

УДК 622.413.3

**Р.А. Тишин** (аспірант)

Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности,

**И.А. Толкунов** (аспірант)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»,

**В.А. Сыроватченко** (инженер), **В.Б. Гого** (д-р техн. наук, проф.)

Красноармейский индустриальный институт

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЕГО ОРОШЕНИИ**

*Изложена сущность гидродинамического охлаждения рудничного воздуха при его орошении в локальных зонах горных выработок глубоких шахт в охлаждающих гидравлических установках с волновым способом диспергирования охлаждающей воды, обоснованы гидродинамические и энергетические характеристики процесса для решения проблемы охраны труда шахтеров по температурному фактору качества воздуха.*

**Ключевые слова:** гидродинамическое охлаждение, рудничный воздух, вода, капли.

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

Сущность проблемы состоит в том, что поступательное развитие экономики Украины в ближайшее десятилетие в значительной степени зависит от модернизации угольной отрасли как основы энергетической независимости страны, а также от высокопроизводительной работы шахтеров, для которой очень важно решать проблемы охраны труда [1], в частности по температурному качеству воздуха в горных выработках. Известно, что Украина обладает большими запасами угля (по прогнозам более чем на 500 лет), но при нынешних технологиях ведения горных работ требуется освоение глубоких горизонтов (более 1000м), где температура рудничного воздуха в выработках более 40°C, так как температура вмещающих горных пород превышает 45°C [2]. Кроме этого, увеличение добычи угля в таких условиях неотъемлемо сопровождается повышением энерговооруженности оборудования выемочных и проходческих участков, что создает дополнительные тепловые нагрузки и повышает температуру рудничного воздуха. Эти факторы формируют тяжелые условия ведения работ,

поскольку температура воздуха значительно превышает регламентную норму в 26°C при его высокой относительной влажности (75 - 96)%, что нарушает нормативы требований Правил безопасности [2] и Санитарных норм [3]. В таких условиях работает более 20 тыс. шахтеров, для которых длительное воздействие теплового потенциала может вызвать развитие «отрицательных компенсаторных функций основных систем организма и развитие патологий дыхательной, нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и других систем, а также привести к обострению профессиональных заболеваний шахтеров пневмокониозами, остеохондрозами и т.п.» [4].

**Цель исследования.** На основании вышеизложенного, сформулирована цель исследования – разработать физико-математическую модель процесса для повышения эффективности гидродинамического охлаждения рудничного воздуха орошением на основе диспергирования воды на капли и улучшения теплообмена, а следовательно охлаждения воздуха, что особенно важно для локальных зон горных выработок (например, в мест расположения мощного электрооборудования и др.).

**Анализ известных публикаций.** Предварительные исследования и анализ известных публикаций по данной проблеме позволяет предположить, что повышение эффективности гидродинамического процесса охлаждения рудничного воздуха при орошении, т.е. использовании диспергированной на капли воды, следует решать комплексно, одновременно с решением актуальной проблемы обеспыливая рудничного воздуха, на основе гидродинамических импульсно-волновых и термодинамических эффектов, изложенных в работах [1, 2]. Универсальное применение воды (технического качества из систем шахтного пожаротушения) как охладителя рудничного воздуха и средства его обеспыливая [5, 6] открывает для глубоких шахт возможность более эффективного и безопасного освоения горизонтов, где залегают высококачественные коксующиеся угли, а также повысить эффективность мероприятий по охране труда, направленных на нормализацию качества воздушной среды.

**Постановка задачи.** Выполнить моделирование, теоретическое описание и экспериментальную проверку, которые позволят рассматривать сложный гидродинамический и термодинамический процесс орошения как воздействие капель охлаждающей воды на теплотенциальный воздух в виде физико-математической модели охлаж-

дения воздуха с интенсивным контактным тепловым массообменом воздуха и капельной воды.

**Изложение материала и результаты.** Модель процесса: уменьшение влагосодержания воздуха (т.е. паров воды) вызвано диффузией содержащихся в воздухе паров, имеющих большее давление, чем давление насыщенных паров охлаждающей воды. При этом происходит конденсация паров воды из воздуха, что и снижает его температуру. Уравнение теплового энергетического баланса имеет вид:

$$Q_{жс} = Q_v + Q_n + Q_{кжс},$$

где  $Q_{жс}$  – количество теплоты, полученное капельной водой из воздуха;

$Q_v$  – количество теплоты, выделяемое сухой частью воздуха;

$Q_n$  – количество теплоты, выделяемое при конденсации паров;

$Q_{кжс}$  – количество теплоты, выделяемое сконденсировавшиеся водой при охлаждении ее до конечной температуры смеси.

При исследовании указанной модели принято, что гидродинамический поток капель в воздухе – это газожидкостная смесь (термодинамическое тело переменной массы, т.к. капли входят и выходят из потока), а термодинамический процесс, происходящий в рабочем объеме смеси происходит при переменном количестве теплоты рудничного воздуха от сечения образования смеси до сечения разделения компонентов потока на газ (воздух) и жидкость (воду), что характеризуется следующими допущениями: а) все, что происходит с компонентами до смешения их в термодинамическое тело или после разделения, не относится к переменной массе смеси; б) присоединение термодинамических компонентов к смеси понимается в том смысле, что с момента их присоединения эти компоненты ничем не отличаются от термодинамического тела (смеси); в) процесс выхода компонентов понимается в том смысле, что они уже не участвуют в изменении состояния тела.

Примем следующие условные обозначения параметров процесса:  $P$  – давление газа (воздуха) в пределах данного объема дисперсного тела потока (однородной смеси воздуха и движущихся в нем капель);  $\rho$  – плотность термодинамического тела;  $w$  – удельный объем;  $T$  – температура (абсолютная);  $dy$  – элементарная масса действующего компонента;  $W$  – объем термодинамического тела;  $J$  – масса термодинамического тела;  $U$  – удельная внутренняя энергия тела;  $L$  – внешняя работа;  $Q$  – внешнее тепло;  $dY$  – элементарная масса присое-

диняемого компонента потока;  $dY_k$  – элементарная масса отделяемого компонента;  $dZ$  – элементарное изменение энергии (теплоты) смеси в результате соединения компонентов;  $dZ_k$  – элементарное изменение энергии (теплоты) тела в результате разделения компонента.

Используем обозначения:  $dq=dQ/j$  – удельная величина теплоты;  $dl=dL/j$  – удельная величина работы.

Для исследования принимаем, что состояние гидродинамического многофазного потока переменной массы будет изменяться по принципу мгновенности взаимодействия, т.е. эффект энергетического взаимодействия, который вызывается включением присоединяемых компонентов (капель) в состав смеси и исключением отделяемых капель из состава тела, мгновенно и пропорционально передается по занимаемому объему. Также примем условие об однородности термодинамических компонентов по составу и структуре в элементарном объеме и отсутствии влияния энергии контакта между фазами (воздухом и каплями) на зависимость энергетических изменений термодинамического тела (воздушно-капельной смеси) как псевдогазового потока. Для принятых условий запишем основное уравнение термодинамики состояния потока в виде:

$$dQ = dU + dL, \quad (1)$$

а выражение для работы расширения:

$$dL = \rho dW. \quad (2)$$

Исходя из уравнений (1) и (2), только значение внутренней энергии  $U$  непосредственно определяется количеством термодинамического тела в рабочем объеме, так как  $U = uj$ , где  $U$  – удельная внутренняя энергия тела. Разделим уравнения (1) и (2) на  $j$  и из этого получим:

$$dQ/j = dU/j + dL/j.$$

Проведенный переход на удельные величины значительно облегчает дальнейшее исследование охлаждения дисперсного воздушно-капельного потока при условии постоянного по времени характера рабочего процесса и конечной массы термодинамического тела. На значении общей внутренней энергии смеси отражаются все формы энергетического взаимодействия (например, теплообмен через стенки трубопровода). Для произвольного количества смеси как псевдогаза запишем уравнение состояния в виде:

$$PW = j \cdot RT. \quad (3)$$

Проанализируем энергетическое взаимодействие компонентов. Пусть в некоторый момент процесса состояние действующих компонентов определяется внутренними термодинамическими переменными: давление –  $P$ , удельный объемом –  $w$  и удельной внутренней энергией –  $u$ . После присоединения компонентов к рабочему телу значение внутренних термодинамических переменных будет:  $P+dp$ ;  $w+dw$ ;  $u+du$ . Внешние (т.е. суммарные) термодинамические переменные запишем следующим образом: а) объем присоединяемого элемента после вхождения в объем рабочего тела:

$$dW_0 = (w + dw)dY = wdY; \quad (4)$$

б) работа вталкивания в объем рабочего тела присоединяемого элемента:

$$dL = -(P + dP) dW_0 = -pwdY; \quad (5)$$

в) располагаемая энергия присоединяемого элемента:

$$dZ_0 = P dY - (u+du)dY = (P - u)dY. \quad (6)$$

Располагаемая энергия представляет собой тепловую энергию газа, т.е. рудничного воздуха, которая передается жидкому компоненту (каплям воды). Учитывая (1-6), запишем окончательные зависимости для скорости изменения температуры псевдогазовой смеси (воздуха и капель):

$$dT/dt = [Rj(1 + b/a w T)] - 1(k - 1)(1 - \phi)(RT dj/dt - dL/dt). \quad (7)$$

После преобразований (7) получим дифференциальное уравнение для расчета конечной температуры воздуха в процессе его охлаждения капельной водой:

$$dT = [Rj(1 + b/a w T)] - 1(k - 1)(1 - \phi)(RTdj - dL). \quad (8)$$

Как показали предварительные экспериментальные исследования, полученная аналитическая зависимость (8) удовлетворительно описывает процесс. Экспериментально найдено, что при начальной температуре воздуха  $25^\circ\text{C}$  и начальной температуре воды  $20^\circ\text{C}$  установка с многокамерным водным эжектором [5, 6] снижала температуру воздуха в среднем на  $3^\circ\text{C}$ , что весьма удовлетворительно согласовывалось с расчетным значением по зависимости (8) (относительная погрешность составила 17%), а если начальная температура воздуха была  $35^\circ\text{C}$ , то при температуре воды  $10^\circ\text{C}$  (предварительно охлажденной) воздух охлаждался на  $9^\circ\text{C}$ .

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Рассмотренный способ гидродинамического охлаждения рудничного воздуха

орошением (капельной водой) позволяет снизить его температуру до санитарных норм и может быть применен для разработки простых и надежных гидродинамических установок охлаждения воздуха, особенно в тупиковых выработках глубоких шахт, куда воздух подается с помощью вентиляторов местного проветривания, а также для локальных зон горных выработок, где расположено мощное электрооборудование, выделяющее значительное количество теплоты, которое может быть аккумулялировано и отведено водой.

#### Список литературы

1. Бойко О.А. Предварительная оценка притока тепла массива горных пород в выработку и способы его сокращения для нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса / О.А. Бойко, В.А. Бойко // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 4. – С. 98-105.
2. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10.– [Чинний від 07.09.2011]. – Офіц. вид. – К.: 2010. – 310 с. – (Нормативно-правовий акт з охорони праці Держгірпромнагляду України).
3. Державні санітарні правила та норми. Підприємства вугільної промисловості: ДСП 3.3.1.095-2002.-ЗТВ в МОЗ України 13.12.2002. – К.: 2003. – 32 с. – (Нормативно-правовий документ Мінохоронздоров'я України).
4. Державний медичний університет ім. М.Горького (м. Донецьк) / Медична технологія після змінної реабілітації, диспансеризації та лікування робітників вугільних підприємств (методичні рекомендації) // Показники і критерії формування груп диспансерного нагляду з урахуванням шкодливої дії назріваючого мікроклімату. – 2005. – С. – 10-11.
5. Ежектор: пат. №16953 Україна, МПК F 04 F 5/16 / Гого В.Б., Малеев В.Б.; Власник Донецький нац. техн. універ.; друк. 15.09.06, бюл. № 9.
6. Ежекторний пиловловлювач: пат. №80139 Україна, МПК E21F 5/20 (2006.01) / Тишин Р.О., Булгаков Ю.Ф., Гого В.Б., Попов О.О., Нікіфоров М.А.; власник Донецький нац. техн. універ.; друк. 13.05.2013, бюл. №9.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2013

*Р.А. Тишин, Державний Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт в гірничій промисловості, І.А. Толкунов, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; В.А. Сироватченко, В.Б. Гого, Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

#### **Обгрунтування параметрів гідродинамічного охолодження рудникового повітря при його зрошенні**

*Викладено сутність гідродинамічного охолодження рудникового повітря при його зрошенні в локальних зонах гірничих виробок глибоких шахт в охолоджувальних гідравлічних установках з хвильовим способом диспергування охолоджуючої води, обгрунтовані гідродинамічні та енергетичні характеристики процесу для вирішення проблеми охорони праці шахтарів за температурним фактором якості повітря.*

**Ключові слова:** гідродинамічне охолодження, рудничне повітря, вода, краплі.

*R. Tishin, State Makiivka Research Institute; I. Tolkunov, Donetsk National Technical University; V. Syrovatchenko, V. Gogo, Krasnoarmiysk Industrial Institute of Donetsk National Technical University*

**Rationale for the Parameters of Mine Air Hydrodynamic Cooling during Irrigation**

*The article considers hydrodynamic cooling of mine air during irrigation in local areas in deep mines in cooling hydraulic units with wave dispersion of cooling water. We justified hydrodynamic and energy characteristics of the process to solve the problem of labour protection taking into account the temperature factor of air quality.*

**Keywords: hydrodynamic cooling, mine air, water, drops.**