

И.А. Шайхлисламова, к.т.н.
(Государственное ВУЗ «НГУ»),
В.И. Муравейник, к.т.н. (НМетА)

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

Запропоновано для характеристики теплового випромінювання у виробках глибоких шахт використовувати наступні показники: інтегральна випромінювальна здатність (q_u) і наведена радіаційна температура (t_R). Визначено значення цих показників, виявлено фактори, що впливають на динаміку теплового випромінювання, зроблено висновок про доцільність застосування в гарячих вибоях установок радіаційного охолодження

THERMAL RADIATION IN GENERATION OF DEEP MINE

Proposed to characterize the thermal radiation into the workings of deep mines using the following parameters: integrated emissivity (q_u) and the radiation temperature-slave (t_R). The significance of these figures, revealed factors that influence the dynamics of thermal radiation, concluded that use of the hot face of radiation cooling units

Микроклимат глибоких шахт характеризується небагатоприятними значеннями температури воздуха, вологості і теплового излучения [1]. Высокая температура свежееобнаженных горных пород в забоях на больших глубинах (45 - 65 °C) обуславливает интенсивную инфракрасную радиацию в горных выработках, величина которой пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры окружающих поверхностей:

$$E = \varepsilon \sigma T^4, \quad (1)$$

где E – интенсивность теплового излучения, $Вт/м^2$; ε – степень черноты излучающей поверхности ($\varepsilon < 1$); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(м^2 \text{ К}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура излучающей поверхности, $К$.

Расчетное значение теплового излучения составляет 550-650 $Вт/м^2$, однако это лишь одна из составляющих радиационного баланса шахтеров, находящихся на глубоком горизонте шахты. Для количественной характеристики терморрадиационного режима горных выработок и радиационного баланса горнорабочих используется два показателя: интегральная излучательная способность выработки и приведенная радиационная температура.

Интегральной излучательной способностью горной выработки q_u , $Вт/м^2$ называется суммарный поток инфракрасной радиации, падающей на помещенное в центре сечения выработки сферическое тело с внешней поверхностью 1 м^2 .

Приведенной радиационной температурой горной выработки t_R , °C называется температура внутренней поверхности сферы, которая обеспечивает в замкнутом безвоздушном объеме поток интегрального излучения такой же плотности, как и наблюдаемая в центре сечения выработки при фактическом температурном поле окружающих поверхностей и фактическом состоянии рудничной атмосферы.

Предложенные параметры q_u и t_R характеризуют терморрадиационный режим

горных выработок с учетом оптических особенностей выработок как излучающих систем, т. е. с учетом углового коэффициента излучения, поглощающего и излучающего действия вентиляционной струи и неравномерности инфракрасного излучения по отдельным направлениям, в том числе и в направлении выработочного пространства.

Для определения рассматриваемых параметров в конкретной выработке измеряют температуру воздуха, радиационно-конвективную температуру и скорость движения воздуха. Для этих целей используются аспирационный психрометр, анемометр и радиационно-конвективный термометр, состоящий из зачерненного ртутного термометра типа ТЛ-4 и герметичного цилиндрического экрана, выполненного из тонкой листовой меди и окрашенного снаружи сажей. При установившихся показаниях термометров в точке наблюдения измеряется скорость вентиляционной струи.

Параметры инфракрасной радиации рассчитываются по формулам, полученным для условий термодинамического равновесия между радиационно-конвективным термометром и окружающей средой, т. е. для условий, когда интенсивность нагрева и охлаждения радиационно-конвективного термометра становится одинаковой и соблюдается следующее тождество:

$$Q_n = Q_{omp} + Q_k + Q_{\varepsilon}, \quad (2)$$

где Q_n – поток инфракрасной радиации, падающий на внешнюю поверхность зачерненного экрана радиационно-конвективного термометра, $Вт$; Q_{omp} – поток инфракрасной радиации, отраженный внешней поверхностью экрана, $Вт$; Q_k – конвективная теплоотдача внешней поверхности экрана, $Вт$; Q_{ε} – собственное инфракрасное излучение внешней поверхности экрана;

$$Q_{omp} = (1 - \varepsilon) Q_n, \quad (3)$$

где ε – степень черноты внешней поверхности зачерненного экрана радиационно-конвективного термометра.

$$Q_k = \alpha F_{\varepsilon} (t_{Rk} - t_B), \quad (4)$$

где α – коэффициент конвективной теплоотдачи внешней поверхности экрана, $Вт/(м^2 \cdot град)$; F_{ε} – площадь внешней поверхности экрана, $м^2$; t_{Rk} – радиационно-конвективная температура, $^{\circ}C$; t_B – температура воздуха по сухому термометру, $^{\circ}C$.

$$Q_{\varepsilon} = \varepsilon C_0 \left(\frac{t_{Rk} + 273,15}{100} \right)^4 F_{\varepsilon}, \quad (5)$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $Вт/(м^2 \cdot град)$.

После замены величин, входящих в тождество (2), их выражениями из (3),

(4), (5) и соответствующих преобразований получаем расчетные формулы для определения интегральной излучательной способности и приведенной радиационной температуры горной выработки.

$$q_u = 5,7 \left(\frac{t_{Rk} + 273,15}{100} \right)^4 + 1,05 \alpha (t_{Rk} - t_B),$$

$$t_R = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{\alpha}{5,47} (t_{Rk} - t_B) + \left(\frac{t_{Rk} + 273,15}{100} \right)^4} - 275,15.$$

Коэффициент теплоотдачи α определяется по критериальным уравнениям в зависимости от значения критерия Рейнольдса [2]:

$$\text{при } Re = 80 \div 5 \cdot 10^3 \quad Nu = 0,695 \cdot Re^{0,46},$$

$$Re = 5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4 \quad Nu = 0,197 \cdot Re^{0,6},$$

где $Nu = \frac{\alpha d_э}{\lambda}$ – критерий Нуссельта; $Re = \frac{\bar{v} d_э}{\nu}$ – критерий Рейнольдса; \bar{v} – скорость вентиляционной струи в точке наблюдения, $м/с$; $d_э$ – внешний диаметр экрана радиационно-конвективного термометра, $м$; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $м^2/с$; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, $Вт/(м \cdot град)$.

По результатам экспериментальных наблюдений в глубоких шахтах Донбасса определены фактические значения параметров инфракрасной радиации горных выработок и сделаны следующие выводы.

В холодное время года выработки околоствольных дворов откаточных горизонтов имеют, как правило, низкую излучательную способность $300-400 \text{ Вт}/м^2$.

Интегральная излучательная способность откаточных выработок увеличивается на $100-200 \text{ Вт}/м^2$ в направлении от воздухоподающего ствола к лавам за счет увеличения температуры стенок выработок и вентиляционной струи. Более высоким температурам воздуха, как правило, соответствует большая излучательная способность выработок, что существенно ухудшает тепловые условия, поскольку интенсифицируется перегрев организма, особенно в участковых выработках. Максимальную излучательную способность ($500-600 \text{ Вт}/м^2$) имеют очистные и подготовительные забои, что связано с наличием свежееобнаженных поверхностей горного массива. Поэтому суммарное количество тепла, которое необходимо отводить от горнорабочих, увеличивается на $150-300 \text{ Вт}$ при переходе из околоствольного двора откаточного горизонта в действующие забои.

Высокая излучательная способность горных выработок объясняется не только повышенной температурой стенок, но и максимальным значением углового коэффициента излучения, поскольку выработки являются замкнутыми излучающими системами.

Откаточные выработки характеризуются снижением во времени излучательной способности, что можно объяснить снижением температуры воздуха в связи с увеличением мощности охлажденной зоны вокруг выработок. Однако в призабойной зоне подготовительных выработок наблюдается обратная картина – существенное увеличение излучательной способности по мере удаления забоя от воздухоподающего ствола, что связано с повышением температуры воздуха, поступающего в призабойную зону и температуры излучающих поверхностей в связи со снижением охлаждающей способности вентиляционной струи.

Обводненность выработок и естественная влажность горных пород оказывает влияние на терморрадиационный режим выработок, так как испарение влаги снижает температуру стенок. Орошение водой горной массы и стенок выработок приводит к снижению их излучательной способности на $5-10 \text{ Вт/м}^2$ в зависимости от термодинамических параметров и скорости вентиляционной струи.

На ход лучистого теплообмена в выработках оказывает влияние тип крепи, в частности, арочное крепление с деревянной затяжкой играет роль защитного экрана, снижающего интенсивность лучистого теплообмена между горным массивом и телом горнорабочих.

Плотность лучеиспускания стенок выработок зависит от интенсивности окислительных процессов, в частности повышенная запыленность участков выработок угольной пылью может оказывать при разработке некоторых угольных пластов заметное влияние на температуру стенок выработок, повышая их излучательную способность. При переходе горных работ на более глубокие горизонты (1200-1700 м) степень влияния окислительных процессов на терморрадиационный режим выработок возрастает. При разработке угольных пластов, склонных к самовозгоранию, может быть зафиксировано аномальное увеличение излучательной способности очистных забоев даже на небольших глубинах.

Источниками инфракрасного излучения в выработках также являются свежеотбитые от массива порода и уголь, имеющие температуру выше, чем температура окружающих поверхностей. Наличие в забое свежеотбитой горной массы повышает излучательную способность призабойной зоны выработки на $10-15 \text{ Вт/м}^2$ в зависимости от температуры горного массива, способа отбойки и характера навала отбитой массы. Взрывные работы приводят к повышению температуры поверхности забоя и отбитой горной массы, что в свою очередь повышает излучательную способность призабойной зоны на $5-10 \text{ Вт/м}^2$.

Локальными источниками инфракрасной радиации в выработках являются люди, а также разогретые поверхности горных машин и оборудования, например поверхности комбайнов, электровозов, электродвигателей, вагонеток со свежеотбитой горной массой, трубопроводов сжатого воздуха и т. п. В этом случае интегральная излучательная способность выработки в зоне расположения локального источника ИР может изменяться, увеличиваясь в отдельных случаях на $5-15 \text{ Вт/м}^2$.

Наличие в горных выработках локальных охлажденных поверхностей (трубопроводы холодоносителя или охлажденного воздуха, воздухоохладители, ва-

гонетки, прибывшие в забой из околоствольного двора и охлажденные там свежей вентиляционной струей и т. п.) может обусловить снижение интегральной излучательной способности выработки в пределах $5-10 \text{ Вт/м}^2$ в зависимости от площади и температуры этих поверхностей.

Экспериментальные исследования показали, что применение установок радиационного (лучистого) охлаждения позволяет существенно уменьшить приведенную радиационную температуру и излучательную способность выработок. Например, радиационный кондиционер уменьшал излучательную способность одного из подготовительных забоев глубокой шахты на 62 Вт/м^2 и снижал приведенную радиационную температуру на 12°C . Радиационный нагрев организма человека в этих условиях снизился на $100-120 \text{ Вт}$, что резко улучшило тепловое состояние горнорабочих. Данный эффект радиационного охлаждения можно наглядно сравнить с увеличением конвективного охлаждающего действия вентиляционной струи, если охладить воздух на 10° .

Таким образом, при решении вопросов, связанных с обеспечением нормальных тепловых условий в глубоких шахтах необходимо учитывать терморadiационный режим выработок и, в частности, защищать горнорабочих от радиационного переохлаждения в околоствольных выработках в холодное время года и от радиационного перегрева в участковых выработках и действующих забоях в любое время года. Эффективным путем решения этой задачи может явиться применение установок радиационного (лучистого) нагрева на постоянных рабочих местах в околоствольных дворах откаточных горизонтов и установок радиационного охлаждения в действующих забоях глубоких горизонтов.

При конструировании спецодежды для горнорабочих глубоких шахт необходимо особо учитывать лучистый фактор, в частности, следует повышать отражательную способность материала спецодежды для горнорабочих горячих забоев.

При конструировании горных машин для глубоких шахт необходимо учитывать дополнительные трудности охлаждения электродвигателей в связи с высокой излучательной способностью окружающей среды, особенно в подготовительных и очистных забоях.

Таким образом, для характеристики теплового излучения в выработках глубоких шахт предложено использовать показатели: интегральная излучательная способность и приведенная радиационная температура. Анализ экспериментальных данных показывает, что тепловое излучение в выработках глубоких горизонтов превышает допустимые нормы [3]. Указаны пути снижения теплового излучения, в частности – за счет применения радиационного (лучистого) охлаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравейник В.И. Графо-аналитический метод решения термодинамических задач рудничной аэрологии / В.И. Муравейник, И.А. Шайхлисламова; Науковий вісник Державного ВНЗ «НГУ», 2011. №3. – С.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / Кутателадзе С.С.; Сибирское отделение. - Новосибирск: «Наука», 1970. С.416
3. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10, Київ, 2010 – 400с.