

Теперь сервер может выполнить рассылку блоков информации и локальных таблиц маршрутизации доступным клиентам. При этом активизируется счетчик отправки, для того, чтобы после сравнения его со счетчиком возвратов и таймером для выполнения действий, сервер мог определить количество утраченных блоков, вычислить выбывших клиентов и корректно перераспределить вычислительные задачи для следующего такта.

Итак, допустим, блоки поступили к клиентам. При этом они меняют свое состояние на «Занят», то есть, единицу, и сверяют контрольные суммы для проверки целостности данных. Локальная таблица маршрутизации, высланная клиенту, сохраняется у него до завершения 1-го такта вычислений, после чего будет заменяться новой, присланной от сервера, если это необходимо. Далее, происходит выполнения расчета присланной вычислительной задачи, после чего реализуется запись результатов в базу данных, при этом, счетчик возвратов увеличивается каждый раз на единицу. Если по каким то причинам клиент не может справиться с задачей, но находится в сети (например, пользователь запустил ресурсоемкое приложение), то он может перенаправить исходные данные, высланные ему, любому ближайшему к нему клиенту, в локальной таблице маршрутизации, если этот клиент уже освободился от выполнения своей задачи, иначе данные в итоге будут считаться утерянными (если клиент не передаст результат вычислений в базу данных до завершения одного такта обработки).

По истечению времени установленного сервером в таймер для выполнения сервер сравнивает счетчик отправки со счетчиком возвратов. Если данные равны, то сервер сохраняет все результаты и переходит к следующему такту, не выполняя предварительного перераспределения вычислительных задач, поскольку все клиенты справились с заданием. Если же счетчики не равны, то сервер сохраняет уже готовые результаты, и анализирует, какие сегменты данных были утрачены, и какие клиенты не справились с задачей. В таком случае он произведет перераспределение вычислительной задачи относительно изменившихся данных и установит новый таймер на выполнение. При этом, блоки которые не были вычислены во время предыдущего такта будут заложены в новый.

На схеме клиенты изображены двумя блоками клиент-1 и клиент-N, это подразумевает, что клиентов может быть сколько угодно много.

#### *Список литературы*

1. Азарян А.А., Сапончук Ю.В., Кукушкин М.С. Грид-технологии для распределенных вычислений и обработки данных. //Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. -Кривой Рог, 2011. -С.80-87.
2. Демичев А.П. Введение в Грид-технологии / А.П. Демичев, В.А. Ильин, А. П. Крюков. – М. : Дело и Сервис, 2007.
3. Коваленко В.Н. Система выполнения массовых запросов на множестве распределённых реляционных баз данных/ В.Н. Коваленко, Е.И. Коваленко, А.Ю. Куликов – М, 2007.
4. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Грид>

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12

УДК 622.413.3

А. А. ЛАПШИН, Э.В. СЕРЕБРЕНИКОВ, кандидаты, техн. наук, доц.,

Д.А. ЛАПШИНА, студентка, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗДУШНО-ВОДОИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ**

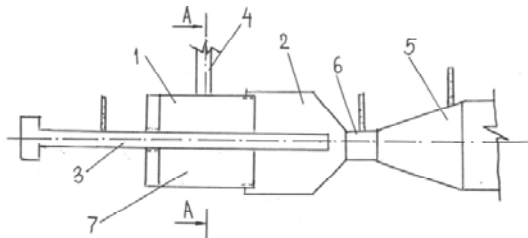
На основании экспериментального материала проведено математическое моделирование теплообменных процессов при воздушно-водоиспарительном охлаждении рудничной атмосферы, позволяющее с использованием вычислительной техники исследовать температурные режимы с целью оценки санитарно-гигиенических условий работы.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Анализ условий ведения подземных горных работ указывает на существование проблемы, связанной с нарушениями тепловых режимов, что может привести к нарушению условий труда, определяемых техникой безопасности. В связи с этим возникла необходимость устранения таких нарушений.

**Анализ исследований и публикаций.** Одним из возможных путей решения этой проблемы является создание устройств, обеспечивающих охлаждение рудничной атмосферы. Для этого в подземных выработках были проведены эксперименты, которые показали целесообраз-

ность применения воздушно-водоиспарительного охлаждения с целью обеспечения необходимого теплового режима ведения горных работ.

**Изложение материалов и результатов.** Способ водоиспарительного охлаждения, параметры которого обоснованы в разделе 5, предполагается использовать при температуре рудничного воздуха больше 32 °С, когда водо-форсуночное охлаждение будет недостаточным. Для этого разработана конструкция охлаждающей установки «дисперсоида», принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Работа установки основана на использовании сжатого воздуха для образования водовоздушной смеси и охлаждения ее в процессе адиабатического расширения.



**Рис. 1.** Принципиальная схема охлаждающей установки: 1 - цилиндрический корпус; 2 - конфузорный корпус; 3 - сопло; 4 - водоподводящий патрубок; 5 - диффузор-смеситель; 6 - цилиндрическая муфта; 7- полость корпуса

Согласно принципиальной схемы (см. рис. 1) корпус установки выполнен разъемным, состоящим из цилиндрической и конфузорной частей 1 и 2 соответственно. Пневматическое сопло 3 размещено в корпусе коаксиально, а водоподводящий патрубок 4 соединен с цилиндрической частью корпуса 1 тангенциально. При этом конфузорная часть корпуса соединена с выпускным диффузором 5 при помощи цилиндрической муфты 6. Установка работает следующим образом. Воздух, который под давлением выходит из сопла 3, вызывает разрежение в конфузорной части 2 корпуса. За счет этого из водоподводящего патрубка 4 и полости корпуса 7 вода поступает в цилиндрическую муфту 6, в которой происходит ее эжектирование и распыление с образованием водо – воздушной смеси. Вместе с этим происходит ее охлаждение следующим образом. При истечении сжатого воздуха из пневматического сопла 3 его температура снижается за счет адиабатического расширения. В процессе распыления воды происходит конвективный теплообмен между каплями воды и холодным воздухом с образованием водо - воздушной смеси.

Первичное взаимодействие холодного воздуха с каплями воды и теплообмен между ними происходит в цилиндрической муфте 6, который в дальнейшем продолжается в диффузоре 5.

Эффективность распыления воды в установке обеспечивается за счет того, что при входе в полость 7 из водоподводящего патрубка 4, который соединен с ней тангенциально, вода под действием центробежных сил приобретает вращательное – поступательное движение, что способствует ее распылению в цилиндрической муфте 6. Распыление воды и охлаждение капель продолжается в диффузоре 5.

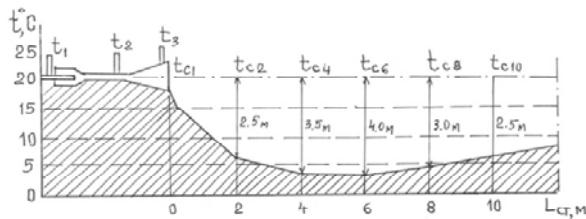
Воздушно-водоиспарительное охлаждение рудничной атмосферы происходит при истечении водовоздушной смеси из диффузора установки. При этом температура окружающего воздуха выше температуры смеси по крайней мере в 3 раза. Факел водовоздушной смеси расширяется, втягивая ближайшие слои теплого воздуха, при этом происходит его охлаждение за счет конвективного теплообмена и испарения капель воды. Учитывая мелкодисперсность капель, соизмеримых с аэрозолью тумана, позволяет рассматривать водо - воздушный факел как неизотермическую струю с температурой меньшей окружающей среды. Испытание охлаждающей установки производили в горных выработках шахт им. Ленина и «Родина» Криворожского железорудного комбината, где были в наличии все необходимые коммуникации сжатого воздуха и воды.

В процессе экспериментальных исследований определяли: скорость и температуру смеси, исходящей из диффузора  $v_0$  и  $t_0$ , их значения на расстоянии  $x$ , диаметр струи  $d$ , ее длину  $L$  в зависимости от диаметра диффузора  $d_0$  и давления воздуха  $P$ .

Для определения этих параметров известными являются: скорость и температура воздуха в камере  $v_p$  и  $t_p$ , диаметр и длина камеры  $d_k$  и  $l_k$  соответственно.

Результаты этих экспериментов свидетельствуют, что как скорость так и температура на периферии струи практически не отличаются от температуры и скорости воздуха окружающей среды. Следовательно, эффективный диаметр струи следует считать в пределах 3,0-4,0 м, что обеспечивается струями смеси, выходящей из диффузоров диаметром  $d = 0,3-0,35$  м.

На рис. 2 приведены графики изменения температуры воздуха в подводящем трубопроводе  $t_1$ , в цилиндрической муфте  $t_2$  и в диффузоре  $t_3$  установки, а потом по длине струи через каждые 2 м от диффузора.



**Рис. 2.** Динаміка температури по довжині факела:  $t_1, t_2, t_3$  - температури всередині дисперсоїда;  $t_{c1}, t_{c2}, \dots$  - середні температури по довжині факела

Для вимірювання температури в корпусі установки ( $t_1, t_2, t_3$ ) в місцях замірів приваривались патрубки  $\frac{1}{2}$  довжиною 100 мм, які заповнювались веретенним маслом. Температура повітря вимірювалась ртутним термометром,

який опускався всередині патрубка на всю глибину. Значення середніх температур по сеченню струї, що виходить з диффузорів з різними випускними отворами, свідчать про те, що в підводячій патрубку вона становить  $22^\circ\text{C}$ , в циліндричній муфті відбувається незначительне розширення стисненого повітря і зниження температури до  $20^\circ\text{C}$ . В диффузорі спостерігається зниження температури до  $17^\circ\text{C}$ , а на відстані 4-6 м від нього температура знижується до  $5^\circ\text{C}$ . Практично така температура зберігається на відстані 8-10 м від диффузора. Далі спостерігається підвищення температури, наприклад на відстані 12 м вона становить  $8^\circ\text{C}$ , а на відстані 25 м температура знаходиться в межах температур оточуючого повітря.

Найнижчі температури спостерігаються при використанні диффузорів діаметром  $d=0,25$  м, але при цьому діаметр струї на відстані 5-6 м від випускного отвору не перевищує 3,5 м, тому доцільніше приймати диффузор з випускним отвором діаметром 0,3-0,35 м, які дозволяють створювати діаметр струї 4-5 м.

Однак трудомісткість проведення таких експериментальних робіт, а також отримання результатів в вузькому інформаційному діапазоні вказують на необхідність застосування сучасних способів розв'язання даної проблеми, зокрема, шляхом математичного моделювання.

Організація на основі отриманих математичних моделей чисельних експериментів з використанням комп'ютерів дозволить знайти такі параметри досліджуваного пристрою, які забезпечать оптимальні режими охолодження гірних виробок.

На першому етапі моделювання необхідно вибрати структуру математичної моделі, яка описує теплообмінні процеси, що відбуваються при охолодженні рудничного повітря за допомогою використовуваного пристрою. Згідно з схемою пристрою, водовоздушна суміш під тиском подається з круглого диффузора в вигляді вільної осесиметричної струї в гірну виробку, забезпечуючи охолодження. Внаслідок турбулентності струї частково змішується з оточуючим її повітрям, увлекая за собою прилегливі шари. Важливо підкреслити, що досліджувана струя є затопленою, так як повітряна струя подається в оточуючий повітря горної виробки. Для знаходження структури функції, яка визначає зміну теплофізичних властивостей струї, доцільно використати циліндричні координати, помістив початок в центр круга вихідного отвору, горизонтальну вісь  $Ox$  направити вздовж струї, а радіус  $r$  - перпендикулярно до неї. Аналіз публікацій [1,2], присвячених дослідженню теплофізичних властивостей струй, показує, що структура математичної моделі, яка описує надлишкову температуру повітря в довільній точці охолодженої компактною струєю, що витікає з круглого отвору, може бути представлена в вигляді

$$\Delta T(r, x) = \Delta T_n a \left( \frac{r_0}{x} \right)^b e^{c \left( \frac{r}{x} \right)^2}, \quad (1)$$

де  $\Delta T(r, x) = T(r, x) - T_0$ ;  $\Delta T_n = T_n - T_0$ ;  $T(r, x)$  - абсолютна температура в точці струї з координатами  $(r, x)$ ;  $K, T_0$  - абсолютна температура оточуючого середовища,  $K$ ;  $T_n$  - середня абсолютна температура струї на виході з пристрою,  $K$ ;  $r_0$  - радіус вихідного отвору пристрою, м;  $a, b, c$  - числові параметри.

Для знаходження значень числових параметрів, що входять в формулу (1), необхідно використати результати експериментів, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення надлишкової температури в гірній виробці						
$x, \text{ м}$	2	4	6	8	10	12
$r, \text{ м}$	2,5	3,5	4,0	3,0	2,5	2,0
$\Delta T_{\text{н}}, \text{ К}$	-13	-16	-16	-15	-13	-8
$\Delta T_{\text{р}}, \text{ К}$	-12,81	-17,16	-14,81	-15,76	-11,7	-8,6

В дальнейших расчетах было принято  $T_o=298K$ ,  $T_n=293K$ ,  $r_o=0,3$  м.

Для удобства нахождения числовых параметров согласно данным, приведенным в табл. 1, целесообразно преобразовать формулу (1) путем логарифмирования

$$\eta = \alpha + b \cdot \xi_1 + c \xi_2, \quad (2)$$

где  $\eta = \ln(\Delta T / \Delta T_n)$ ,  $\alpha = \ln a$ ,  $\xi_1 = \ln(r_o/x)^2$ ,  $\xi_2 = (r/x)^2$ .

Для нахождения числовых параметров, которые входят линейно в формулу (2), был использован метод наименьших квадратов, реализованный функцией “ЛИНЕЙН”, входящей в “Мастер функций” в составе “Microsoft Excel”.

В результате проведенных расчетов были получены следующие значения  $\alpha=8,365$ ,  $b=2,104$ ,  $c=-2,197$ . При этом коэффициент множественной корреляции равнялся  $R=0,955$ , что указывает на тесную корреляционную зависимость. С учетом полученных значений формула (1) примет вид

$$\Delta T(r, x) = 4294,1 \Delta T_n (r_o/x)^{2,104} e^{-2,197 \left(\frac{r}{x}\right)^2} \quad (2 \leq x \leq 12). \quad (3)$$

Расчет по формуле (3), приведенный в последней строке табл. 1, показывает практическое совпадение данных экспериментов и результатов расчетов по формуле (3).

Формула (3) позволяет исследовать температурное поле струи. Прежде всего, можно записать уравнения изотерм, то есть линий равных температур струи

$$r = x \sqrt{0,455 \ln \left( 4294,1 (\Delta T_n / \Delta T) (r_o/x)^{2,104} \right)}. \quad (4)$$

Если принять, что имеется некоторое значение избыточной температуры  $\Delta T_{\min}$ , которое целесообразно рассматривать в качестве минимальной, то тепловая дальность струи, то есть расстояние, на котором кончается осязаемая струя, определится формулой

$$x_{\max} = 53,29 r_o (\Delta T_n / \Delta T_{\min})^{0,475}. \quad (5)$$

Минимальная величина избыточной температуры определяет линию изотермы, соответствующую внешнему контуру струи. Эта изотерму можно определить как граничную путем подстановки  $\Delta T_{\min}$  в формулу (4). Критическое расстояние по оси струи, на котором струя будет иметь наибольшую толщину, определится для граничной изотермы условием [3]

$$dr/dx = 0. \quad (6)$$

Искомое критическое расстояние находится с учетом (4) согласно условию (6)

$$x_{кр} = 12,36 r_o (\Delta T_n / \Delta T_{\min})^{0,475}. \quad (7)$$

При этом максимальная толщина струи находится путем подстановки (7) в формулу (4), что даст

$$r_{\max} = 18,22 r_o (\Delta T_n / \Delta T_{\min})^{0,475}. \quad (8)$$

На рис. 3 представлены изотермы струи, рассчитанные по формуле (4) для различных величин  $\Delta T$ .

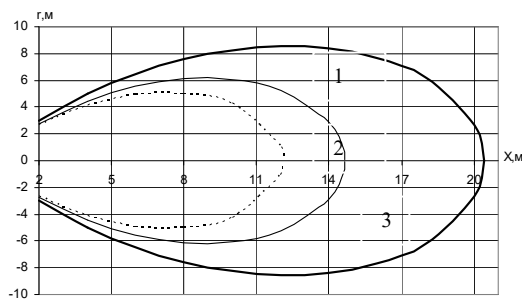


Рис. 3. Изотермы охлаждающей струи:  
(1 -  $\Delta T=3K$ ; 2 -  $\Delta T=6K$ ; 3 -  $\Delta T=9K$ )

Анализ изотерм, представленных на рис. 3, показывает, что по мере увеличения избыточной температуры охлаждающая дальность струи уменьшается. При минимальной избыточной температуре, равной  $\Delta T=3K$ , охлаждающая дальность достигает  $x_{\max}=20,4$  м, при этом  $x_{кр}=12,36$  м и наибольшая ширина  $2r_{\max}=17,1$  м.

**Выводы.** На основании данных экспериментов проведено математическое моделирование теплообменных процессов воздушно-водоиспарительного охлаждения рудничной атмосферы, позволяющее организовать вычислительный эксперимент, в ходе которого можно исследовать особенности протекания рассматриваемого процесса.

*Список литературы*

1. **Абрамович Г.Н.** Теория турбулентных струй. - М.: Физматгиз, 1960. - 652с.
2. **Повх И.Л.** Техническая гидромеханика. - Ленинград: Машиностроение, 1969. - 524с.
3. **Шепелев И.А.** Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стройиздат, 1978.– 145 с.

Рукопис подано до редакції 23.01.12

УДК 504(075.8)

Э.В. ЧАСОВА, канд. хим. наук, доц., В.В. ИВЧУК, старший преподаватель  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КРИВБАССА - СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены некоторые экологические проблемы Кривбасса, их состояние и возможные перспективы.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Украина относится к числу индустриально-аграрных стран. Доля тяжелой промышленности составляла до недавнего времени 60 % валового внутреннего продукта страны, что существенно выше, чем в западноевропейских странах, где этот показатель составляет порядка 35 %. Именно предприятия тяжелой промышленности формируют основную техногенную нагрузку на окружающую природную среду. Значительная часть промышленных предприятий (свыше 80 %) расположена в городах и поселках городского типа. Здесь проживает около 70 % населения страны. В Украине насчитывается 436 городов и 925 поселков городского типа.

По статистике, до 90 % газообразных, жидких и твердых отходов образуется в городах [4].

Для многих городов Украины характерна сложная экологическая обстановка, обусловленная наличием и концентрацией предприятий черной и цветной металлургии, теплоэнергетики, химии и нефтехимии, горнодобывающей промышленности, цементных заводов. Такие города являются бесспорными лидерами по уровню загрязненности воздуха.

К таким лидерам относится и Кривой Рог, на территории которого, расположено 109 промышленных предприятий, обеспечивающих 42,3 % общего объема промышленного производства Днепропетровской области, 9 % - страны, 8 % - национального экспорта. В их числе - флагман украинской металлургии, крупнейшее в Европе ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», а также 7 из 11 отечественных комбинатов по добыче железорудного сырья. Город Кривой Рог, благодаря расположению в его границах мощной горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, является одним из наиболее экологически опасных регионов Украины. Объем произведенной продукции на предприятиях комплекса достигает 33 % от общего объема производства в Украине, а выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями комплекса, по неофициальным данным, в 2008 г. составили более 1,5 млн т, или почти 32 % от общих выбросов в стране [1,5].

**Анализ исследований и публикаций.** Криворожский железорудный бассейн - один из старейших и крупнейших бассейнов нашего государства. Здесь добывается более 80 % железорудного сырья и производится 20 % металла Украины. Железорудные месторождения Кривбасса являются комплексными по своему составу, каждое из них сложено двумя-тремя типами железных руд и сопутствующими нерудными полезными ископаемыми. Однако в течение длительного периода их эксплуатации использовались: на подземных рудниках - природно богатая руда с содержанием железа более 46 %, поступающая в металлургический передел без предварительного обогащения; на горно-обогатительных комбинатах (ГОКах) - магнетитовые кварциты, перерабатываемые по схемам магнитной сепарации с извлечением в концентрат из трех рудных минералов только одного магнетита. В бассейне сконцентрированы гигантские предприятия горнодобывающей промышленности концерна Укррудпром: пять крупнейших горно-обогатительных комбинатов с десятью карьерами глубиной более 300 м для открытого способа отработки и 17 шахт глубиной 80-1300 м для подземной добычи железных руд; крупнейшие производственные мощности металлургической промышленности - ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и коксохимический завод (КХЗ), а также заводы по производству цемента, исходного сырья для лакокрасочной промышленности, строительных материалов и другие предприятия. Добыча сырой железной руды открытым способом и переработка ее до железосодержа-