundary-Layer Meteorology*, 63, 117-140.
- Loska, G. 2007. Variations in microclimate modified by open-cast mining: case studies from hungary. *Gogr.Fis.Dinan. Quat*, 30, 215-218.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Физика“.