

отвори 5. Відношення «живого» перерізу діафрагми до площі трубопроводу позначалося параметром n (ступінь стиснення потоку в діафрагмі).

Аеродинамічні дослідження залежності коефіцієнта місцевого опору діафрагми ζ від параметра n показали наступне [3]. Для трьох -, чотирьох - та шестипроменевих діафрагм визначальним чинником, що впливає на значення ζ є відношення n площ «живих» перерізів та характер розташування кутиків. Якщо кутики розташовані розкритою стороною назустріч потоку (вістря за напрямком потоку), то коефіцієнт місцевого опору діафрагми характеризується залежністю

$$\zeta = [(1,45/n) - 1]^2, -n \leq 0,8, \quad (9)$$

при заміні кутиків плоскими пластинами

$$\zeta = [(1,47/n) - 1]^2, -n \leq 0,75, \quad (10)$$

Порівняння значень коефіцієнтів місцевого опору променевих діафрагм (див. рядки 9 та 10 табл. 1) з конусними (рядки 2 – 6 табл. 1) та круглими (рядок 7 табл. 1) показує наступне. Променеві діафрагми за своєю дроселюючою здатністю наближаються до круглих діафрагм, але через наявність у них периферійних отворів 4 (див. рис. 1) вони позбавлені здатності відкладання пилу і зміни своєї аеродинамічної характеристики ζ . У порівнянні з конусними діафрагмами променеві діафрагми при однакових значеннях відносних площ n мають у 2 - 3 рази більші значення параметра ζ . Крім цього, вони простіші за технологією їх виготовлення.

Отже, виконані дослідження дозволили на основі залежності коефіцієнтів місцевого опору діафрагм від їх конструкції та відношення площ отворів виявити таке:

конусні діафрагми навіть при значних кутах розкриття ($2\alpha = 70^\circ$) мають низьку дроселюючу здатність, а при невеликих відносних площах n унаслідок збільшення швидкості абразивних пилоповітряних потоків у них виникає утворення нещільностей;

оптимальними для практичного використання з метою дроселювання тисків на відгалуженнях аспіраційних систем є променеві діафрагми, у яких рівнополичні кутики променів направлені своїми вістря за вектором швидкості аспіраційного повітря.

Список літератури

1. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик: в 2 кн./ Редкол.: **О.Н. Тихонов** и др. – М.: Недра, 1988 – Кн. 2/ **Г.И. Адамов, В.Ф. Баранов, Б.П. Бутусов** и др. – 341 с.: ил.
2. **Деньгуб Т.В.** Исследование дроселирующего свойства лучевой диафрагмы в аспирационном воздуховоде. Разработка рудных месторождений// Научно-технический сборник КТУ.- Вып. №92.- Кривой Рог, 2008 г.-С. 247 – 251.
3. Патент на корисну модель №35748 МПК E21F5/00. Променева діафрагма. Авт. **Голишев О.М., Деньгуб Т.В., Шаповалов В.А.** Опубл. 10.10.2008, бюл. №19.

Рукопис подано до редакції 12.02.12

УДК 622.413.3

А.А. ЛАПШИН, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ФОРСУНОЧНЫМ ОРОШЕНИЕМ

Приведено теоретические обоснование эффективности охлаждения воздуха форсуночным орошением. В результате математического моделирования получены зависимости для определения параметров процесса охлаждения воздуха форсуночным орошением.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Ведение горных работ в современных лшахтах на больших глубинах усложняется повышением температуры воздуха в горных выработках. Создание благоприятных условий труда путем охлаждения воздуха доступными и экономичными способами является актуальной теоретической и практической задачей.

В глубоких рудных шахтах, аналогично с угольными, происходят сложные теплообменные, диффузионные и термодинамические процессы, которые обуславливают изменение параметров рудничного воздуха при его движении в воздухопроводных выработках [1].

Создание установок для кондиционирования рудничного воздуха требует точных методов расчета параметров воздуха, обеспечивающих нормализацию микроклимата в горных выработках шахт.

Анализ исследований и публикаций. Охлаждение воздуха форсуночным орошением нашло применение в различных областях промышленности. Однако, его эффективность, зависящая от большого количества факторов, теоретически недостаточно обоснована.

Для определе конечных параметров охлаждения необходима разработка математических моделей, позволяющих в широких диапазонах проводить оценку теплофизических процессов при взаимодействии воздуха с каплями воды и вносить соответствующие коррективы.

Изложение материала и результаты математических исследований. При изучении вопросов, связанных с охлаждением воздуха путем форсуночного орошения используется метод определения его эффективности, основанный на графическом построении процесса J-d диаграмме (рис. 1) [1]. Сущность этого метода заключается в том, что процесс охлаждения происходит «идеально» по прямой 1-3 до полного (конечного) насыщения. Реальный процесс отличается от идеального, в действительности, как показали эксперименты, конечное состояние воздуха не является насыщенным. Охлаждение происходит по прямой 1-3 до точки 2 (промежуточное насыщение) с приращением влаги, равным $\Delta d_{cp} = d_1 + d_2$. Аналогично, снижение теплосодержания по конечному процессу

$$\Delta I_k = I_n - I_k,$$

а по реальному процессу

$$\Delta I_k = I_n - I_p.$$

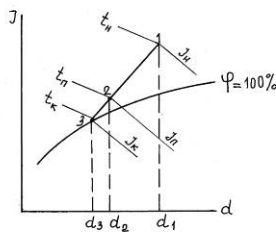


Рис. 1. Изменение параметров воздуха при охлаждении его в форсуночной камере

Тогда, снижение температуры для конечного процесса составит

$$\Delta t_k = t_n - t_{кв},$$

а для реального процесса

$$\Delta t_p = t_n - t_p,$$

где I_n, I_p, I_k - начальное промежуточное и конечное теплосодержание воздуха t_n, t_p, t_k - начальная, промежуточная и конечная температура

воздуха.

Исходя из данных условий эффективность процессов при форсуночном охлаждении будет эффективность увлажнения

$$E_d = \frac{d_k - d_n}{d_k - d_n} = \frac{\Delta d_k}{\Delta d_{cp}}, \quad (1)$$

эффективность снижения тепла

$$E_J = \frac{I_n - I_k}{I_n - I_n} = \frac{\Delta I}{\Delta I_{cp}}, \quad (2)$$

эффективность охлаждения

$$E_t = \frac{t_1 - t_{кв}}{t_1 - t_n} = \frac{\Delta t_{уд}}{\Delta I_{cp}}, \quad (3)$$

где $t_{кв}$ - конечная температура воды.

Очевидно общая эффективность кондиционирования воздуха путем форсуночного охлаждения будет определяться как

$$E_k = f(E_d, E_J, E_t). \quad (4)$$

С помощью указанных коэффициентов эффективности можно определить только один параметр промежуточного состояния - его температуру, влагосодержание или теплосодержание, что требует инструментальных замеров. Для практических теплотехнических расчетов процессов охлаждения воздуха целесообразно разработать математическую модель определения температуры воздуха при взаимодействии его с каплями воды при форсуночном орошении.

Для этого принимаем, что двухфазная система «воздух-капли» адиабатная, массоперенос между фазами не учитывается. Во внимание принимается только межфазный теплообмен между воздухом и каплей.

При таком допущении поток теплоты в единицу времени через границу раздела фаз из воздуха в каплю определяется согласно закону Рихмана соотношением [2]

$$q = 4\pi R^2 A (T_1 - T_2), \quad (5)$$

где R - радиус капли; A - коэффициент теплоотдачи между фазами; T_1, T_2 - начальные температура воздуха и воды (капли).

Принимаем, что изменение температуры воды в капле соответствует сферически симметричному процессу

$$T_2(r) = \frac{3}{4\pi R^3} \int_0^R 4\pi r^2 T_2(r, t) dr, \quad (6)$$

где $T_2(r, t)$ - температура в капле а момент времени t на расстоянии r от ее центра.

Коэффициент теплоотдачи определяется по параметрам капли [3]

$$A = Nu_2 \lambda_2 / 2R, \quad (7)$$

где Nu , λ_2 - число Нуссельта и коэффициент теплопроводности капли.

В гидро- и термодинамике имеются экспериментальные зависимости числа Нуссельта от чисел Рейнольдса Re_2 и Прандтля Pr_2 в зависимости от состояния капли в несущей среде (воздухе). Применяем зависимости чисел Nu, Re_2, Pr_2 , имеющиеся в работе [2]

$$Nu_2 = 2 + 0,46 Re_2^{0,55} Pr_2^{0,33}, \quad \text{при } 1 < Re_2 < 10^4; \quad 0,6 < Pr_2 < 400,$$

где $Re_2 = \frac{2R(\gamma_2 - \gamma_1)}{\nu_2}$ - число Рейнольдса; $Pr_2 = \frac{\mu_2 g c_{p2}}{\lambda_2}$ - число Прандтля; μ_2 - динамическая вязкость жидкости; γ_2 - кинематическая вязкость жидкости.

Используя выражение (5), находим скорость изменения температуры капли

$$dT_2/dt = q/c_2 m, \quad (8)$$

где c_2 - удельная массовая теплоемкость воды; m_2 - масса капли.

Тогда температура воздуха изменится согласно зависимости

$$T_1 = T_2 + \frac{C_2 m_2}{A} \frac{dT_2}{dt}. \quad (9)$$

Принимаем, что до начала взаимодействия температура воздуха и воды известны. Обозначим в (9) отношение: $C_2 m_2 / A = \tau$ - постоянная времени нагрева жидкости капли.

Для зависимости (9) применим прямое преобразование Лапласа в виде

$$\tau [PT_2(P) - T_2(0)] + T_2(P) = \frac{1}{P} T_1 \quad (10)$$

при условии, что $T_2(0) = T_2$, а (P) принимает значения

$$P_1 = 0; \quad P_2 = -1/\tau,$$

где P_1 и P_2 - соответственно, полюса, совпадающие с началом системы координат, при прямом P_1 и обратном P_2 преобразованиях полюса.

Тогда получим из уравнения (10)

$$\tau P T_2(P) + T_2(P) = \frac{1}{P} T_1 + T_2; \quad T_2(P) = \frac{1}{\tau} \left[T_2(P)(\tau P + 1) - \frac{T_1}{P} \right];$$

$$T_2(P) = \frac{T_1 + \tau T_2(P)}{P[\tau P + 1]} \quad (11)$$

Применим к уравнению (11) обратное преобразование Лапласа, учитывая, что корни знаменателя (11) имеют значения

$$P_1 = 0; \quad P_2 = \tau^{-1} \quad (12)$$

получим

$$\frac{T_1 + \tau T_2(P)}{P\tau} = T_2 + \frac{T_1}{P\tau}. \quad (13)$$

Подставляя в (13) значения (12), имеем

$$(T_1 - T_2)e^{-\alpha} = \frac{-1}{\tau} T_1 = (T_2 - T_1)^{-\alpha} \quad (14)$$

или конечная температура капли

$$T_2(t) = T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha} \quad (15)$$

где $\alpha = t/\tau$ - относительный параметр времени нагрева жидкости капли.

Количество теплоты, полученное каплей в единицу времени

$$q = C_2 m_2 (T_2(t) - T_2), \quad (16)$$

где $T_2(t)$ - конечная температура нагрева капли определяется по формуле (15).

Количество теплоты, полученное всеми каплями потока в единицу времени

$$\theta_k = \frac{M}{m_2} C_2 m_2 [T_2(t) - T_2] = MC_2 [T_2(t) - T_2], \quad (17)$$

где M - массовый расход воды через форсунку, кг/с.

Тепловой поток, отданный воздухом потоку воды

$$Q = m_1 c_1 (T_1 - T_{2к}), \quad (18)$$

где m_1 - массовый расход воздуха; C_1 - удельная массовая теплоемкость воздуха; T_1 - начальная температура воздуха; $T_{2к}$ - конечная температура воздуха.

На основе закона сохраняется энергия приравняем (17) и (18), откуда найдем конечную температуру воздуха $T_{2к}$, т.е.

$$MC_2 [T_2(t)] = m_1 C_1 (T_1 - T_{2к}); \quad T_{2к} = T_1 - \frac{MC_2}{m_1 c_1} [T_2(t) - T_2]. \quad (19)$$

Учитывая (15), запишем (19) в таком виде

$$T_{2к} = T_1 - \frac{MC_2}{m_1 c_1} [T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha} - T_2];$$

или

$$T_{2к} = T_1 - \frac{MC_2}{m_1 c_1} (1 - e^{-\alpha}) + (T_1 - T_{2к}). \quad (20)$$

Таким образом, конечная температура воздуха в процессе взаимодействия с каплями в течение одной секунды, при $t=1$, $\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{A}{C_2 m_1}$,

где A - коэффициент теплоотдачи, определяемый по формуле (7), определяется главным образом массовым расходом воды, исходящий через форсунку M , кг/с и ее начальной температурой (T_2 , °C). Таким образом, для обеспечения требуемой эффективности обработки воздуха по полному теплообмену необходимо или понизить температуру воды, сохранив массовый расход воды $M = \text{const}$ или повысить массовый расход воды, сохранив ее температуру $T_2 = \text{const}$.

На рис. 2а,б приведены графики изменения температуры воздуха при орошении его водой с различной температурой, при этом расход воды оставался неизменным (рис. 2а).

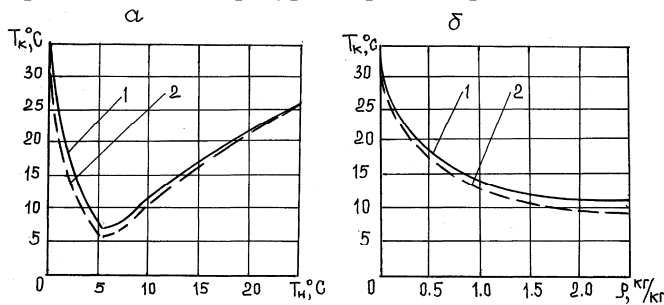


Рис. 2. Графики экспериментальных испытаний на модели камеры орошения

Графики построены по данным экспериментальных испытаний на модели камеры орошения - сплошная кривая (1). Пунктирная кривая (2), построенная по данным расчета, проведенным по формуле (20). Как видно, данные экспериментальных испытаний отличаются от расчетных значений, тем самым подтверждается, что реально процесс не является насыщенным, а температура воздуха неодинакова с расчетной температурой воды. Несмотря на это расчетные значения близки к реальным, отклонение не превышает 15 %, что позволяет использование зависимости (19) и (20) для расчета конечной температуры воздуха при проектировании камер орошения для охлаждения рудничного воздуха в подземных выработках.

На рис. 2б приведен график снижения температуры воздуха при обработке его форсуночным орошением водой, температура которой не изменялась и составляла $T_2 = 10^\circ\text{C}$. При проведении этих экспериментальных испытаний изменяли массовый расход воды на орошение M , при этом вычисляли плотность (коэффициент) орошения $B = M/m_1$, который составляет $B = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3$. Как показывают результаты испытаний, интенсивное снижение температуры происходит до величины коэффициента орошения $B = 1$, а далее температура воздуха снижается мало - всего на 1-1,5°C.

Выводы. При охлаждении воздуха форсуночным орошением не происходит полного влагонасыщения, что снижает его эффективность и требует применения дополнительных средств, способствующих снижению температуры.

Применение математического моделирования теплообменных процессов при форсуночном охлаждении воздуха позволяет определять количественные и качественные параметры орошения, необходимые для проектирования форсуночных камер для нормализации рудничной атмосферы.

Список литературы

1. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. - М.: Стройиздат, 1971. - 209 с. ССР, 1959. - 430 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат, 1979. - 415 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сухомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 410 с.

Рукопись поступила в редакцию 09.11.11

УДК 620.12.18

Л.О. ЯНОВА, О.В. ПИЩИКОВА, С.І. САХНО, кандидати техн. наук, доц.,
О.В. ГНЕННА, магістрантка, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ВПЛИВ СТАНУ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ І ПРОФЕСІЙНОЇ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ ВИТРАТИ ПО ПІДПРИЄМСТВАХ РЕГІОНУ КРИВОРІЗЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО ТЕРИТОРІАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Основною причиною виробничого травматизму є порушення трудової та виробничої дисципліни працівниками та посадовими особами [3], відсутність належного контролю за проходженням працівниками медичних оглядів, інструктажів та стажування; відсутність належного відомчого нагляду. До складу Криворізького гірничопромислового територіального управління Держгірпромнагляду (Криворізьке теруправління) входять 5 інспекцій, які здійснюють нагляд за понад 3,6 тис. підприємств у 12 галузях промисловості, на яких працює близько 300 тис. осіб. Кількість піднаглядних об'єктів перевищує 65 тис., з них 80% відносяться до підвищеного рівня небезпеки [1]. За класифікацією Міжнародної організації праці, по Криворізькому теруправлінню рівень смертельного травматизму в 2011 р. знизився в порівнянні з 2010 р., але не набагато, а саме 11 випадків у 2011 р. проти 15 в 2010 р., але кількість травмованих знизилася в 2011 р. – 170 осіб, коли в 2010 р. було набагато більше травмованих працівників – 224 особи. У 2011 р. за неякісне розслідування надійшло 43 скарги до теруправління, а в 2010 р. – 48. Саме такими є показники ставлення роботодавців до цінності людського життя. Аналіз статистичних даних травматизму на підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) Кривого Рогу (рис. 1) і по районах міста (рис. 2) показує нестабільний стан зниження травматизму.

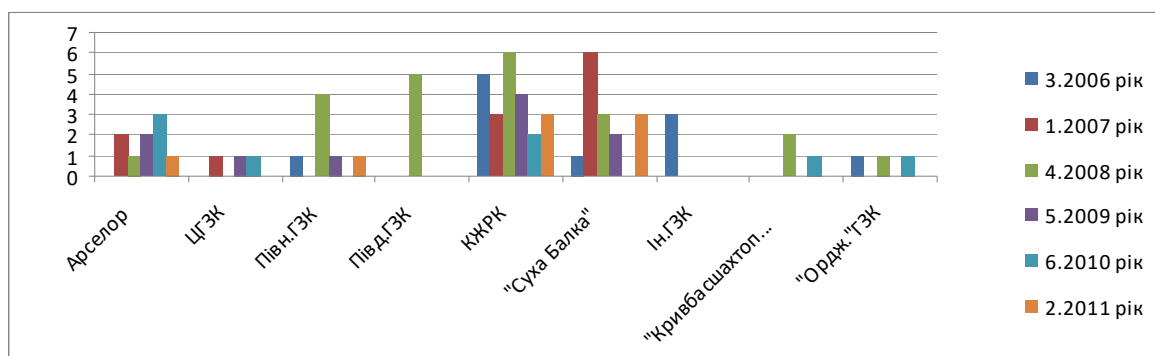


Рис. 1. Рівень смертельного травматизму на підприємствах ГМК за період 2006-2011 р.р. по місту Кривий Ріг

Найвищі показники, на жаль, були у 2008 р. (6 осіб загинуло), потім у 2006 р. (5 осіб) і 2009 р. (4 особи) роках на підприємстві ПАТ «КЗРК». Загалом це підприємство за період 2006-2011 роки має найвищий рівень смертельного травматизму серед аналогічних гірничих підприємств