

провести оценку рисков травмирования рассмотренных профессий, с целью выявления критических и недопустимых значений и выполнить разработку первоочередных мер по снижению их значений до предельно допустимых.

Выводы и направления дальнейших исследований. Оценка и управление профессиональными и производственными рисками - это более сложный процесс, чем простое соблюдение установленных государством требований по охране труда. В настоящее время на горных предприятиях Кривбасса в силу морального износа оборудования, нехватки финансовых ресурсов очень сложным является выполнение стандартов ССБТ, ДНАОП, НАОП, правил по охране труда, типовых инструкций по охране труда, строительных норм и правил и др. нормативных актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда. Требования этих документов содержат указания о потенциальных опасностях, позволяющих оценить реальные опасности и разработать методы управления рисками в области охраны труда.

Таким образом, на современном этапе система управления охраной труда (СУОТ) на горных предприятиях Кривбасса требует пересмотра и учета оценки рисков в области охраны труда, позволяющей перейти от формального выполнения указаний стандартов к осмысленному управлению рисками. Для этого необходимо на уровне отдельных предприятий разработка и внедрение методик по идентификации опасностей и оценке рисков в области охраны труда.

Список литературы

1. Законодавство України про охорону праці: Зб. нормативних док. – В 3-х т. – К.: Основа, 2010.
2. www.dnopr.kiev.ua
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. – М.: Недра, 1977. – 224 с.
4. Правила безпеки під час розробки рудних та нерудних родовищ корисних копалин підземним способом: Розроблено УкрНДІ безпеки праці та екології в гірничовидобувній і металургійній промисловості. – К. – Кривий Ріг, 2000.
5. НПАОП 0.00-4.15-98. Положение о разработке инструкций по охране труда
6. Стандарта ДСТУ OHSAS 180001 – 2007.
7. **В.В. Тихоненко** Идентификация опасностей и оценка профессиональных рисков на АЭС / **Тихоненко В.В.** // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – Вип. 13, 2010. – С. 60-69.
8. **Г.Г. Гогіташвілі, Є.Т. Карчевські, В.М. Лапін** Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами / **Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М.** – К.: Знання, 2007. – 367 с.
9. Стандарт ООО «Евраз Холдинг» «Об оценке рисков в области охраны труда (проект), 2011. – 27 с.

Рукопись поступила в редакцию 01.03.11

УДК 622.235: 622.271

А.А. ГУРИН, д-р техн. наук, проф., Ю.А. ГУРИН, канд. техн. наук., доц.
И.С. РАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук., доц.
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПРИ ПНЕВМОЗАРЯЖАНИИ СКВАЖИН И ШПУРОВ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ ВВ

Рассмотрены некоторые закономерности электризации гранул ВВ в процессе пневмозаряжения скважин и шпуров гранулированными ВВ. При этом учтено кристаллическое строение гранул и его влияние на процесс разрушения. Показано, что работы сил трения достаточно для разрушения гранул и их электризации.

Проблема и ее связь с научными и прикладными задачами. К основным процессам, которые приводят к образованию заряда на частицах пыли, относятся: прямая ионизация, статическая электризация, столкновение с ионами кластерами (в присутствии внешнего электрического поля или без него), а также ионизация электромагнитным излучением (ультрафиолетовым, видимым или гамма-излучением). Перечисленные процессы могут протекать как совместно, так и по отдельности.

Постановка задачи. В настоящей работе рассматривается электризация гранул ВВ трением и при их разрушении, с учетом их кристаллического строения.

Изложение материала. В процессах электризации важную роль играют электролитические эффекты. В этом случае жидкие растворы с высокой диэлектрической проницаемостью

обмениваются ионами с металлическими или другими твердыми поверхностями. Например, капли жидкости с большой диэлектрической проницаемостью, стекающие с металла, уносят с собой значительный заряд. Эти капли отталкиваются друг от друга, так как захватывают заряды одного знака.

В процессе контактной электризации электроны с чистых сухих поверхностей различных металлов, которые находятся в соприкосновении, перемещаются вглубь металла с более низкой работой выхода электрона. По своей природе это чисто электронный процесс. Для его описания необходимо учитывать энергетическое состояние электронов, т.е. в конечном счете кристаллическое строение вещества.

Аналитическое выражение для потенциальной энергии было предложено Г. Ми [1]. Потенциал Ми имеет вид суммы двух степенных функций

$$U(r) = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}, \quad n > m, \quad (1)$$

где A и B положительны; A и B - коэффициенты, характеризующие кристаллическое строение гранул; r - расстояние между центрами ионов; n и m - степень притяжения и отталкивания ионов. Условие $n > m$ необходимо для того, чтобы положительный член был преобладающим (стремился к бесконечности быстрее) при стремлении r к нулю и стремился к нулю (при стремлении r к бесконечности) быстрее, чем отрицательный член, что обеспечивает появление сил притяжения при больших r и сил отталкивания при малых r (рис.1).

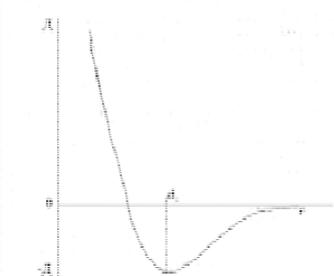


Рис. 1. зависимость потенциальной энергии от расстояния между атомами в кристалле (потенциал Г.Ми)

Рассмотрим наиболее простой случай - ионный кристалл типа NaCl, который состоит из ионов Na^+ и Cl^- . Следовательно, притяжение между ионами Na^+ и Cl^- представляет собой просто электростатическое кулоновское притяжение. Таким образом, для одновалентных ионных кристаллов мы имеем (в системе СГС)

$$A = e^2; \quad m = 1. \quad (2)$$

где $e = 4,803 \cdot 10^{-10}$; СГСЭ $= 1,602 \cdot 10^{-10}$; K - заряд электрона.

В системе СИ $A = e^2 / 4\pi\epsilon_0$, где $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м- диэлектрическая проницаемость вакуума.

Вычислим для потенциала Ми (1) значение $U(d_0)$. Для этого выразим неизвестный параметр B через параметр d_0 , который, в принципе, можно определить экспериментально. Функция U имеет минимум при $r = d_0$ (см.рис.1), поэтому $dU/dr|_{r=d_0} = 0$.

Дифференцируя выражение (1) по r и приравняв результат нулю в точке $r = d_0$ получим

$$\frac{mA}{d_0^{m+1}} - \frac{nB}{d_0^{n+1}} = 0.$$

Откуда

$$B = \frac{m}{n} A d_0^{n-m}. \quad (3)$$

С учетом последнего равенства перепишем выражение (1) в следующем виде

$$U(r) = \frac{A}{d_0^m} \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^m - \frac{m}{n} \left(\frac{d_0}{r} \right)^n \right]. \quad (4)$$

Выражение (4) содержит одну постоянную d_0 , которую можно измерить.

Эта постоянная определяет расстояние между центрами ионов нашей молекулы. Следовательно, минимальное значение потенциальной энергии равно

$$U(d_0) = -\frac{A}{d_0^m} \left(1 - \frac{m}{n} \right). \quad (5)$$

Для одновалентной ионной двухатомной молекулы используем уравнение (2) и из (5) найдем

$$U(d_0) = -\frac{e^2}{d_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right). \quad (6)$$

В выражении (6) множитель $-(e^2/d_0)$ определяет кулоновскую энергию притяжения, множитель $(1-1/n)$ учитывает наличие сил отталкивания. В таком случае энергия диссоциации молекулы равна: $D = -U(d_0)$. Численное значение величин d_0 и D можно получить из измеренного инфракрасного спектра паров NaCl. Экспериментальное значение $d_0 = 2,5 \cdot 10^{-8}$ м [1]. Из уравнения (6) для NaCl находим при $n=9$

$$D = \frac{4,8^2 \cdot 10^{-20} \cdot 8}{2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 9} = 8,1 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 8,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 5,1 \text{ эВ}.$$

Дальше вычислим энергию связи твердого состояния (твердого тела), т.е. ту энергию, которую необходимо сообщить кристаллу, для того, чтобы разложить его на отдельные ионы, находящиеся далеко друг от друга. Энергию связи можно выражать через теплоту, емкость твердого тела, энергию диссоциации кристалла (например, NaCl) и энергию ионизации атомов (например, Na и Cl). Эта энергия связана с разностью потенциальных энергий состояния, когда ионы находятся в их равновесных положениях и состояния, когда они удалены друг от друга на бесконечно большое расстояние. В твердом теле для потенциальной энергии необходимо учитывать взаимодействие между ближайшими атомами. В этом случае выражение для потенциальной энергии взаимодействия данного иона со всеми другими ионами следует написать в следующем виде

$$U_1(r) = \alpha \frac{A}{r^m} + \beta \frac{B}{r^n}, \quad (7)$$

где α и β величины, которые учитывают взаимодействия со всеми соседями.

Из физических соображений ясно, что они не должны сильно отличаться от единицы. Они могут быть точно рассчитаны для каждой данной кристаллической структуры. Обозначим через d равновесное расстояние между ионами в кристалле и продифференцируем равенство (7) при равновесном расстоянии $d=r$. Эта производная равна нулю, т.е.

$$\left. \frac{dU_1}{dr} \right|_{r=d} = 0$$

и находим

$$\beta B = \frac{m}{n} \cdot \alpha A d^{n-m}. \quad (8)$$

Подставим это значение в уравнение (7) и найдем энергию взаимодействия данного иона со всеми другими ионами

$$U_1(r) = -\alpha \cdot \frac{A}{d^m} \left[\left(\frac{d}{r}\right)^m - \frac{m}{n} \left(\frac{d}{r}\right)^n \right]. \quad (9)$$

Находим минимальное значение этой энергии

$$U_1(d) = -\alpha \frac{A}{d^m} \left(1 - \frac{m}{n}\right). \quad (10)$$

Энергия связи на один моль равна

$$U = -N_0 U_1(d), \quad (11)$$

где $N_0 = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ - число Авогадро.

Ввиду того, что в одном моле имеется $2N_0$ молекул и ионов, то нам необходимо ввести множитель $\frac{1}{2}$ для того, чтобы учитывать энергию взаимодействия данной пары ионов два раза. В таком случае энергия связи равна

$$U = \alpha N_0 \frac{A}{d^m} \left(1 - \frac{m}{n}\right). \quad (12)$$

Для одновалентного ионного кристалла, используя равенство (2), находим

$$U = \alpha \cdot N_0 \frac{e^2}{d} \left(1 - \frac{1}{n}\right). \quad (13)$$

Как известно, постоянная α называется постоянной Маделунга.

Подставим численные данные в формулу (13) и найдем энергию связи для кристалла. Например, для кристалла NaCl при $d=2.81 \cdot 10^{-8}$ м получим $U=184 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}} = 128,024 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Дж}}{\text{мол}}$.

Величина U , полученная в калориметрических измерениях равна 183 ккал/моль, что довольно хорошо согласуется с вычисленным значением.

Рассмотрим движение гранулы NaCl по поверхности с коэффициентом трения $f=0,1$. Масса такой сферической гранулы с $R=2\text{мм}=2 \cdot 10^{-3}$ м равна $m=72,34 \cdot 10^{-6}$ кг, а работа сил трения

$$A = f m_g S = 0,1 \cdot 72,34 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 1 = 72,34 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

Следовательно, при движении такой гранулы работа сил трения сможет оторвать от гранулы $N=5,63 \cdot 10^{13}$ молекул. Такая же картина наблюдается и при разрушении гранулы: атомы могут ионизироваться и поверхность оказывается заряженной. Энергия связи для других типов кристаллов может быть вычислена по методике, приведенной выше, а следовательно, и механизм заряжания будет подобным: та часть, от которой «оторвалось» больше электронов или отрицательных ионов остается заряженной положительно, другая («оторванная») - отрицательно.

Наличие заряда на частицах существенно изменяет взаимодействие между частицами.

Рассмотрим две проводящие сферические частицы, одна из которых несет положительный заряд, а вторая - не заряжена.

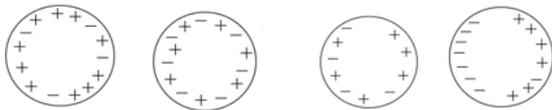


Рис. 2. Механизм перераспределения зарядов для проводящих частиц при их сближении под действием внешних сил: частицы удалены: левая частица заряжена положительно, правая - нейтральная; частицы сблизились: правая частица становится диполем

Если частица приблизится ко второй, ее положительный заряд притянет электроны второй частицы с удаленной от заряда части к ближней (рис. 2). При этом образуется диполь с отрицательным зарядом, расположенным ближе к положительно заряженной частице и между двумя частицами возникнет сила притяжения. Данная сила, которая также может возникать между заряженной частицей и не заряженной собирающей поверхностью и наоборот, в физике известна как поляризационная или индукционная. Появление этой силы обычно ведет к возрастанию осаждения заряженных частиц на любой поверхности, а также к захвату незаряженных частиц заряженной поверхностью. Наличие заряженных частиц (или тел) может значительно изменить траекторию движения других частиц, как показано, на рис. 3.

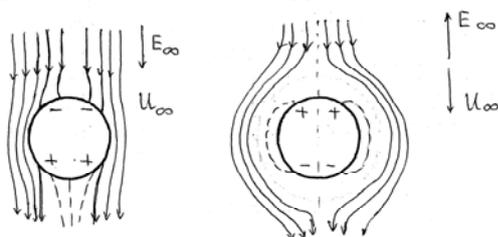


Рис. 3. Обтекание незаряженного волокна положительно заряженными частицами в электрическом поле

Вода является полярным диэлектриком. Ее молекулы имеют постоянный дипольный момент, который обусловлен асимметрией в расположении электронных облаков и ядер этих молекул. Центры тяжести положительных и отрицательных зарядов в таких молекулах не совпадают, а находятся на практически постоянном расстоянии ℓ . При растворении в воде солей, щелочей и кислот, каждая молекула которых также представляет диполь, происходит распад таких молекул на ионы. Слой жидкой воды на грануле ВВ становится проводящим. Диэлектрическая проницаемость не сильно концентрированных растворов NaCl и NaJ в воде следует закону

$$\epsilon = \epsilon_0 (1 + 0.047 \sqrt{n} - n),$$

где $\epsilon_0=81$ - диэлектрическая проницаемость воды, $n \leq 0,5$ кмоль/м³ - концентрация раствора.

Следовательно, в настоящее время можно выделить следующие основные процессы, приводящие к образованию зарядов на гранулах.

1. Образование заряда на частицах в процессе их дробления (разрушения). При этом одна часть может иметь избыток электронов, а другая их недостатку. Первая часть - гранулы окажутся заряженными отрицательно, вторая - положительно. Такое дробление происходит при соударении гранул друг с другом или гранул со стенками зарядного шланга.

2. Образование заряда при трении, в результате которого, гранулы приобретают заряд при контакте с металлами или другими гранулами. Очевидно, основной механизм такой электризации - отрыв электронов. Расчет, приведенный выше, показывает, что работы сил трения вполне хватает на такой отрыв. Величины зарядов частиц при взаимодействии между собой будут больше чем в случае взаимодействия частиц с поверхностями.

В табл.1, согласно данным работ [2,3], приведен перечень материалов, которые получают тот или иной заряд при контакте.

Таблица 1

Предпочтительный знак приобретаемого материалом заряда при электризации трением

+ Асбест	Гипс
Стекло	Цинк
Кальцит	Медь
Кварц	Серебро
Магний	Кремний
Свинец	Сера

Из табл. 1 следует, что если частицы кварца проходят через стеклянную трубку то, вследствие статической электризации заряд частиц будет отрицательным, а заряд трубки (стекло) положительным. Если бы трубка была изготовлена не из стекла, а из меди, частицы приобрели бы положительный заряд, а трубка отрицательный.

В случае, если имеющие высокую концентрацию взвеси взрывоопасных частиц пыли протекают через незаземленную трубку, на ней может накопиться значительный заряд того или иного знака, что приведет к искровому разряду и, в конечном итоге, взрыву. При относительной влажности 50-60 % и выше зарядка частиц протекает медленнее. Это можно объяснить образованием на частицах тонкого слоя воды. Если вода содержит достаточное количество растворенного проводящего вещества, то заряды не будут накапливаться. Следовательно, во взрывах пылевых систем важную роль играет не абсолютная, а относительная влажность, поскольку зарядку трением предотвращает не присутствие водяного пара, а осаждение воды на частицах.

При пневмозарядании скважин и шпуров образовавшаяся пыль при взаимодействии гранул ВВ выносится из скважин или шпуров. Рассмотрим некоторые закономерности этого процесса.

Рассмотрим сферическую частицу радиуса R . На эту частицу в потоке воздуха, направленного вертикально вверх, действуют силы:

(сила тяжести) $F_m = m_r g = 4/3 \pi R^3 \rho_r g$;

сила Архимеда $F_A = m_b g = 4/3 \pi R^3 \rho_b g$;

сила давления со стороны движущегося вверх воздуха F_g (рис. 4).

Рис. 4. Схема для вычисления сил, действующих на частицу в скважине

Здесь обозначаем: ρ_r - плотность вещества частиц (кг/м^3); V_b - скорость потока воздуха (м/с).

Для определения силы F_d воспользуемся теоремой об изменении количества движения потока воздуха, действующего на частицу

$$m_b \cdot V_b = F_d \cdot t, \quad (14)$$

где t - время действия потока воздуха на частицу.

Так как $m_b = \pi R^2 \cdot V_b \cdot t \cdot \rho_b$, то из уравнения (14) находим

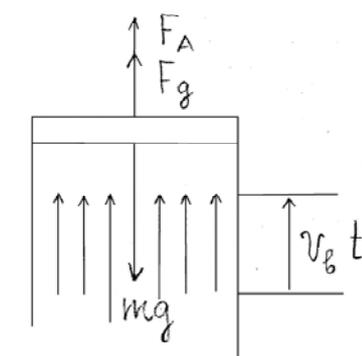
$$F_d = \pi R^2 \cdot V_b^2 \cdot \rho_b. \quad (15)$$

В случае равновесия сил, действующих на частицу, имеем

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_r \cdot g = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_b \cdot g + \pi R^2 \rho_b V_b^2. \quad (16)$$

Равенство (16) позволяет определить зависимость между скоростью потока воздуха V_b и параметрами выдуваемой пыли

$$V_b^2 = \frac{4g(\rho_r - \rho_b) \cdot R}{3\rho_b}. \quad (17)$$



$$m_{r,q} = F_A + F;$$

Из формулы (17) следует, что для частиц с большим R и ρ_r для выноса потребуется большая скорость потока.

Отметим, что частицы определенного состава и радиуса могут «поддерживаться» направленным вверх течением воздуха со скоростью в десятки м/с. Это может быть одной из причин образования серебристых облаков [4].

При некоторых метеорологических условиях в карьерах могут образоваться два вертикальных потока воздуха: вверх и вниз. При определенной их плотности в месте встречи образуется горизонтальное течение воздуха [5] (рис. 5). Это течение может способствовать выносу пыли из карьера.

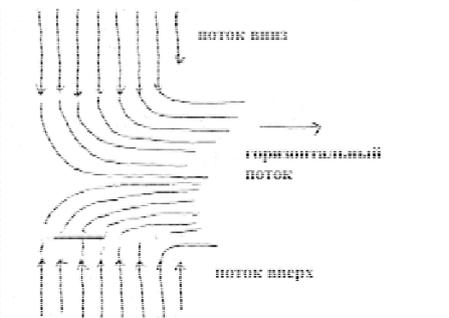


Рис. 5. Схема образования горизонтального потока воздуха

Выводы и рекомендации. Основными процессами, ведущими к образованию электрического заряда при пневмотранспорте гранулированных ВВ являются трение гранул и пылинок между собой и о стенки зарядного шланга, разрушение гранул и др. Перечисленные процессы могут протекать как совместно, так и по отдельности в зависимости от конкретных условий и способа заряжания, состава ВВ и др., поэтому управлять ими сложно. Известные рекомендации по предупреждению электризации (смачивание

водой ВВ, заземление зарядных установок и др.) не гарантируют полной безопасности работ при пневмозаряжении скважин и шпуров гранулированными ВВ, поэтому целесообразно переходить на заряжание люющимися ВВ, к которым относятся украиниты, анемиксы, эммониты и др. Процессы электризации при использовании люющихся ВВ отсутствуют.

Список литературы

1. Бабушкин А.А., Бажулин П.А., Королев Ф.А., Прокофьев В.К., Стриганов А.Р. Методы спектрального анализа. Издательство московского университета, 1962. - 509 с.
2. Miller J.G., Heinemann H. Science, 1948. - V. 107 p.
3. Miller J.G., Loeb L.B. J. Appl. Phys, 1951. - V. 22 p.
4. Charlson R.J. Paper presented at CACR Symposium on Atmospheric Chemistry, Circulation, and Aerosols, Sweden. 1965. August 18-25.
5. Langmuir J. Science, 1950. - v.112. - P. 35-40.

Рукопись поступила в редакцию 01.03.11

УДК 622.413.1

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА В ПОДЗЕМНЫХ КАМЕРАХ ОРОШЕНИЯ

Рассмотрена проблема кондиционирования рудничного воздуха в глубоких рудных шахтах. Приведено математическое обоснование процессов кондиционирования в подземных камерах орошения. Предложено использование конденсатора рудничного воздуха для охлаждения и осушения атмосферы в подземных форсуночных камерах.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При решении вопросов улучшения микроклимата в горных выработках является актуальной проблемой прогнозирования тепловых условий в глубоких шахтах и проектирование способов и средств для кондиционирования рудничного воздуха, направляемого в зону горных работ.

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.

Постановка задачи. Целью исследования является математическое обоснование процессов кондиционирования воздуха в подземных камерах орошения.

Изложение материала и результаты математических исследований. Кондиционирование рудничного воздуха в подземных камерах орошения производится путем форсуночного