

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ISSN 0142-0843

ФИЗИКА сериясы
№ 2(66)/2012
Серия ФИЗИКА

Сәуір–мамыр–маусым
1996 жылдан бастап шығады
Жылына 4 рет шығады

Апрель–май–июнь
Издается с 1996 года
Выходит 4 раза в год

Собственник РГКП **Карагандинский государственный университет
имени Е.А.Букетова**

Бас редакторы — Главный редактор

Е.К.КУБЕЕВ,

академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор

Зам. главного редактора

Х.Б.Омаров, д-р техн. наук

Ответственный секретарь

Г.Ю.Аманбаева, д-р филол. наук

Серияның редакция алқасы — Редакционная коллегия серии

К.К.Кусайынов,

Т.А.Кокетайтеги,

Н.Х.Ибраев,

А.О.Саулебеков,

Л.М.Ким,

К.М.Арынгазин,

И.В.Брейдо,

С.Д.Джуманов,

М.М.Кидибаев,

З.Ж.Жанабаев,

Г.В.Климушева,

С.А.Кумеков,

В.М.Лисицын,

И.А.Огородников,

Г.И.Пилипенко,

С.В.Плотников,

Л.А.Пунг,

А.Ж.Турмухамбетов,

К.Ш.Шункеев,

Л.В.Чиркова,

редактор д-р техн. наук;

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук;

д-р пед. наук;

д-р техн. наук;

д-р физ.-мат. наук (Узбекистан);

д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук (Украина);

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук (Россия);

д-р физ.-мат. наук (Россия);

д-р физ.-мат. наук (Россия);

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук (Эстония);

д-р физ.-мат. наук;

д-р физ.-мат. наук;

ответственный секретарь

канд. техн. наук, доцент

Редакторы *Ж.Т.Нұрмұханова*

Редактор *И.Д.Рожнова*

Техн. редактор *Д.Н.Муртазина*

Издательство Карагандинского
государственного университета
им. Е.А.Букетова

100012, г. Караганда,

ул. Гоголя, 38,

тел., факс: (7212) 51-38-20

e-mail: izd_kargu@mail.ru

Басуға 26.06.2012 ж. қол қойылды.

Пішімі 60×84 1/8.

Офсеттік қағазы.

Көлемі 8,5 б.т.

Таралымы 300 дана.

Бағасы келісім бойынша.

Тапсырыс № 788.

Подписано в печать 26.06.2012 г.

Формат 60×84 1/8.

Бумага офсетная.

Объем 8,5 п.л. Тираж 300 экз.

Цена договорная. Заказ № 788.

Отпечатано в типографии
издательства КарГУ
им. Е.А.Букетова

Адрес редакции: 100028, г. Караганда, ул. Университетская, 28

Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: <http://www.ksu.kz>

© Карагандинский государственный университет, 2012

Зарегистрирован Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство № 1131–Ж от 10.03.2000 г.

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Таймуратова Л.У.</i> <i>p</i> -типті кремнийдің магнитті кедергісінің бірсызғы қысымнан тәуелділігі.....	3
<i>Чаплыгина А.А., Старостенков М.Д., Дёмкина И.А., Попова Г.В.</i> Cu-Pt жүйесі балқымаларындағы реттелген фазалардың зерттелуі.....	8
<i>Юров В.М., Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Гученко С.А.</i> Ионды-плазмалық қабыршақты жабулардың беттік керілуі.....	14

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

<i>Корабейникова В.К., Воронов Е.Н.</i> Полифракционды құрамды төменгі сортты көмірде жұмыс істейтін жылыту қазандарының энергоүнемдеу моделі.....	23
<i>Құсайынов Қ., Дүйсенбаева М.С., Алысова Г.К., Оспанова Д.А.</i> Электрогидроимпульстік әдіспен шұбаркөл көмірін өңдеу.....	29
<i>Құсайынов Қ., Тұрдыбеков К.М., Құжұханова Ж.А., Саденова К.К.</i> Терең емес жер қойнауынан жылу алуға арналған электроимпульсті технология арқылы жылуалмастырғышты құру.....	33

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Ақашев З.Т., Мехтиев А.Д., Югай В.В.</i> Тарту органы бар конвейерлердің құрылымдық схемаларын құрастыру үшін оңтайлы алгоритм.....	38
<i>Тұрсынбаева А.К., Портнов В.С., Қамаров Р.К., Маусымбаева А.Д.</i> Металдарды үйімді сілтілеу кезінде кенді қатарға жарылыстың әсері.....	43
<i>Харьковский В.С., Плотников В.М., Дрижд Н.А., Шарипов Н.Х., Какенов К.С., Комлева Е.В., Харламова А.В.</i> Технологиялық процестердің апаттылығын және қауіптілігін бағалау әдістемесі туралы мәселе.....	54

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Нұрбай А.К., Кенжеғали Қ.Р., Мүсенова Э.К., Нүсіпбеков Б.Р.</i> Физика пәні сабағында электрондық оқулықтарды қолданудың тиімділігі.....	60
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР.....	67

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Таймуратова Л.У.</i> Зависимость магнетосопротивления кремния <i>p</i> -типа от одноосного давления.....	3
<i>Чаплыгина А.А., Старостенков М.Д., Дёмкина И.А., Попова Г.В.</i> Упорядоченные фазы в сплавах системы Cu-Pt.....	8
<i>Юров В.М., Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Гученко С.А.</i> Поверхностное натяжение ионно-плазменных покрытий.....	14

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<i>Корабейникова В.К., Воронов Е.Н.</i> Энергосберегающая модель отопительного котла, работающего на низкосортных углях полифракционного состава.....	23
<i>Құсайынов Қ., Дүйсенбаева М.С., Алысова Г.К., Оспанова Д.А.</i> Электрогидроимпульсная обработка шубаркольского угля.....	29
<i>Құсайынов Қ., Тұрдыбеков К.М., Құжұханова Ж.А., Саденова К.К.</i> Электроимпульсная технология создания теплообменников для извлечения теплоты грунта на малых глубинах.....	33

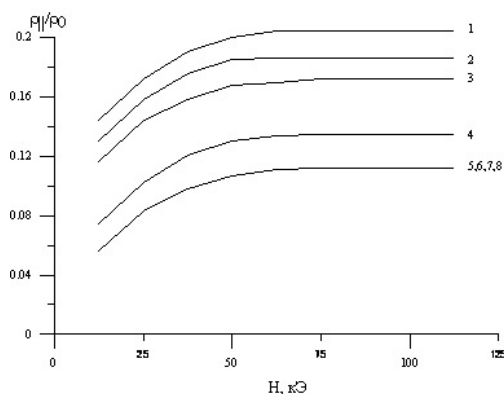
ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Ақашев З.Т., Мехтиев А.Д., Югай В.В.</i> Оптимальный алгоритм для построения структурных схем конвейеров с тяговым органом.....	38
<i>Турсунбаева А.К., Портнов В.С., Камаров Р.К., Маусымбаева А.Д.</i> Воздействие взрыва на рудный штабель при кучном выщелачивании металлов.....	43
<i>Харьковский В.С., Плотников В.М., Дрижд Н.А., Шарипов Н.Х., Какенов К.С., Комлева Е.В., Харламова А.В.</i> К вопросу о методике оценки опасностей и аварийности технологических процессов.....	54

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

<i>Нұрбай А.К., Кенжеғали Қ.Р., Мүсенова Э.К., Нүсіпбеков Б.Р.</i> Эффективность использования электронных учебников на уроках физики.....	60
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	67

Отрицательное магнетосопротивление наблюдается во всех исследованных кристаллах кремния с концентрацией носителей тока меньше 10^{15} см^{-3} и $T \leq 200 \text{ К}$.



$X \cdot 10^3, \text{ кГ/см}^2$: 1-0; 2-1; 3-2; 4-3; 5-4; 6-5; 7-6, 8-7. $\rho_{300 \text{ К}} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $T = 77,4 \text{ К}$

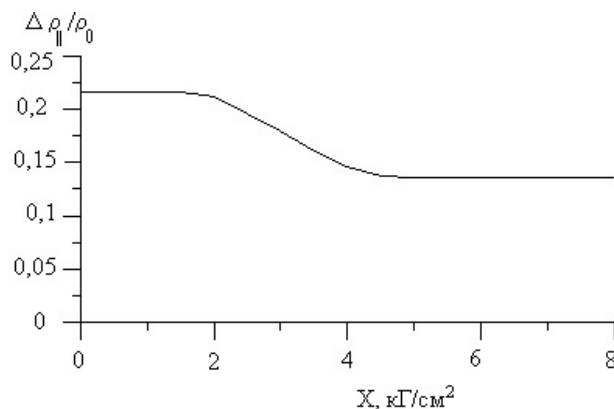
Рисунок 2. Зависимость $\Delta\rho_{\parallel}/\rho_0 = f(H)$ при различных значениях давления

При приложении к кристаллу одноосной упругой деформации сжатия наряду с переселением легких дырок в зону тяжелых дырок происходит перестройка зонного спектра, приводящая к тому, что с увеличением давления тяжелые дырки становятся легче, подвижность их увеличивается, а величина пьезосопротивления соответственно уменьшается, следовательно, уменьшается и величина магнетосопротивления.

Это можно видеть на рисунке 2, построенном по результатам измерения магнетосопротивления кремния p -типа с $\rho_{300 \text{ К}} = 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $T = 77,4 \text{ К}$ при различных значениях одноосного давления.

На рисунке 3 приведена зависимость продольного магнетосопротивления для кремния p -типа в насыщении от одноосного давления при $H_{const} = 120 \text{ кЭ}$, $\rho_{300 \text{ К}} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и $T = 77,4 \text{ К}$. С увеличением одноосного давления магнетосопротивление кремния p -типа постепенно начинает уменьшаться и при достижении давления величины $5 \cdot 10^3 \text{ кГ/см}^2$ перестает зависеть от него. Это объясняется тем, что при больших деформациях (сжатиях) магнетосопротивление обусловлено носителями заряда только лишь зоны $j = \pm \frac{1}{2}$, изоэнергетическая поверхность которой эллипсоидальна.

В книге [1; 35] известного ученого И.М.Цидильковского сказано, что если эффективная масса проводимости носителей заряда принимает отрицательное значение, то и сопротивление образца будет отрицательным. Помещая такой образец в резонансный контур или в полость резонатора, можно поддерживать непрерывные стабильные колебания в контуре или резонаторе. Таким образом, полупроводник с отрицательной эффективной массой проводимости носителей заряда может быть использован как генератор колебаний.



$H_{const} = 120 \text{ кЭ}$, $\rho_{300 \text{ К}} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $T = 77,4 \text{ К}$

Рисунок 3. Зависимость магнетосопротивления кремния p -типа от одноосного давления

Для этого должно быть выполнено некоторое условие. Чтобы эффективная масса проводимости, представляющая собой для сложного закона дисперсии некоторую усредненную величину компонент тензора обратной массы, оказалась отрицательной, необходимо сконцентрировать большую часть носителей заряда в той области k -пространства, где эффективная масса в данном направлении отрицательна. Согласно сказанному ранее, в германии и кремнии, например, волновые векторы большей части тяжелых дырок должны попасть в один из конусов отрицательных эффективных масс. В таком случае в направлении, перпендикулярном оси конуса, сопротивление должно быть отрицательным. Поскольку волновой вектор и скорость дырок связаны между собой, для возникновения отрицательного сопротивления необходимо, чтобы направления скоростей дырок находились в ограниченных пределах или, иными словами, чтобы в кристалле был создан пучок дырок. Этому препятствуют столкновения дырок с нерегулярностями кристаллической решетки. После каждого соударения изменяется направление скорости движения дырки. Очень важный вид взаимодействия носителей заряда в германии и кремнии, а именно рассеяние на акустических фононах, которое является практически упругим и изотропным, должно приводить к тому, что большинство носителей заряда будет уходить из сравнительно узкого конуса отрицательных эффективных масс, и, значит, генератор в таких условиях невозможно реализовать.

Поскольку полностью избежать соударений носителей заряда в кристалле невозможно, следует попытаться выяснить, какой механизм рассеяния меньше всего препятствует образованию пучка носителей заряда. Это могли бы обеспечить два типа соударений:

- соударения, при которых направление скорости вообще очень мало меняется. Таких механизмов рассеяния в кристаллах практически не существует;
- соударения, при которых носитель заряда практически полностью теряет энергию и импульс и электрическое поле ускоряет его после соударения в нужном направлении.

Неупругое рассеяние на оптических фононах — это как раз тот вид взаимодействия носителей заряда с кристаллической решеткой, который меньше других препятствует образованию пучка носителей с отрицательными эффективными массами. Действительно, после каждого акта неупругого рассеяния на оптических фононах носитель заряда теряет почти полностью энергию и импульс и может затем ускоряться электрическим полем в желаемом направлении (в области отрицательных эффективных масс) до следующего соударения. Поэтому преобладающее рассеяние на оптических фононах не должно препятствовать созданию усилителя (генератора).

Полупроводники, имеющие носители заряда с отрицательными эффективными массами и у которых вероятность рассеяния этих носителей на оптических фононах велика, могут служить для усиления или генерации СВЧ колебаний. При этом СВЧ поле следует прикладывать в направлении, в котором возникают малые по абсолютной величине отрицательные эффективные массы внутри определенных конусов или колец в k -пространстве, а сильное постоянное электрическое поле следует направлять вдоль оси одного из этих конусов. Для ситуации, имеющей место в германии, например, можно СВЧ поле приложить вдоль одного из направлений $[110]$, а постоянное электрическое поле — вдоль оси одного из двух $[110]$ конусов, которая совпадает с одним из направлений $[100]$.

В ряде работ исследовались возможности практического создания усилителя.

Систематические исследования магнетосопротивления полупроводников при одноосной упругой деформации оказались весьма эффективными и плодотворными не только с точки зрения использования полученных результатов в прикладном плане, но и, прежде всего, в научном. При этом вся совокупность полученных к настоящему времени результатов дает право рассматривать этот метод изучения физических свойств полупроводников как один из самых информативных и наглядных методов исследования особенностей зонной структуры.

Теоретический анализ влияния деформации на вырожденные зоны в кубических кристаллах, проведенный в [2; 22], показал что в рассматриваемом случае одноосная деформация приводит не только к относительному смещению зон по энергии (а следовательно, и к межзонному перераспределению дырок), но и вызывает при этом радикальную перестройку энергетического спектра дырок. Существенным результатом такого анализа является то, что поверхности постоянной энергии вблизи экстремумов зон должны представлять собой эллипсоиды вращения (либо трехосные эллипсоиды) для малых значений энергии, а при больших энергиях — деформированные поверхности постоянной энергии. Экспериментальных данных изучения анизотропии рассеяния дырок в сильно деформированных кристаллах кремния до настоящего времени не имеется.

Таким образом, наличие экстремальных условий по деформации и магнитному полю позволяет решать такие задачи научного и прикладного характера, которые в принципе не могут быть решены при исследовании в условиях малых деформаций и слабых полей.

Несмотря на то, что количественного описания продольного магнетосопротивления, обусловленного явлениями переноса в валентной зоне при сильной одноосной упругой деформации, до настоящего времени не получено, основные особенности могут быть поняты на основании результатов теоретического рассмотрения изменения в этих условиях энергетического спектра валентной зоны, обусловленного снятием вырождения валентной зоны в точке $k = 0$ при деформации, понижающей симметрию кристаллической решетки.

Результаты указанных теоретических работ, а также данные изучения циклотронного резонанса дырок в одноосно деформированных кристаллах германия и кремния [3; 1045, 4; 225–227] свидетельствуют о том, что в противоположность случаю весьма малых изменений при деформации энергетического спектра носителей тока в зоне проводимости, валентная зона кремния (изоэнергетические поверхности которой в отсутствие деформации представляют собой деформированные сферы) изменяется с деформацией радикальным образом.

Константа деформированного потенциала a описывает «синхронное» смещение валентных зон (без снятия вырождения) тяжелых и легких дырок при изотропной (гидростатической) деформации:

$$\delta\varepsilon = aS\rho\varepsilon.$$

Таким образом, изоэнергетические поверхности расщепленных одноосной деформацией валентных зон представляют собой эллипсоиды вращения (а при $X \parallel [110]$ — трехосные эллипсоиды) с осью вращения, совпадающей с осью деформации, и эффективными массами дырок $m_i > m_l$ для нижней из расщепленных зон, $m_i < m_l$ — для верхней отщепленной деформацией валентной зоны.

На основании результатов [5; 28, 6; 428] обсужденных работ следует вывод о том, что основные механизмы тензоэффектов, связанных с явлениями переноса в валентной зоне кремния, обусловлены:

- 1) существенной перестройкой зонного спектра дырок при сильной одноосной упругой деформации;
- 2) переселением дырок из верхней (по энергии) отщепленной зоны в нижнюю;
- 3) изменением с деформацией относительного вклада различных механизмов рассеяния;
- 4) изменением отрицательного магнетосопротивления при деформации анизотропии рассеяния.

Экспериментальные данные по пьезосопротивлению, полученные при сильной одноосной упругой деформации, могут быть использованы для анализа особенностей рассеяния дырок при различной анизотропии энергетического спектра, реализуемой при различной ориентации оси деформации.

Для определения анизотропии рассеяния дырок в валентной зоне с эллипсоидальной изоэнергетической поверхностью необходимо иметь экспериментальные данные по анизотропии подвижности дырок, полученные в области сильных деформаций, когда реализована перестройка валентной зоны вследствие снятия вырождения в точке $k = 0$ и осуществлено полное переселение дырок из верхней (по энергии) отщепленной зоны в нижнюю. Такие условия достигаются, очевидно, при энергетическом расщеплении валентной зоны, существенно превышающем значение $k_B T$, определяющее в невырожденных кристаллах энергию носителей тока.

Наиболее неблагоприятный, с точки зрения возможностей выполнения отмеченных условий, случай $X \parallel [001]$ характеризуется малым значением константы деформационного потенциала a .

Не останавливаясь подробно на обсуждении особенностей полученных зависимостей удельного сопротивления кристаллов кремния p -типа для продольной и поперечной ориентации оси деформации относительно направления вектора прикладываемого электрического поля, отметим, что все эти особенности могут быть объяснены на основе учета, предсказываемого теорией [7; 1643] перестройки энергетического спектра валентной зоны, переселения носителей тока из зоны легких дырок в зону тяжелых дырок и изменения анизотропии рассеяния при сильной одноосной деформации.

При этом наиболее существенный вклад в магнетосопротивление кремния p -типа вносит перестройка энергетического спектра валентной зоны, сопровождающаяся преобразованием изоэнергетических поверхностей в виде деформированных сфер (в недеформированных кристаллах) в эллипсоиды вращения (при $X \parallel [111]$ и $X \parallel [001]$) с анизотропией эффективных масс, характеризуемых неравенством $m_i > m_l$ для нижней (по энергии) расщепленной валентной зоны и $m_i < m_l$ для верхней валентной зоны.

На основании экспериментальных данных были определены значения параметра анизотропии подвижности дырок в сильно деформированных кристаллах

$$k_{\infty} = \frac{\mu_{\ell\infty}}{\mu_{t\infty}}, \quad (1)$$

которые вместе с вычисленными согласно (1) значениями параметра анизотропии эффективных масс дырок эллипсоидальных изоэнергетических поверхностей валентных зон кремния представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Анизотропия рассеяния дырок в одноосно-деформированных кристаллах кремния *p*-типа

Кристалл	$n_p, \text{см}^{-3}$	$X \parallel [001]$			$X \parallel [111]$		
p — Si	$5,2 \cdot 10^{13}$	$k = \frac{\sigma_{\ell}}{\sigma_t}$	k_{τ}	k_{τ}	k_{m_1}	4	k_{τ_1}
		1,8	0,77	1,4	4,7	0,366	1,7

Из таблицы видно, что параметры анизотропии времени релаксации

$$k_{\tau} = \frac{\langle \tau_{\ell} \rangle}{\langle \tau_t \rangle}$$

заметно различаются как для разных ориентаций оси деформации в кристалле с одинаковой концентрацией ионизированных рассеивающих центров, так и для кристаллов с разной концентрацией примеси (дырок), но при одной и той же ориентации оси деформации.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что анизотропия рассеяния носителей тока непосредственно определяется как анизотропией их энергетического спектра, определяющей анизотропию эффективных масс, так и анизотропными свойствами самих рассеивающих носителей тока дефектов.

Отметим, что количественный расчет анизотропии рассеяния дырок в сильно деформированных кристаллах кремния *p*-типа на основе соотношений теории анизотропного рассеяния [8; 949] осложняется тем, что для валентной зоны кремния значения констант деформированных потенциалов a, b, d с достаточной точностью не определены.

References

- 1 *Cidilkovski I.M.* The electrons and holes in semiconductors. — Moscow: Nauka, 1972. — 640 p.
- 2 *Bir G.L., Picos G.E.* Symmetry and deformation effect in semiconductors. — Moscow: Nauka, 1972. — 584 p.
- 3 *Hensel J.C., Feher G.* Cyclotron Resonance Experiments in Uniaxially Stressed Silicon: Valence Band Inverse Mass Parameters and Deformational Potentials // *Phys. Rev.* — 1963. — Vol. 129. — № 3. — P. 1041–1062.
- 4 *Hensel J.C., Hazaegawa H., Nakayama M.* Cyclotron Resonance in Uniaxially Stressed Silicon II. Nature of the Covalent Band // *Phys. Rev.* — 1965. — Vol. 138. — № 1A. — P. A225–A238.
- 5 *Taimuratova L.U.* Longidinal magnetoresistance in *p*-type Silicon strong pulsed magnetic fields News, NAS RK physico-mathematical series. — Almaty. — 2007. — № 6. — P. 28–35.
- 6 *Taimuratova L.U.* Strong pulse generator magnetic fields: Book of abstracts of scientific-practical Republican Conference. — Taldykorgan, 2006. — P. 428–430.
- 7 *Bir G.L., Picos G.E.* Effect of deformation in the energy range of holes in Germany and Silicon. II PTC. — 1959. — Vol. 1. — № 11. — P. 1642–1658.
- 8 *Gershenson E.M., Gurevich Y.A., Litvak-Gorskiya L.B.* On the marketability of the amplifier for ofricatclnyht of effective mass of carriers and semiconductors. UPJ. — 1964. — Vol. 9. — P. 948–953.

Л.У.Таймуратова

***p*-типті кремнийдің магнитті кедергісінің біросьті қысымнан тәуелділігі**

Кристалға біросьті серпімді деформациямен әсер еткенде, ауыр тесіктер зонасына жеңіл тесіктер орналасқанда, ауыр тесіктер қысымның әсерінен жеңіл тесіктерге айналып, зоналық спектрде қайта орналасу болады. Солардың салдарынан қозғалғыштығы артады, ал пьезокедергісінің шамасы соған сәйкес кемиді, сондай-ақ магнитті кедергінің шамасы да азаяды. Күшті біросьті серпімді деформация кезінде алынған пьезокедергі бойынша эксперименттік нәтижелерді деформацияның әр түрлі бағдарланған осьтеріндегі энергетикалық спектрдің әр түрлі анизотропиясындағы тесіктердің таралу ерекшелігіне талдау жасау үшін қолдануға болады.

L.U.Taymuratova

Dependence of silicon magnet resistance of *p*-type on one-axial pressure

When putting to crystal one-axial elastic deformation of compression at the same time with resettling of light holes to the zone of heavy holes, reconstruction of zone specter takes place which to that with increase of pressure heavy holes get lighter, their mobility increases and accordingly the size of piezo resistance decreases, consequently, the size of magnet resistance decreases. Experimental data on piezo resistance got while strong one-axial elastic deformation, can be used for analyses of holes dissipation peculiarities on different electrical specter anisotropies which is realized on various orientation of axis deformation.

УДК 669.018

А.А.Чаплыгина¹, М.Д.Старостенков¹, И.А.Дёмина², Г.В.Попова²¹Алтайский государственный технический университет им. И.Ползунова, Барнаул, Россия;²Восточно-Казахстанский государственный университет им. С.Аманжолова, Усть-Каменогорск
(E-mail: irdyomina@mail.ru., genphys@mail.ru)**Упорядоченные фазы в сплавах системы Cu-Pt**

Возможность существования упорядоченных фаз в сплавах системы Cu-Pt была изучена с использованием методов компьютерного эксперимента, который проводился по методу Монте-Карло. Было обнаружено, в зависимости от концентрации компонента сплава, существование упорядоченных сверхструктур $L1_2$ и $L1_3$. Отмечается, что ГЦК-структура в неупорядоченном состоянии трансформируется в процессе упорядочения в ГЦТ-структуру и даже в ромбоэдрическую.

Ключевые слова: фаза, сплавы, упорядочение, компьютерный эксперимент, метод Монте-Карло, ГЦК- и ГЦТ-структуры.

Введение

Сплавы системы Cu-Pt образуют непрерывный ряд твёрдых растворов. При определённых условиях отжига в твёрдом состоянии в данной системе может возникать целый спектр упорядоченных сверхструктур в определенных интервалах концентраций при температурах отжига ниже 645 °С и выше 812 °С. Было экспериментально обнаружено, что наибольшая степень упорядочения достигается при концентрациях платины 22,5; 50; 72,5; 86 % (ат.), что соответствует сверхструктурам $L1_2$ (Cu₃Pt), $L1_1$ (CuPt), $L1_3$ (CuPt₃), сверхструктуре состава CuPt₇ [1].

Следует отметить, что сплавы Cu-Pt являются единственной двойной системой, переходящей в упорядоченном состоянии в целый ряд кристаллографических структур из неупорядоченного состояния регулярного раствора на основе ГЦК решётки. Сплав состава CuPt₃ упорядочивается в сверхструктуру $L1_2$ на основе симметрии ГЦК решётки. Сплав эквиатомного состава при переходе беспорядок-порядок трансформируется из кристаллографии ГЦК решётки в кристаллографию ромбоэдри-

ческой решётки, соответствующую сверхструктуре $L1_1$, тогда углы α , β , γ отличны от $\pi/2$. Сплав Cu_3Pt упорядочивается в соответствии со сверхструктурой $L1_2$ на основе ГЦК решётки регулярного твёрдого раствора. Была обнаружена возможность существования наиболее упорядоченной фазы сплава с 20 % Pt, что соответствует фазе Cu_4Pt [2]. Однако тип сверхструктуры не был определен. Кроме того, в области концентрации 12,5 % Pt была предсказана возможность существования упорядоченного соединения Cu_7Pt [3].

Таким образом, сплавы системы Cu-Pt имеют множество реализаций упорядоченных сверхструктур в широком диапазоне концентраций компонент. Следует отметить разнообразие структурных превращений, имеющих место в данной системе при фазовом переходе беспорядок–порядок, таких как ГЦК–ГЦК, ГЦТ–ромбоэдрическая структура. При этом реализуются сверхструктуры $L1_2$, $L1_0$, $L1_1$, $L1_3$. Однако до настоящего времени имеется мало информации относительно структурно-фазовых превращений данной системы в зависимости от концентрации компонент. Поэтому исследование возможных типов сверхструктур, реализуемых при упорядочении в зависимости от концентрации компонент сплавов системы Cu-Pt, представляется актуальным.

1. Модель компьютерного эксперимента

Компьютерный эксперимент проводили по методу Монте-Карло [4]. Стартовая конфигурация представляла собой разупорядоченный твёрдый раствор. Размеры кристалла составляли $24 \times 24 \times 24$ атомных слоёв (55296 атомов). Межатомное взаимодействие задавалось с помощью парных потенциалов Морзе [5–13]. Использовались периодические граничные условия. Для активизации процесса диффузии в кристалл случайным образом вводилась одна вакансия, что соответствовало концентрации, примерно равной $1,81 \cdot 10^{-5}$. Диффузия атомов происходила по вакансионному механизму методом Монте-Карло. Состояние сплава изменялось в дискретные моменты времени, за одну итерацию принимался один акт самодиффузии, соответствующий перескоку атома в вакантный узел.

Конфигурационная энергия кристалла рассчитывалась по следующей формуле:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \varphi(r_i - r_j), \quad (1)$$

где $r_i - r_j$ — расстояние между атомами i и j ; N — количество атомов в кристалле; M — количество ближайших соседей.

Согласно выбранной модели при каждой итерации рассчитывалась вероятность перескока ближайшего к вакантному узлу атома i , находящегося от него на расстоянии одной-двух координационных сфер, на место этой вакансии по формуле

$$p_i = A^{-1} e^{-\frac{E_{\max} - (E_n^i - E_k^i)}{kT}}, \quad (2)$$

где E_n^i — энергия атома в начальном положении; E_k^i — энергия того же атома после перескока на место вакансии, $E_{\max} = \max_i (E_n^i - E_k^i)$; k — постоянная Больцмана; T — температура, К; A — нормирующий множитель; $1 \leq i \leq M$, M — количество ближайших соседей на двух координационных сферах.

В начале всех экспериментов каждый модельный сплав находился в разупорядоченном состоянии.

Были рассчитаны средняя конфигурационная энергия и значение параметров решётки в зависимости от концентрации атомов меди в системе Cu-Pt. Концентрация атомов Cu в сплаве изменялась от 0 до 100 % с шагом 5 %.

В компьютерных экспериментах рассматривается процесс изменения структуры двух неупорядоченных модельных сплавов системы Cu-Pt в процессе охлаждения. Рассматриваются сплавы состава Cu_3Pt , CuPt_3 . Расчётный блок кристалла задавался путём случайного распределения атомов Cu и Pt по узлам гранецентрированной кубической решётки в соответствии с заданными концентрациями компонент. Элементарные ячейки упорядоченных фаз перечисленных выше составов приведены на рисунке 1. Температура сплава изменялась от 2000 К до 200 К с шагом 100 К.

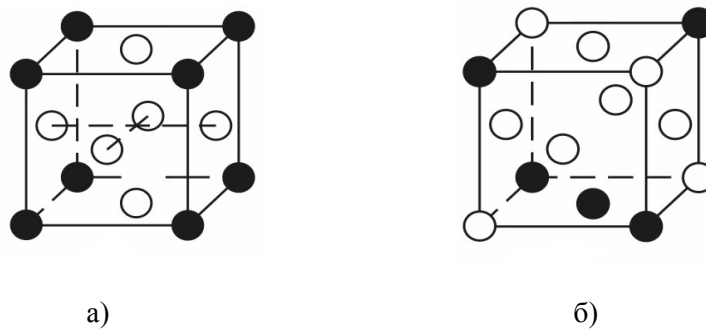


Рисунок 1. Элементарная ячейка сверхструктур типа: а) $L1_2$ (Cu_3Pt); б) $L1_3$ ($CuPt_3$)

2. Сплав Cu_3Pt

По узлам кристаллической решётки случайным образом распределялись 75 % Cu и 25 % Pt. По значениям средней конфигурационной энергии был построен график зависимости энергии от температуры в процессе охлаждения (рис. 2). В сплаве Cu_3Pt перестройки кубической решётки в ромбоэдрическую не происходит.

Как видно из рисунка 2, при температуре выше 1800 К сплав разупорядочен. При дальнейшем понижении температуры значение энергии уменьшается, что говорит о перестройке к более выгодной структуре. Энергия стабилизируется при $T = 1000$ К.

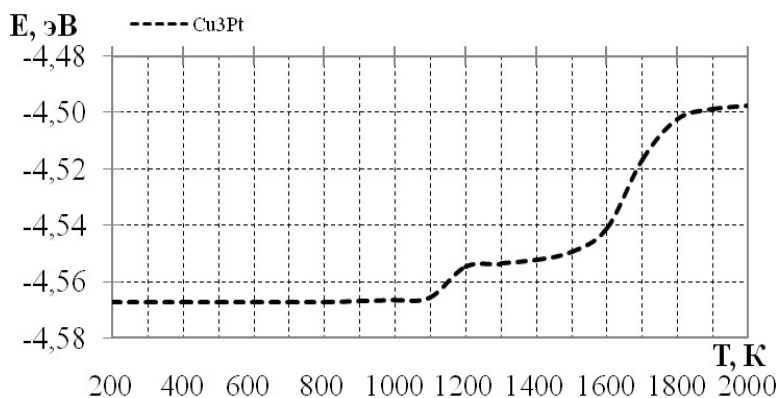


Рисунок 2. Температурная зависимость средней конфигурационной энергии в объёме кристалла на атом в сплаве Cu_3Pt

Изменение атомной структуры сплава представлено на рисунке 3. Тёмным цветом обозначены атомы Pt, светлым — Cu.

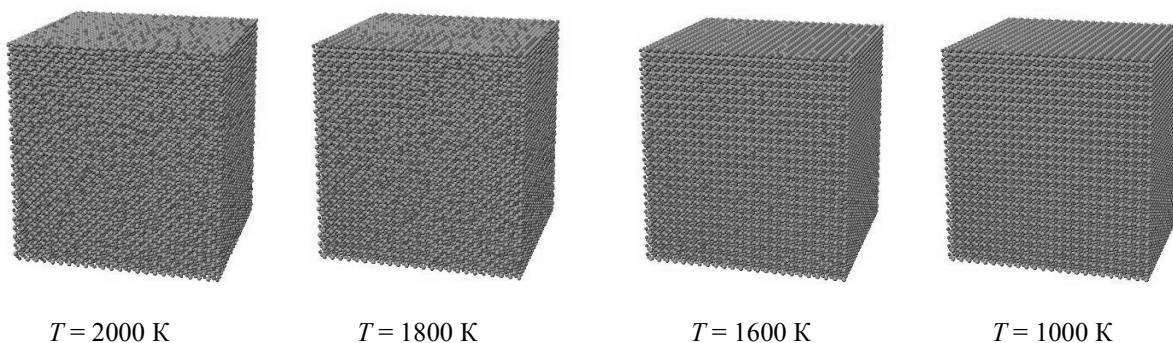


Рисунок 3. Атомная структура сплава Cu_3Pt в зависимости от температуры

При $T = 2000$ К сплав полностью разупорядочен. При $T = 1600$ К заметны области, упорядоченные в соответствии со сверхструктурой $L1_2$. При $T = 1000$ К практически весь кристалл упорядочен, сверхструктура — $L1_2$. При дальнейшем понижении температуры сверхструктура сохраняется.

На рисунке 4 представлено изменение доменной структуры сплава в зависимости от температуры. При $T = 2000$ К сплав разупорядочен, наблюдаются зародыши антифазных доменов, соответствующие сверхструктуре $L1_2$. При понижении температуры до 1600 К формируется один домен со сверхструктурой $L1_2$. При дальнейшем понижении температуры этот домен сохраняется.

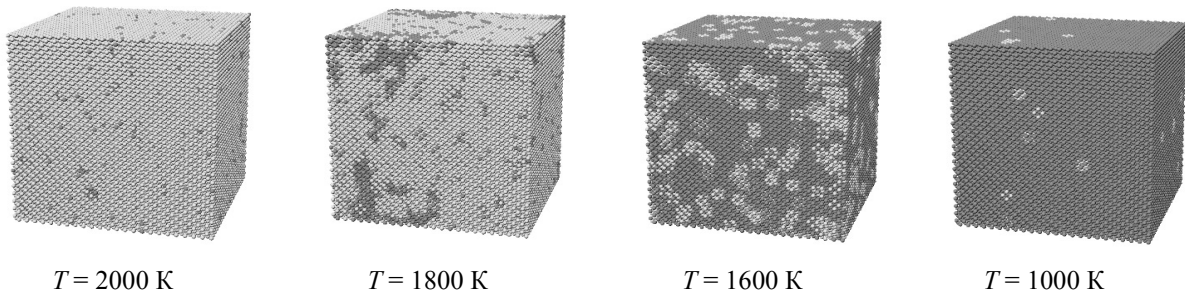


Рисунок 4. Картина распределения атомов по упорядоченным и неупорядоченным фазам в сплаве Cu_3Pt в процессе охлаждения

3. Сплав CuPt_3

По узлам кристаллической решётки случайным образом распределялись 25 % Cu и 75 % Pt. По значениям средней конфигурационной энергии был построен график зависимости энергии от температуры в процессе охлаждения (рис. 5). В сплаве CuPt_3 перестройки кубической решетки в ромбоэдрическую не происходит.

Из графика видно, что до $T = 1800$ К сплав находится в разупорядоченном состоянии, но при понижении температуры до 1600 К наблюдается снижение значения энергии, что говорит о частичном упорядочении структуры. Энергия стабильна до $T = 1200$ К, затем наблюдается резкое снижение, что говорит о перестройке к более энергетически выгодной структуре. Энергия стабилизируется при $T = 800$ К.

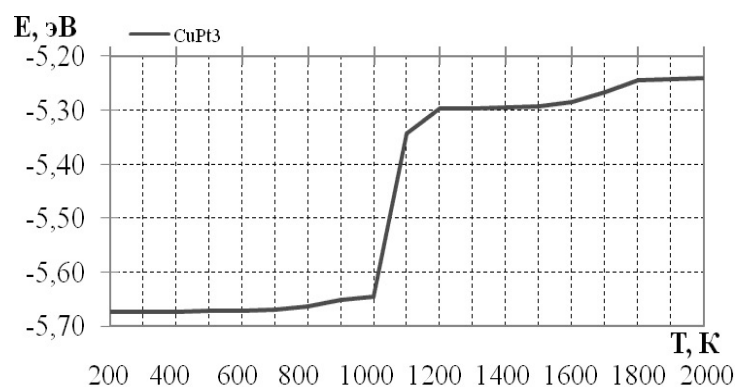


Рисунок 5. Температурная зависимость средней конфигурационной энергии в объеме кристалла на атом в сплаве CuPt_3

На рисунке 6 представлено изменение атомной структуры сплава в зависимости от температуры. При $T = 2000$ К сплав находится в разупорядоченном состоянии. При понижении температуры до 1600 К наблюдается упорядочение в соответствии со сверхструктурой $L1_2$. При $T = 1000$ К сплав снова приходит в разупорядоченное состояние и начинается перестройка в соответствии со сверхструктурой $L1_3$. При $T = 800$ К хорошо видны области, упорядоченные в соответствии со сверхструктурой $L1_3$. При дальнейшем понижении температуры весь кристалл упорядочивается в соответствии со сверхструктурой $L1_3$.

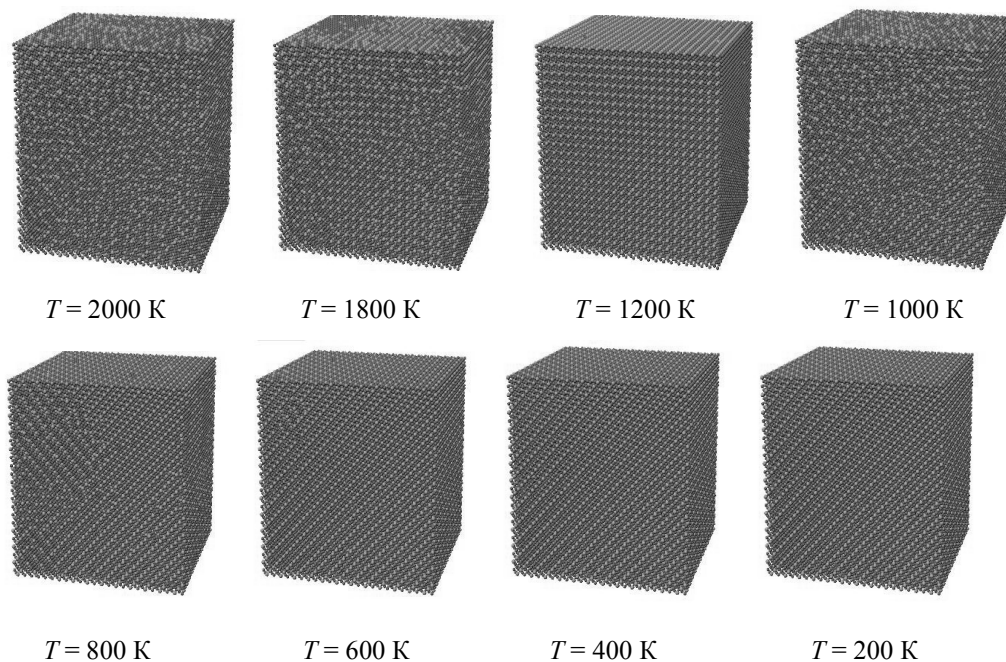


Рисунок 6. Атомная структура сплава CuPt_3 в зависимости от температуры

На рисунке 7 представлено изменение доменной структуры сплава в зависимости от температуры. Для сверхструктуры $L1_3$ существует три типа антифазных домена в направлениях $\langle 100 \rangle$, $\langle 010 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$. На рисунке светлым цветом изображены неупорядоченные области темным — домены соответствующие сверхструктуре $L1_2$, антифазные домены, соответствующие сверхструктуре $L1_3$.

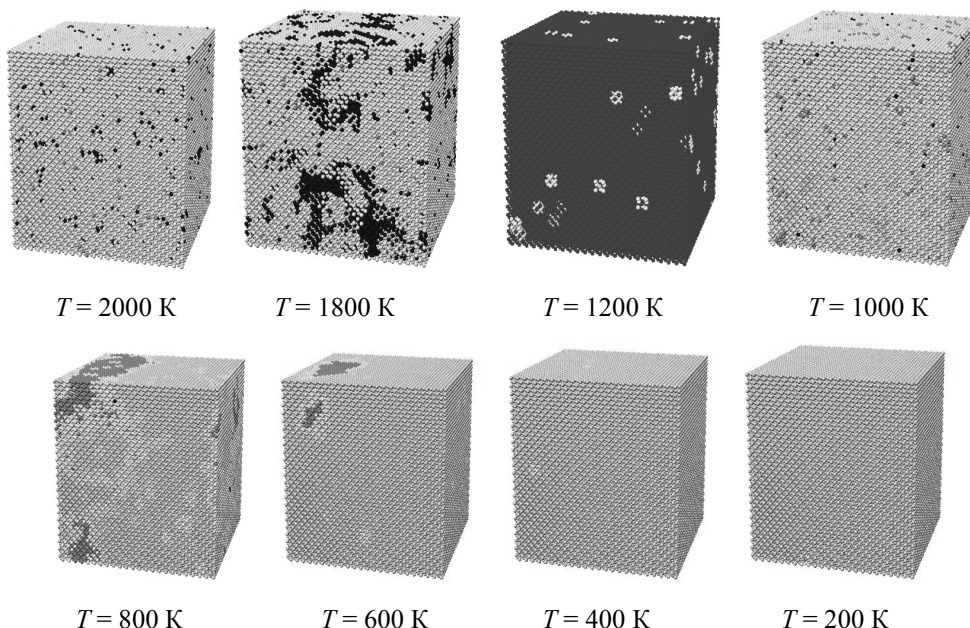


Рисунок 7. Картина распределения атомов по упорядоченным и неупорядоченным фазам в сплаве CuPt_3 в процессе охлаждения

При $T = 2000 \text{ K}$ сплав разупорядочен, наблюдаются мелкоразмерные домены и кластеры, соответствующие сверхструктурам $L1_2$ и $L1_3$. При понижении температуры до 1800 K становится заметным преобладание домена, соответствующего сверхструктуре $L1_2$. При понижении температуры до 1200 K весь кристалл упорядочивается в соответствии со сверхструктурой $L1_2$. При $T = 1000 \text{ K}$ кристалл переходит в разупорядоченное состояние с формированием зародышей антифазных доменов

сверхструктуры $L1_3$, т.е. происходит сверхструктурная перестройка из $L1_2$ в $L1_3$. С понижением температуры до 800 К количество неупорядоченных областей сокращается, наблюдаются все три типа антифазных домена сверхструктуры $L1_3$. При дальнейшем понижении температуры весь кристалл переходит к домену одного типа.

References

- 1 Diagrams of a condition of double metal systems: Д44 the Directory: In 3 v. / Under N.P.Ljakisheva's general edition. — Moscow: Mechanical engineering, 1996. — Vol. 1. — 992 p.
- 2 Kozlov E.V., Dementyev V.M. et al. Structure and stability of the ordered phases. — Tomsk: TomskSU Publishing house, 1994. — 248 p.
- 3 Gejchenko V.V., Buzzard A.K. Theory of streamlining of alloys of type Cu-Pt // Successes of Physical Sciences. — 1976. — Vol. 21. — № 10. — P. 1648–1653.
- 4 Heerman D.V. Method of computer experiment in the theoretical physics: the Lane with English / Under the editorship of S.A.Ahmanova. — Moscow: Nauka, 1990. — 176 p.
- 5 Gorlov N.V. Computer modeling of flat defects in the ordered alloys of type A3B. The dissertation on competition of a scientific degree. — Tomsk: TSU, 1987. — 214 p.
- 6 Bakaldin A.V. Planar defects in superstructure $L1_1$: The dissertation... Barnaul: Alt.STU named after I.Polzunov, 1994. — 177 p.
- 7 Starostenkov M.D. The Crystal-geometrical description of planar defects in superstructures: The dissertation author's abstract ... Barnaul: Alt.STU named after I.Polzunov, 1994. — 86 c.
- 8 Kozlov E.V., Priests L.E., Starostenkov M.D. Calculation of potentials of Morza for firm gold // News of higher educational institutions. Physics. — 1972. — № 3. — P. 107–108.
- 9 Starostenkov M.D., Dmitriev S.V. Distribution of spatial polyhedrons on coordination spheres in the OTSK-LATTICE // Magazine of structural chemistry. — 1993. — Vol. 34. — № 4. — P. 107–111.
- 10 Rakitin R.Ju., Poletaev G.M. et al. Research of mechanisms of diffusion on borders of grains of an inclination in GCK metals // Fundamental problems of modern materials technology. — 2005. — Vol. 2. — № 2. — P. 124–129.
- 11 Poletaev G.M., Starostenkov M.D., Patseva Ju.V. Research of the mechanism of self-diffusion in two-dimensional metals // Fundamental problems of modern materials technology. — 2004. — Vol. 1. — № 1. — P. 147–151.
- 12 Starostenkov M.D., Dem'yanov B.F. et al. Computer modeling of grain boundaries in Ni_3Al // Computational Materials Science. — 1999. — Vol. 14. — № 1–4. — P. 146–151.
- 13 Dem'yanov B.F., Kustov S.L., Starostenkov M.D. Computer simulation of the interaction of vacancies with the special tilt grain boundaries // Materials Science and Engineering. — Almaty, 2004. — Vol. 387–389. — P. 738–742.

А.А.Чаплыгина¹, М.Д.Старостенков¹, И.А.Дёмина², Г.В.Попова²

СuPt-тың жүйесі балқымаларындағы ретке салған фазаларының зерттеуі

Сu–Pt жүйесінің балқымаларындағы реттелген фазалардың мүмкін болуы компьютер тәжірибесі әдісін қолдану негізінде зерттелген. Компьютер тәжірибесі Монте-Карло әдісі бойынша жүргізілді. Балқыма компонентінің шоғырлануына байланысты $L1_2$ және $L1_3$ реттелген асқын құрылымдардың бар болуы анықталды. Реттелмеген ҚЦТ (қырлары центрленген текше) құрылым реттелу үрдісінде ҚЦТ (қырлары центрленген тетраэдр), сондай-ақ ромбоэдрилық құрылымына ауысады.

A.A.Chaplygina¹, M.D.Starostenkov¹, I.A.Dyomina², G.V.Popova²

Research of the ordered phases in system of Cu-Pt alloys

The possibility of the existence of the ordered phases in the alloys of the system Cu–Pt was studied by the method of computer experiment. The computer experiment was made using Monte-Carlo method. It was shown that the superstructures $L1_2$, $L1_3$ were realized in the dependence on components concentration at the ordering. In this connection, FCC structure in the disordered state was transformed into FCT structure and even into rhombohedra one.

В.М.Юров, В.Ч.Лауринас, О.Н.Завацкая, С.А.Гученко

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: exciton@list.ru)

Поверхностное натяжение ионно-плазменных покрытий

В работе рассмотрены возможности методов определения поверхностного натяжения осаждаемых покрытий по измерению зависимости микротвердости или электропроводности от толщины осаждаемого покрытия — нитридных и композиционных покрытий, наносимых на стальные подложки ионно-плазменным методом. Исследовано влияние температуры подложки, давления газа в рабочей камере, катодного тока на поверхностное натяжение покрытий. Показано, что наибольшее влияние оказывает давление газа в рабочей камере. Определены оптимальные технологические параметры нанесения покрытий. Приведенные в работе результаты позволяют предложить разработанные авторами методы определения поверхностного натяжения осаждаемых покрытий в качестве аналитических методов контроля их свойств и технологических параметров получения.

Ключевые слова: ионно-плазменная обработка, защитные покрытия, поверхностное натяжение, технологический режим, микротвердость, электропроводность.

Введение

Первые режущие пластины с покрытием появились на зарубежном рынке в 1968 г., когда шведской фирмой «Сандвик Коромант» был разработан и внедрен в производство метод осаждения карбида титана на твердосплавный инструмент. В 1971 г. фирмой Teledyne Firth Sterlig (США) были получены покрытия из нитрида титана. В Московском институте стали и сплавов в 1971 г. был разработан метод осаждения покрытия из карбида ниобия.

В последующие годы исследователями многих стран (США, Франции, Японии, Великобритании, ФРГ и др.) разрабатывались технологии нанесения различных покрытий различного назначения. Однако технологии не раскрывались и в открытой печати не публиковались. Большинство зарубежных фирм пошло по пути оказания услуг по нанесению покрытий без продажи технологий.

Среди методов нанесения защитных покрытий, основанных на воздействии на поверхность детали потоков частиц и квантов с высокой энергией, большое внимание привлекают вакуумные ионно-плазменные методы. Характерной их чертой является прямое преобразование электрической энергии в энергию технологического воздействия, основанную на структурно-фазовых превращениях в осаждаемом на поверхности конденсате или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру [1–2].

Основным достоинством данных методов является возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесения плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, а также алмазоподобных, которые невозможно получить традиционными методами. Кроме того, эти методы позволяют:

- обеспечить высокую адгезию покрытия к подложке;
- обеспечить равномерность покрытия по толщине на большой площади;
- варьировать состав покрытия в широком диапазоне, в пределах одного технологического цикла;
- получить высокую чистоту поверхности покрытия;
- обеспечить экологическую чистоту производственного цикла.

К основным методам ионно-плазменной обработки следует отнести:

- ионно-лучевые и вакуумно-дуговые методы осаждения покрытий;
- ионно-плазменные методы диффузионной обработки в тлеющем разряде;
- ионно-плазменные методы диффузионной обработки в несамостоятельном разряде.

Методы ионно-лучевой и вакуумно-дуговой обработки позволяют получать тонкие пленки (десятки мкм), строго контролируемые по составу, беспримесные, однородные по структуре, с образованием диффузионного переходного слоя. Недостатками данных методов являются: малая толщина пленок, наличие высокого вакуума (10^{-4} – 10^{-2} Па), сложность и высокая стоимость оборудования, низкая производительность, возможность обработки только локальных поверхностей. Установки работают в импульсном режиме с крутопадающей внешней характеристикой источника питания, что значительно повышает их стоимость и снижает надежность.

Получение нанокompозитов с помощью ионно-плазменных методов требует осаждения на подложку многокомпонентных потоков. В большинстве случаев синтез покрытий сложного элементного состава реализуется путем послойного или одновременного осаждения на подложку в атмосфере потоков реакционных газов от двух из следующих источников: ионных [3], магнетронных [4], вакуумно-дуговых [5, 6]. Одна из ключевых проблем, которые следует решить при создании нанокompозиционных ионно-плазменных покрытий, — генерация многокомпонентных потоков, осаждаемых на подложку.

Свойства формируемых при осаждении покрытий во многом определяются их поверхностной энергией или поверхностным натяжением. До наших работ [7–9] методов экспериментального определения поверхностного натяжения не существовало. В настоящей работе мы приводим результаты определения поверхностного натяжения ионно-плазменных покрытий при различных технологических режимах их осаждения и после облучения покрытий тяжелыми ионами аргона.

Методика эксперимента

Использовались титановые, циркониевые, танталовые и другие катоды, а также композиционные катоды Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al, Zn-Cu-Al и Mn-Fe-Cu-Al. С помощью этих катодов наносились покрытия на установке ННВ — 6.6И1 на стальную подложку при различных технологических режимах. Качественный анализ элементного состава покрытий проводился на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Исследование микротвердости композиционных покрытий проводилось на микротвердомере ISOSCAN OD. Для исследования поверхности покрытий в наномасштабе был взят атомно-силовой микроскоп NT-206. Контроль качества покрытий производился на установке ПККП — 1К методом анодно-поляризационного инициирования дефектов (АПИД). Нами использовалось осаждение многофазных покрытий в условиях ионного ассистирования. Перед нанесением покрытий в вакуумной камере производилась очистка подложек сначала тлеющим разрядом, для чего на подложку подавалось напряжение 1–3 кВ в течение 5–10 мин, затем ионная очистка.

Мы применяли два метода определения поверхностного натяжения осаждаемых покрытий. В первом методе предусматривается измерение поверхностного натяжения путем определения зависимости микротвердости от толщины осаждаемого покрытия, которая описывается формулой [7]

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{h}\right), \quad (1)$$

где μ — микротвердость осаждаемого покрытия; μ_0 — «толстого» образца; h — толщина осаждаемого покрытия.

Параметр d связан с поверхностным натяжением σ формулой [7]

$$d = \frac{2\sigma v}{RT}. \quad (2)$$

Здесь σ — поверхностное натяжение массивного образца; v — объем одного моля; R — газовая постоянная; T — температура. В координатах $\mu \sim 1/h$ ($1/h$ — обратная толщина осаждаемого покрытия) получается прямая, тангенс угла наклона которой определяет d , и по формуле (2) рассчитывается поверхностное натяжение осаждаемого покрытия (σ). Во втором методе измеряется зависимость электропроводности Ω осаждаемого покрытия от его толщины h , которая описывается формулой, аналогичной (1):

$$\Omega = \Omega_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{h}\right), \quad (3)$$

где Ω_0 — электрическая проводимость массивного образца, а d определяется по формуле (2).

Поверхностное натяжение нитридных покрытий

Прежде всего рассмотрим результаты определения поверхностного натяжения нитридтитановых покрытий, наиболее исследованных и наиболее популярных в практическом применении. Результаты показаны на рисунках 1 и 2. В координатах $\mu/\mu_0 \sim 1/h$ экспериментальная кривая спрямляется в соответствии с (1), давая значение $h = 1,3$ мкм. Для нитрида титана $\vartheta = 11,44$ см³/моль и из соотношения (2) для поверхностного натяжения получено $\sigma = 0,474$ Дж/м². Экспериментальная зависимость электропроводности Ω осаждаемого покрытия от его толщины h (рис. 2) описывается формулой, аналогичной (1). В координатах $\Omega \sim 1/h$ экспериментальная кривая спрямляется, давая значение

$d = 1,4$ мкм. Из соотношения (2) для поверхностного натяжения получено $\sigma = 0,479$ Дж/м². Это значение практически совпадает с результатом, полученным из зависимости микротвердости от толщины покрытия, что является подтверждением используемой методики и соотношений (1) и (2).

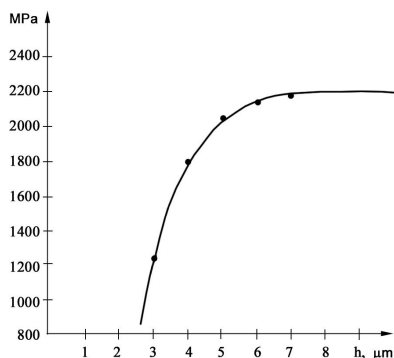


Рисунок 1. Зависимость микротвердости от толщины нитрид-титанового покрытия на стали X12

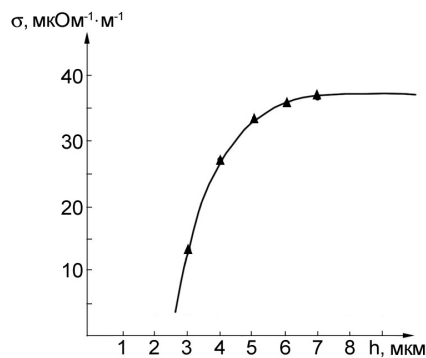


Рисунок 2. Зависимость электропроводности от толщины нитрид-титанового покрытия на стали X12

Поверхностное натяжение для других покрытий определялось по методике, описанной выше для нитрида титана. Средние значения величины поверхностного натяжения, полученные обоими методами, приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Поверхностное натяжение и свойства нитридных покрытий

Нитрид	Температура плавления покрытия, °С	Микротвердость покрытия, ГПа	Электропроводность покрытия, мкОм ⁻¹ ·м ⁻¹	Поверх. натяжение покрытия, Дж/м ²	Поверх. натяжение металла, Дж/м ²
TiN	2945	20,0	40	0,474	1,933
ZrN	2955	16,0	18	0,518	2,125
HfN	3330	22,0	32	0,610	2,503
NbN	2320	14,0	78	0,670	2,741
TaN	3360	17,5	180	0,735	3,014

Из таблицы 1 видно, что в ряду TiN→TaN поверхностное натяжение увеличивается почти в 2 раза. По сравнению с чистыми металлами оно уменьшается примерно в 4 раза для всех покрытий, т.е. азот, вступая в реакцию с металлом и образуя химическую связь, действует практически на все металлы одинаковым образом.

Таким образом, константу $c = \sigma_{MeN}/\sigma_{Me} = 0,245$ можно использовать для оценки поверхностного натяжения нитридов любых металлов. Для целого ряда металлов такие оценки приведены в таблицах 2–7. Значения σ_{Me} взяты из работы [10].

Интерес к нитридам металлов обусловлен их уникальными физико-химическими свойствами. Среди них встречаются соединения тугоплавкие, износостойкие, коррозионностойкие, проводники, полупроводники и изоляторы, а также материалы с другими разнообразными свойствами.

Т а б л и ц а 2

Поверхностное натяжение нитридов щелочных и щелочноземельных металлов

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Li	0,452	Li ₃ N	0,104	Be	1,558	Be ₃ N ₂	0,382
Na	0,371	Na ₃ N	0,091	Mg	0,923	Mg ₃ N ₂	0,226
K	0,337	K ₃ N	0,083	Ca	1,118	Ca ₃ N ₂	0,274
Rb	0,312	Rb ₃ N	0,076	Sr	1,030	Sr ₃ N ₂	0,252
Cs	0,302	Cs ₃ N	0,074	Ba	0,983	Ba ₃ N ₂	0,241

Из нитридов щелочных металлов наиболее устойчив нитрид лития, который медленно образуется при взаимодействии с азотом уже при комнатной температуре и быстро — при 250 °С. Нитриды остальных щелочных металлов получают при взаимодействии паров металла с азотом в тлеющем электрическом разряде.

Нитрид бериллия представляет в чистом состоянии белое вещество, в загрязненном — порошок серого цвета. Коэффициент испарения равен 0,001. Нитрид бериллия обладает высокой твердостью, в присутствии добавок Al_2O_3 и некоторых других приобретает способность флуоресцировать.

Из всех методов получения нитрида магния практическое применение имеют только методы, основанные на обработке нагретого магния азотом или аммиаком. Однако до сих пор не выработаны оптимальные температурные условия проведения этих процессов. Нитриды щелочных и щелочноземельных металлов в практических целях используются мало.

Нитрид алюминия имеет гексагональную кристаллическую структуру типа вюрцита с ковалентными связями. Используется в производстве светодиодов, материалов из нановолокон, высокотемпературной керамики.

Т а б л и ц а 3

Поверхностное натяжение нитридов металлов подгруппы бора и углерода

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Al	0,933	AlN	0,229	Si	1,686	α -Si ₃ N ₄	0,413
Ga	0,303	GaN	0,074	Ge	1,231	Ge ₃ N ₄	0,302
In	0,429	InN	0,105	Sn	0,505	Sn ₃ N ₄	0,124
Tl	0,576	TlN	0,141	Pb	0,600	Pb ₃ N ₄	0,147

Нитрид галлия широко используется в светодиодах, мощных и высокочастотных устройствах. Нитриды индия и таллия пока имеют ограниченное применение. Нитрид кремния является керамикой, которая имеет высокую прочность в широком диапазоне температур, поэтому он широко используется как режущий и абразивный инструмент и т.д. Нитрид германия широко применяется в микроэлектронике. Олово и свинец не реагируют с азотом при обычных условиях, и их нитриды не находят практического применения.

Т а б л и ц а 4

Поверхностное натяжение нитридов металлов подгруппы меди и цинка

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Cu	1,356	Cu ₃ N	0,332	Zn	0,693	Zn ₃ N ₂	0,170
Ag	1,234	Ag ₃ N	0,302	Cd	0,594	Cd ₃ N ₂	0,146
Au	1,336	Au ₃ N	0,327	Hg	0,234	Hg ₃ N ₂	0,057

Диаграммы состояния металлов подгруппы меди с азотом не изучены. Азот не растворяется ни в твердой, ни в жидкой меди, по крайней мере, до температур 1400 °С. Нитрид меди получают при пропускании аммиака над тонкоизмельченной окисью меди при $T = 250 - 280$ °С. Он представляет собой полупроводник с шириной запрещенной зоны 0,23 эВ. Практического применения пока нет. Нитрид серебра (азид серебра) имеет способность взрываться (гремучее серебро Вертелло) на воздухе при 165 °С, а также при соприкосновении с различными твердыми веществами, при трении, ударе.

Нитрид золота подобен нитриду меди как по способу получения, так и по свойствам. Нитриды подгруппы цинка также не находят практического применения.

Поверхностное натяжение нитридов металлов подгруппы хрома и марганца

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Cr	2,173	CrN	0,532	Mn	1,517	MnN	0,372
Mo	2,873	MoN	0,704	Tc	2,473	TcN	0,606
W	3,673	WN	0,900	Re	3,423	ReN	0,839

Среди нитридов металлов нитриды хрома являются одними из самых стойких к окислению. Покрытия из нитридов хрома обладают повышенной износостойкостью и, кроме того, одним из самых низких коэффициентов отражения в видимой области длин волн, что обуславливает их использование как в производстве износостойких режущих инструментов, так и в оптическом приборостроении.

С азотом молибден не реагирует, азот незначительно растворяется в молибдене. Нитриды молибдена добыты другим путем. При температуре 400–745 °С порошок молибдена реагирует с аммиаком, с получением нитридов молибдена MoN, Mo₂N и β -фазы, содержащей 28 % азота. Практическое применение ограничено. С азотом вольфрам реагирует выше 1500 °С; при 2300–2500 °С образуется нитрид WN₂, который в отсутствие азота разлагается выше 800 °С.

Нитриды лантаноидов получают путем азотирования металлических порошков в атмосфере аммиака. Реакция азотирования самария идет гораздо медленнее, чем лантана, церия, празеодима и неодима, и содержание в продуктах азотирования 94–95 % SmN достигается только через 15–20 ч. Применение их пока ограничено.

Т а б л и ц а 6

Поверхностное натяжение нитридов лантаноидов

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Ce	1,077	CeN	0,264	Tb	1,631	TbN	0,400
Pr	1,208	PrN	0,296	Dy	1,680	DyN	0,412
Nd	1,298	NdN	0,318	Ho	1,734	HoN	0,425
Sm	1,325	SmN	0,325	Er	1,770	ErN	0,437
Eu	1,175	EuN	0,288	Tm	1,818	TmN	0,773
Gd	1,585	GdN	0,388	Yb	1,097	YbN	0,269

Т а б л и ц а 7

Поверхностное натяжение нитридов актиноидов

Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²	Металл	σ_{Me} , Дж/м ²	Нитрид металла	σ_{MeN} , Дж/м ²
Ac	1,323	AcN	0,324	Pu	0,910	PuN	0,223
Th	2,023	ThN	0,496	Am	1,273	AmN	0,312
U	1,405	UN	0,344	Bk	1,298	BkN	0,318
Np	0,913	NpN	0,224	-	-	-	-

Актиноиды являются гомологами лантаноидов, поэтому их свойства имеют большое сходство.

Влияние температуры подложки на поверхностное натяжение композиционных покрытий

Температура подложки контролировалась хромель-алюмелевой термопарой, прикрепленной непосредственно к подложке. Результаты измерения поверхностного натяжения, полученные обоими методами, описанными выше, приведены в таблице 8.

Зависимость поверхностного натяжения покрытия от температуры подложки

Покрытие	Температура подложки, °С			Поверхностное натяжение покрытия, Дж/м ²		
	350	400	450	0,206	0,243	0,214
Zn–Cu–Al	350	400	450	0,206	0,243	0,214
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al	350	400	450	0,606	0,711	0,621
Mn–Fe–Cu–Al	350	400	450	0,324	0,367	0,309

Оптимальная температура подложки для всех композиционных покрытий оказалась равной около 400 °С. Измельчение зерновой структуры материала покрытия с увеличением температуры подложки сопровождается ростом твердости и поверхностного натяжения до некоторого критического среднего размера нанозерна. Снижение твердости при дальнейшем уменьшении среднего размера зерна в покрытии происходит из-за проскальзывания по межзеренным границам (ротационный эффект). В этом случае для дальнейшего повышения поверхностного натяжения требуется затормозить процесс скольжения по межзеренным границам. Такое торможение может быть достигнуто за счет формирования соответствующей наноструктуры с упрочнением межзеренных границ.

Влияние величины тока дуги на свойства композиционных покрытий

Баланс мощности, выделяющийся на электродах вакуумно-дуговых испарителей, имеет существенное значение как для их конструктивного расчета, так и для реализуемых с их помощью технологических процессов.

Зависимость поверхностного натяжения покрытия от тока дуги

Покрытие	Ток дуги испарителя, А				Поверхностное натяжение покрытия, Дж/м ²			
	30	50	70	90	0,243	0,231	0,229	0,227
Zn–Cu–Al	30	50	70	90	0,243	0,231	0,229	0,227
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al	30	50	70	90	0,711	0,697	0,695	0,692
Mn–Fe–Cu–Al	30	50	70	90	0,367	0,342	0,312	0,308

Увеличение тока разряда дуги приводит к увеличению толщины покрытия, однако при возрастании тока свыше 130 А снижается совершенство структуры и резко повышается количество капельной фазы, которая является причиной снижения прочности сцепления подложки с покрытием. При малой мощности разряда (ток дуги < 20–30 А) из-за уменьшения коэффициента ионизации плазмы в пленку «замуровываются» нейтральные частицы реакционного газа и катода, что способствует повышению концентрации дефектов покрытия.

Проведенные нами исследования поверхностного натяжения композиционных покрытий при различных значениях тока дуги приведены в таблице 9.

Из приведенных результатов видно, что в большинстве случаев с увеличением тока дуги испарителя поверхностное натяжение уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением тока дуги испарителя толщина покрытия возрастает довольно быстро, а это приводит, в свою очередь, к увеличению плотности дислокаций в формируемом покрытии.

Влияние остаточного давления на свойства композиционных покрытий

Время процесса напыления в соответствии с островковой моделью нанесения покрытий нелинейно увеличивает толщину покрытия: в начальный момент роста пленка формируется в виде островков, и интенсивность отражения частиц от подложки сравнительно мала; при дальнейшем росте островки начинают сливаться, доля покрытой поверхности увеличивается и увеличивается вероятность прохождения процессов осаждения и распыления покрытия. Следовательно, толщина покрытия интенсивно возрастает в течение первых 1,5–2 минут, а в дальнейшем ее рост замедляется. При увеличении толщины пленки ухудшаются морфологические свойства покрытия, поэтому максимум прочностных характеристик приходится на ее размер в пределах 5...10 мкм.

Таким образом, создаются жесткие условия для нанесения покрытий, и единственным параметром, который допускается варьировать для изменения физико-механических свойств данных покрытий, является давление рабочего газа — азота — во время напыления. Нами была исследована зави-

симость свойств композиционных покрытий от давления азота в рабочей камере; при этом сила тока, опорное напряжение, материал катода, условия закрепления и теплоотвода, время процессов очистки и напыления оставались постоянными. Температура в процессе нанесения покрытия менялась, но поскольку время очистки, ток дуги катода, величина потенциала подложки для всех образцов были одинаковыми, то незначительное изменение температуры не сказывалось на результатах эксперимента. В таблице 10 представлены результаты экспериментов.

Т а б л и ц а 1 0

Зависимость поверхностного натяжения покрытия от давления газа в камере

Остаточное давление газа в камере	Поверхностное натяжение покрытия, Дж/м ²		
	Zn–Cu–Al	Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al	Mn–Fe–Cu–Al
10 ⁻⁸	0,202	0,632	0,328
10 ⁻⁷	0,211	0,654	0,343
10 ⁻⁶	0,243	0,711	0,367
10 ⁻⁵	0,238	0,687	0,342

При давлении азота $P = 0,058 - 0,81$ Па формируется мелкая плотная текстура, близкая к стехиометрическому составу, которая характеризуется оптимальным, с точки зрения металлических свойств, соотношением металлической и ионной составляющих связи. При этом содержание капельной фазы уменьшается, а количество пор и отслоений увеличивается. При дальнейшем повышении давления большое число свободных ионов приводит к резкому увеличению количества пор и отслоений.

Проанализировав результаты исследования, можно сделать вывод о том, что образцы, полученные при давлении азота $P = 0,081 - 0,81$ Па, имеют наиболее равномерно распределенную мелкую плотную структуру, минимальное содержание капельной фазы, пор, наплывов, отслоений и наибольшие значения поверхностного натяжения.

Влияние ионного облучения на поверхностное натяжение покрытий

Основное влияние ионной бомбардировки на свойства покрытий осуществляется на стадии их зарождения вследствие релаксации напряжений в области ионного удара и перестройки кристаллической структуры. При этом на поверхности образуются точечные дефекты, которые являются активными центрами адсорбции. Важную роль также играет подвижность адатомов на поверхности (поверхностная диффузия), которая усиливается при низкоэнергетической бомбардировке растущей пленки ионами инертного газа. Увеличить количество образующихся точечных дефектов можно либо увеличением энергии потока ионов, либо увеличением плотности тока ионов. Одновременно с образованием дефектов идет и обратный процесс их рекомбинации — «отжиг», который снижает концентрацию дефектов. В результате этих двух процессов устанавливается равновесное количество центров зародышеобразования, на которое можно влиять, изменяя параметры ионного облучения.

Результаты измерения поверхностного натяжения, полученные обоими методами, описанными выше, приведены в таблице 11. Как следует из таблицы, все три исследованных покрытия ведут себя по-разному при ионном облучении: покрытие Zn–Cu–Al оказывается радиационно-стойким, и величина поверхностного натяжения практически не изменяется; поверхностное натяжение покрытия Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al увеличивается в 2 раза, а для покрытия Mn–Fe–Cu–Al уменьшается в 3 раза. Такие изменения связаны с изменением структуры поверхности покрытий в процессе ионной бомбардировки. На рисунках 3 и 4 в качестве примера показано изменение наноструктуры покрытия после ионной бомбардировки. (Подробности этого вопроса изложены нами в работе [11].)

Т а б л и ц а 1 1

Поверхностное натяжение покрытий после ионного облучения

Покрытие	До облучения	После облучения
	σ , Дж/м ²	σ , Дж/м ²
Zn–Cu–Al	0,243	0,241
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al	0,711	1,422
Mn–Fe–Cu–Al	0,367	0,122

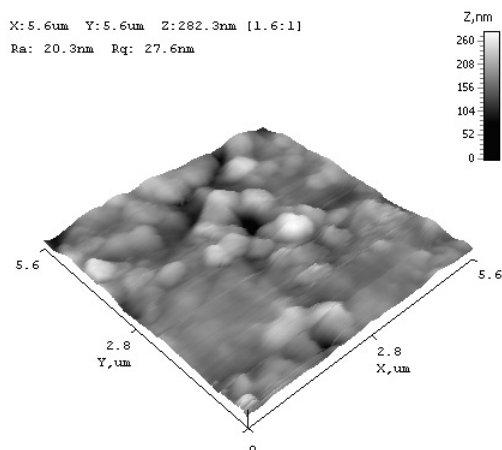


Рисунок 3. АСМ-изображение покрытия Mn-Fe-Cu-Al (до облучения)

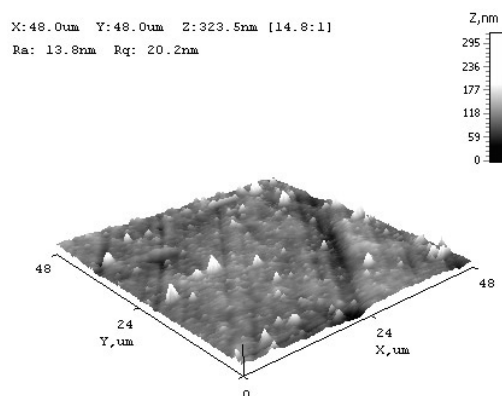


Рисунок 4. АСМ-изображение покрытия Mn-Fe-Cu-Al (после облучения)

Необходимо отметить, что вопросы теоретического описания процессов взаимодействия атомов или ионов с поверхностью твердого тела еще далеки от уровня практического использования получаемых при этом результатов для отработки технологии нанесения покрытий.

Заключение

Из результатов, приведенных в настоящей работе исследований, следует, что поверхностное натяжение покрытий в большинстве случаев весьма чувствительно к технологическим параметрам их осаждения и внешним воздействиям. Это обстоятельство позволяет предложить разработанные нами методы определения поверхностного натяжения осаждаемых покрытий в качестве аналитических методов контроля их свойств и контроля технологических параметров их получения.

References

- 1 Mihajlov A.N., Mihajlov V.A., Mihajlova E.A. A ionic vacuum coverings — a basis of wide improvement of quality of products of mechanical engineering // Progressive technologies and mechanical engineering systems: International of Proceedings. — Donetsk: DNTU, 2004. — Vol. 28. — P. 108–115.
- 2 Jurov V.M., Ibraev N.H. et al. Influence of technological parameters on properties of composite coverings Mn-Fe-Cu-Al // The Bulletin of development of a science and formation. — 2011. — № 2. — P. 18–23.
- 3 Watanabe H., Sato Y. et al. The mechanical properties and microstructure of Ti-Si-N nanocomposite films by ion plating // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 169, 170. — P. 452–455.
- 4 Carvalho S., Ribeiro E. et al. Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al) N nanocomposites // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 174, 175. — P. 984–991.
- 5 Flink A., Larson T. et al. Influence of Si on the microstructure of arc evaporated (Ti, Si) N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 200. — P. 1535–1542.
- 6 Li Z.G., Mori M. et al. Structure and properties of Ti-Si-N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 193. — P. 345–349.
- 7 Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H. Way of measurement of a superficial tension of besieged coverings // Patent PK № 66095. It is published 15.11.2010. The Bulletin № 11.
- 8 Jurov V. M., Ibraev N.H., Guchenko S.A. Experimental definition of a superficial tension of nanoparticles and nanofilms // News of high schools. Physics. — 2011. — Vol. 54. — № 1/3. — P. 335–340.
- 9 Jurov V.M., Portnov V.S. et al. Superficial tension of solid states, small particles and thin films // Successes of modern natural sciences. — 2011. — № 11. — P. 55–59.
- 10 Jurov V.M. Superficial tension of pure metals // Eurasian Physical Technical Journal. — 2011. — Vol. 8. — № 1 (15). — P. 10–14.
- 11 Jurov V.M., Vertjagina E.N., Guchenko S.A. Influence of an ionic irradiation on properties of nanostructural coverings Zn-Al and Fe-Al // Modern high technology technologies. — 2011. — № 5. — P. 63–68.

В.М.Юров, В.Ч.Лауринас, О.Н.Завацкая, С.А.Гученко

Ионды – плазмалық қабыршақты жабулардың беттік керілуі

Мақалада иондық-плазмалық әдіспен болат төсеніштердің бетіне буландырылатын нитрид және композициялық қабыршақ жабулардың қалыңдығынан электр өткізгіштіктің және микрокаттылықтың тәуелділігін өлшеу арқылы беттік керілуді анықтау мүмкіндіктері қарастырылған. Қабыршақ жабулардың беттік керілуіне төсеніш температурасының, жұмыс камерасындағы газ қысымының, катодтық токтың әсері зерттелген. Жұмыс камерасындағы газ қысымының әсері басым екені көрсетілген. Қабыршақ жабулар жасау жолындағы тиімді технологиялық параметрлер анықталды. Зерттеу барысында алынған нәтижелер өңделетін беттердің беттік керілуін анықтауға қатысты авторлардың ұсынатын әдістерін, заттардың қасиеттерін бақылау үшін аналитикалық әдістер ретінде және оларды алудың технологиялық параметрлері ретінде ұсынуға мүмкіндік береді.

V.M.Urov, V.Ch.Laurinas, O.N.Zavatskaya, S.A.Guchenko

Superficial tension of ionic-plasma coverings

In work possibilities of methods of definition of a superficial tension of besieged coverings on measurement of dependence of microhardness or electric conductivity from a thickness of a besieged covering — nitride and the composite coverings put on steel substrates by an ionic-plasma method are considered. Influence of temperature of a substrate, pressure of gas in the working chamber, a cathodic current on a superficial tension of coverings is investigated. It is shown, that the greatest influence puts pressure of gas in the working chamber. Optimum technological parameters of drawing of coverings are defined. The results resulted in work allow to offer the methods of definition of a superficial tension of besieged coverings developed by authors as an analytical quality monitoring of their properties and technological parameters of reception.

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 539.219.1; 537.528

В.К.Корабейникова¹, Е.Н.Воронов²

¹Карагандинский государственный технический университет;

²ОО «МЕЭТЕХ», Караганда (E-mail: evgenii.voronov@mail.ru)

Энергосберегающая модель отопительного котла, работающего на низкосортных углях полифракционного состава

Для эффективного сжигания низкосортного кузнецкого угля, по предложению Е.Н.Воронова, разработан и апробирован отопительный цилиндрический теплообменный модуль ТОМ – 1 — представитель энергосберегающей технологии. Отличительной особенностью является конусообразная топка с колосниковой неподвижной непровальной решеткой и загрузочным кольцом для сжигания в слое полифракционного угля в плотном зажатом слое, а также конструкция теплообменных секций нагревательных трубных элементов со сборно-распределительными водяными коллекторами в виде «водяной рубашки», выполняющие также и роль обмуровки котла. В качестве тепловой изоляции используется тонкий слой корунда.

Ключевые слова: модель, котел, полифракционный состав, энергосбережение, низкосортный уголь, теплообменный модуль, теплотехнические характеристики.

Решение задач энерго- и ресурсосбережения жилищно-коммунального хозяйства и промышленного сектора с внедрением экономически выгодных научно-технических разработок во все времена являлось актуальным. Достижение экономических выгод сжигания низкосортных углей, с учетом социальных, финансовых ограничений, требований по охране окружающей среды, безопасности жизнедеятельности, должно быть направлено на создание энергосберегающих конструкций отопительных котлов с более высоким коэффициентом полезного действия и эффективными технологиями сжигания местного твердого топлива.

Для эффективного сжигания низкосортного кузнецкого угля, а также борлинского, куучекинско-го, шубаркольского углей, по предложению Е.Н.Воронова, разработан и апробирован отопительный цилиндрический теплообменный модуль ТОМ – 1 [1], представленный на рисунке 1.

Экономичность и надежность работы отопительных котлов принято оценивать по количественным и качественным характеристикам, которые зависят от типа топочного устройства, марки и сорта топлива и способа его сжигания. К количественным характеристикам относятся тепловая мощность топочного устройства, тепловая мощность объема котла и видимая тепловая мощность колосниковой решетки или зеркала горения. Качественные характеристики — это размеры потерь теплоты химического и механического недожога топлива, значение коэффициента избытка воздуха в топочном устройстве и коэффициента полезного действия отопительного котла.

Мощность слоевых топков зависит от активной площади колосниковой решетки, т.е. части поверхности слоя на решетке, а интенсивность ее работы определяется видимой тепловой мощностью колосниковой решетки и тепловой мощностью топочного объема. Тепловое напряжение решетки зависит от ее конструкции и сорта сжигаемого топлива.

Отличительной особенностью теплообменного модуля ТОМ-1 является конусообразная топка с колосниковой неподвижной непровальной решеткой и загрузочным кольцом для слоевого сжигания полифракционного угля в плотном зажатом слое и конструкция теплообменных модулей нагревательных трубных элементов со сборно-распределительными водяными коллекторами в виде «водя-

ной рубашки», выполняющими также роль обмуровки котла. В качестве тепловой изоляции используется корунд толщиной 15 мм вместо шамотного кирпича.

Уголь Кузнецкого месторождения характеризуется довольно высоким выходом летучих веществ, поэтому отнесен к марке СС, а по размеру куска — к марке Р-рядовой, т.е. полифракционный состав — размер куска от угольной пыли до глыбы, поэтому пылевидный метод сжигания угля такой марки, как показала практика, является наиболее экономичным [2]. Конструкционные особенности топки Е.Н.Воронова и усовершенствование организации топочного процесса слоевого сжигания позволяют сжигать полифракционный уголь также и в слое.

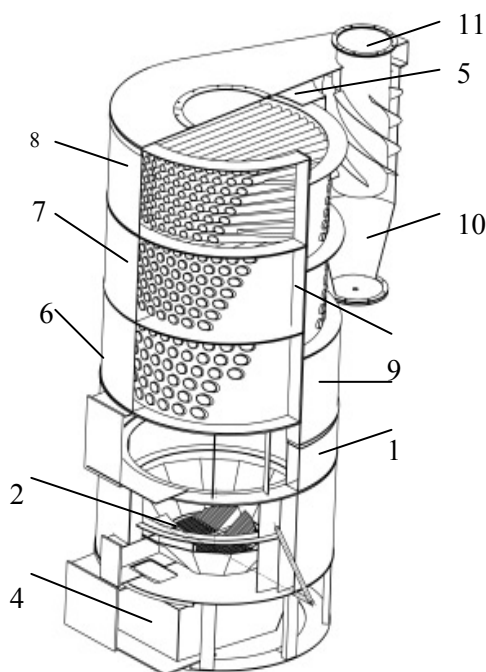


Рисунок 1. Общий вид теплообменного модуля Е.Н.Воронова: 1 — корпус; 2 — конусообразное топочное устройство; 3 — загрузочное кольцо; 4 — под топочного устройства; 5 — коллектор дымовых газов; 6 — нижний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок $d_{тр} = 60 \times 4,5$ мм; 7 — средний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок $d_{тр} = 52 \times 3,5$ мм; 8 — верхний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок $d_{тр} = 42 \times 3,5$ мм; 9 — сборно-распределительные водяные коллекторы («водяная рубашка»); 10 — циклон газоочистки; 11 — выход дымовых газов

Анализ фактических теплотехнических характеристик кузнецкого угля показал значительные изменения: влажность на рабочую массу изменяется в пределах W^p — 5,5 – 7,0 %; зольность на сухую массу A^c — 44 – 49 % и выход летучих веществ на горючую массу V^e — 27 – 31 %. Кузнецкий уголь имеет высокую теплоту сгорания топлива, но вследствие значительных колебаний зольности калорийность на рабочую массу также изменяется в широком пределе. Теплота сгорания рабочей массы кузнецкого угля довольно с высокой точностью может быть определена по эмпирической формуле

$$Q_n^p = 7886 - 83A^p - 85W^p, \quad (1)$$

где Q_n^p — низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг (при расчете котельного оборудования используется Q_n^p , так как уходящие дымовые газы имеют температуру выше температуры конденсации водяных паров); A^p — зольность на рабочую массу, %. Для кузнецкого угля низшую теплоту сгорания в теплотехнических расчетах принимают равной 3910 ккал/кг. Коэффициент калорийности кузнецкого угля 0,56 (определяется отношением низшей теплоты сгорания топлива к условной теплоте сгорания).

Для обеспечения полноты сгорания при сжигании угля с большим выходом летучих веществ одной подачи первичного воздуха из пода топки недостаточно, приходится подавать поверх насыпного горящего слоя воздух вторичного дутья (рис. 2) с обеспечением постоянной величины насыпного слоя.

Высота насыпного слоя зависит от размеров кусков и влажности топлива, чем крупнее куски и больше влажность топлива, тем насыпной слой должен быть толще. При слоевом сжигании высота насыпного слоя топлива невелика, обычно не превышает высоты кислородной зоны и для цилиндрических топков составляет 1,0–1,2 м, в конусообразной топке Е.Н.Воронова высота насыпного слоя составляет 0,6 м при равной теплопроизводительности.

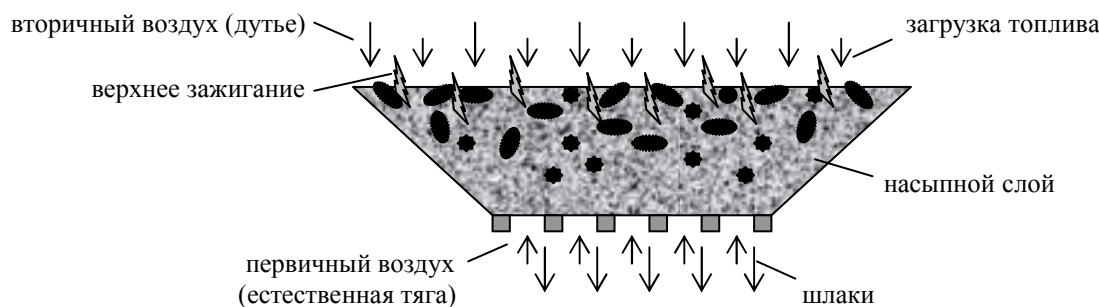


Рисунок 2. Конусообразная топка Е.Н.Воронова

В слоевых устройствах обычно сжигаются сравнительно крупные куски угля. Высокая адиабатность слоевых процессов способствует развитию в слое высоких температур, а горение протекает в диффузионной области, что отчетливо подтверждается сильной зависимостью скорости выгорания от интенсивности подвода дутья. Сокращение диффузионного сопротивления слоя и перевод в кинетическую область интенсифицируют горение. Слоевой процесс при сжатом слое с подачей вторичного дутья с одной стороны прижимает топливо к колосниковой решетке не только под действием веса насыпного слоя, но и дутьевого воздуха, а колосниковая решетка препятствует нарушению аэродинамической устойчивости при увеличении вторичного дутья. Поэтому конусообразная топка уменьшает площадь колосниковой решетки по сравнению с цилиндрической, тем самым способствует аэродинамической устойчивости слоя. Отношение площадей колосниковой решетки и зеркала горения цилиндрической топки равно 1, оптимальное значение отношения площадей для конусообразной топки Е.Н.Воронова, определенное экспериментально для теплообменных модулей разной производительности, равно 0,5. Живое сечение решетки, т.е. отношение всех зазоров в колосниковой решетке, через которые поступает первичный воздух в слой, ко всей площади решетки, выраженное в процентах, равняется 12–18 %.

При зажатом плотном слое на колосниковой решетке под действием собственного веса возрастание форсировки горения верхнего слоя увеличивает фильтрацию воздуха во внутрь слоя и способствует выносу из слоя более крупных кусков, которые полностью не успевают прогореть. Это приводит к резкому увеличению механического недожога и затрудняет сжигание полифракционных топлив, содержащих значительное количество мелких частиц, которые препятствуют повышению зеркала горения, чтобы наиболее полно использовать слоевое горение. Такой режим характеризуется резким снижением экономичности сжигания полифракционных топлив за счет возрастания уноса. Во избежание этого режима в конструкции теплообменного модуля предложено «верхнее зажигание» насыпного слоя и загрузочное кольцо.

При «верхнем зажигании» загруженное топливо зажигается сверху, под действием тепла, излучаемого пламенем горящих в топочном пространстве летучих веществ и передаваемого теплопроводностью от верхних слоев к нижним. Попав на поверхность слоя, куски топлива начинают интенсивно прогреваться с сопровождением интенсивного выделения влаги, а по мере нарастания температуры начинается распад нестойких органических соединений с выделением летучих веществ. Для топлив, имеющих большой выход летучих, эта стадия приводит к изменению физических свойств и структуры коксового остатка, куски становятся пористыми, изменяются их внутренняя поверхность и размер

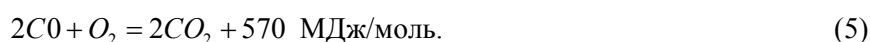
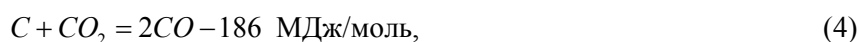
пор. Поток летучих веществ активно вступает во взаимодействие с кислородом воздуха встречного потока вторичного дутья, что препятствует взаимодействию кислорода с коксовым остатком. Для этого в конструкции топчного устройства предусмотрены взрыхлители с ручным управлением для периодического взрыхления. Прогрев куском до температуры 1050–1100 °С приводит к полному выделению летучих веществ и завершению процесса коксования.

Так как влажность кузнецкого угля невелика, то при его слоевом сжигании протекает «сухая газификация» коксового остатка с набором химических реакций, определяющих процесс выгорания по зонам:

в кислородной зоне:



в восстановительной зоне:



Кислород непрерывно подводится из окружающей среды загрузочного кольца и расходуется на пограничном слое коксовой частицы. Горение коксового остатка мелких угольных кусочков происходит с «негорящим пограничным слоем».

«Верхнее зажигание» не требует охлаждения колосниковой решетки, поскольку при нижней подаче дутья и «нижнем зажигании» элементы колосниковой решетки находятся в зоне высоких температур.

Водогрейные котлы различают по теплопроизводительности и температуре получаемой воды. Единицей тепловой мощности является 1 кВт, который эквивалентен тепловой энергии 860 ккал/ч. Теплопроизводительность теплообменных модулей ТОМ-1, запущенных в производство, при сжигании углей кузнецкого, борлинского, шубаркольского, куучекинського бассейнов со вторичным дутьем составляет 81, 105 и 160 кВт, без вторичного — 61, 79 и 120 кВт.

Основными факторами, обеспечивающими экономичность сжигания топлива, являются, прежде всего, вид сжигаемого топлива, а также температурный режим и концентрация кислорода в факеле. На температуру горения влияют теплопроизводительность, избыток воздуха в топке, температура получаемой горячей воды и тепловое напряжение зеркала горения. Численная величина зеркала горения модуля $96 \div 106 \text{ кВт/м}^2$.

Интенсивность тепло-массообмена при слоевом сжигании значительно выше, чем при пылевидном сжигании твердого топлива в факеле. Этому способствуют относительно высокие скорости потока продуктов горения, турбулизирующее влияние насыпного слоя и исключение процесса накипеобразования на трубных нагревательных элементах.

При питании котлов жесткой водой происходит постепенное накапливание минеральных примесей, которые после наступления состояния насыщения начинают выпадать в виде кристаллов. Центрами кристаллизации служат шероховатости на поверхности нагревательных трубок, а также взвешенные и коллоидные частицы, находящиеся в котловой воде. Вещества, которые кристаллизуются на поверхностях трубок в виде плотных отложений, образуют накипь, а вещества, которые кристаллизуются в объеме котловой воды, образуют взвешенные вещества — шлам. Чтобы предотвратить образование накипей на поверхностях трубок и исключить угрозу их повреждения, а также предотвратить коррозионные процессы металла труб (каждый миллиметр отложения накипи дает до 1,5–2 % перерасхода топлива из-за снижения коэффициента теплопередачи металлической стенки), при эксплуатации водогрейных котлов организуют специальный водный режим. Для отопительных котлов требуется докотловая обработка, с применением катионитового метода, или внутрикотловая, с периодической шламовой продувкой, т.е. с установкой дополнительного оборудования, требующего значительных капиталовложений. Решение проблемы накипеобразователей в тепловом модуле Е.Н.Воронова осуществлено за счет секционирования нагревательных трубных элементов с их горизонтальным расположением, с уклоном 12–13 градусов, и убывающим диаметром в секциях (рис. 3).

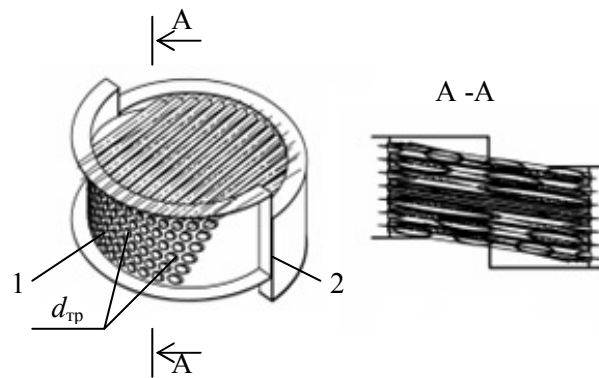


Рисунок 3. Вид теплообменного модуля нагревательных трубных элементов: 1 — нагревательный трубный элемент; 2 — сборно-распределительный коллектор

При нормальной эксплуатации модуля отложения накипи на внутренней поверхности трубок не должны достигать размера, вызывающего существенное термическое сопротивление. Во избежание этого явления нижняя секция модуля, которая воспринимает теплоту, полученную при горении топлива полурадиацией, выполнена с диаметром трубок $d_{тр} = 60 \times 4,5$ мм.

Циркуляция воды в модуле прямоточная, температура при выходе из модуля 90°C и входе 35°C (индивидуальные котлы рассчитаны на температуру при выходе из котла 95°C и входе 70°C , с вертикальным расположением труб). В котлах со слабонаклонными трубами при прямоточной циркуляции в условиях развития конвективного тепловосприятия идут на понижение диаметров трубок, с целью повышения скорости движения воды в трубках, поэтому средняя и верхняя секции конвективные, выполнены с диаметром трубок в средней секции $d_{тр} = 52 \times 3,5$ мм и верхней — $d_{тр} = 42 \times 3,5$ мм.

Теплота, воспринимаемая нижним модулем, определяется как разность между лучистым потоком зеркала горения и потоком переизлучения в средний модуль. Прямое излучение от зеркала горения топки обеспечивает интенсивное загрязнение передних рядов трубок нижнего модуля, повышает температуру загрязнения и может привести к пережогу трубок. Во избежание этого в конструкции теплообменного модуля предусмотрено загрузочное кольцо.

При ручном обслуживании топок редко удастся выдержать расчетные значения. Топка с ручным обслуживанием характеризуется периодичностью режимов работы, трудностью регулирования подачи воздуха, наличием прорыва первичного воздуха в периоды загрузки свежего топлива. В начале загрузки топлива и при его прогреве теплота практически не выделяется. В период дожигания топлива теплота выделяется в минимальном количестве, в период горения летучих веществ и коксового остатка наблюдается максимальное тепловыделение. Такая периодичность процесса горения топлива в топке с ручным управлением влечет за собой изменение тепловой мощности котла и ее экономичности. После подачи на догорающий слой свежего топлива, его прогрева и подсушки наступает период интенсивного выделения летучих веществ, причем для полного сгорания требуется большое количество воздуха. При постоянной производительности дутьевого вентилятора, при уплотнении слоя догорающего коксового остатка и постепенном прогорании слоя в топочное устройство начинает активно поступать до 20–30 % первичного воздуха из пода топки, в то время как потребность в нем становится все меньше из-за выделения и горения основной массы летучих веществ. Поэтому коэффициент избытка воздуха (вторичного воздуха) должен быть минимальным. Его величина определяется температурой дымовых газов, которая должна находиться в установленном пределе. Нижний предел определяется из условий устойчивости процесса горения. Чрезмерно низкая температура дымовых газов снижает общий уровень температуры в теплообменном модуле, затрудняет разжиг, а при незначительных случайных изменениях режима горения приведет к погасанию. Верхний предел ограничивается необходимостью предотвращения шлакования передних рядов трубок секции теплообменного модуля расплавленными золовыми частицами. Поэтому в отопительном котле такой конструкции температура уходящих газов значительно ниже, чем в существующих и составляет $190\text{--}210^\circ\text{C}$.

Конструктивные особенности теплообменного модуля ТОМ-1 позволяют использовать его как самостоятельную автономную установку и являются очень удобной возможностью создания системы обогрева, включающей в себя сеть из последовательно соединенных модулей. Обслуживание, подключение модуля не требует больших трудозатрат. Конструкция топочного устройства разработана таким образом, чтобы максимально облегчить ее очистку от золы и шлака. Уникальность и простота

конструкции модуля ТОМ-1 позволяют выпускать их различной теплопроизводительностью, изменяя диаметр модуля при равной высоте.

Монтаж отопительных модулей производится по секциям в соответствии со стандартами, принятыми для монтажа отопительного оборудования. Отработанная технология, современные инструменты, квалификация и опыт монтажных организаций позволяют произвести эту операцию быстро, качественно и безопасно.

References

- 1 *Voronov E.N.* Statement for issue of the RK innovative patent for the invention 2011/1214.1.
- 2 *Kurmangaliyev M.R., Ficak V.I.* Burning of steam coals of Kazakhstan and protection of the atmosphere. — Alma-Ata: Science of Kazakh SSR, 1989. — 223 p.

В.К.Корабейникова¹, Е.Н.Воронов²

Полифракционды құрамды төменгі сортты көмірде жұмыс істейтін жылыту қазандарының энергоүнемдеу моделі

Кузнецкийдің төменгі сұрыпты көмірі тиімді жануы үшін, Е.Н.Вороновтың ұсынысы бойынша, өкіл болатын энергия сақтау технологияларының жылытқыш цилиндрлік жылу алмастырғыш ТОМ-1 модулі жасалып апробацияланды. Айырмашылық ерекшелігі фракциялы көмірді жігінде өртеу үшін керегемен және жүктеуші сақина мен оттық жылжымайтын түсіп кетпейтін сүйір оттық болып табылады. Сонымен бірге қазан айналдыра қалап тастауын қамтамасыз ететін, сулы жейде рөлін орындайтын коллекторлардың құрама-таратушы коллекторлары бар жылытқыш кернеу элементтерінің жылу алмастырғыш секцияларының түріндегі конструкциясы да пайдаланылады. Кірбік корунданы жылулық изоляция ретінде қолданады.

V.K.Korabeynikova¹, E.N.Voronov²

Energy efficient model of boiler operating at multifractional low-grade coals

For effective burning of low-grade Kuznetsk coal, under Voronova E.N.'s was offered heating cylindrical warmly exchange module TOM-1, being the representative of power saving up technology is developed and approved. Which distinctive feature is the cone-shaped fire chamber with a grid-iron motionless not failure lattice and a loading ring for burning in a layer of polyfractional coal in the dense clamped layer. And also a design of warmly exchange sections of heating trumpet elements with collecting — distributive water collectors in a kind of «a water shirt», carrying out as well a role of a brickwork envelope of a copper. As thermal isolation the thin layer of corundum is used.

К.Кусаиынов, М.С.Дуйсенбаева, Г.К.Алпысова, Д.А.Оспанова

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: m_o_l_d_i_r_89@mail.ru)

Электрогидроимпульсная обработка шубаркольского угля

Развитие энергетики, а также повышение энергетической безопасности Казахстана в значительной степени зависят от широкого и эффективного использования угля в качестве энергетического топлива. Большая часть регионов страны располагает огромными запасами низкосортных углей, а также отходов углеобогащения, нуждающихся в доступных способах их утилизации. Для этого необходимы нетривиальные и комплексные подходы, позволяющие улучшить потребительские свойства угля как энергетического топлива. Одно из таких направлений — изучение влияния электрогидравлического воздействия на гетерогенные среды. Конкретным примером может служить водоугольная суспензия, а точнее, методы ее получения и изменения ее характеристик с помощью электрогидравлического воздействия.

Ключевые слова: технология, обработка, электрогидроимпульс, уголь, водоугольная суспензия, гетерогенные среды.

На сегодняшний день стремительное развитие теплоэнергетики характеризуется использованием дорогостоящего жидкого топлива, которое является ценным сырьем для нефтеперерабатывающей промышленности, и расширением применения твердого топлива. По мере увеличения добычи нефти химические вещества угольного происхождения начали вытесняться продуктами нефтехимического синтеза, производимыми более простыми и менее энергоемкими методами. Однако оценка разведанных мировых запасов различных видов ископаемого органического сырья приводит к выводу о том, что месторождения нефти и газа будут в значительной степени исчерпаны уже в первые десятилетия XXI в. Запасов же угля должно хватить на ближайшие несколько сот лет. Вывод о необходимости постоянного увеличения масштабов использования угля в энергетике и промышленности подтверждается данными по сопоставлению запасов нефти, газа, угля и сложившейся в настоящее время структурой их мирового потребления [1].

Увеличение потребления ископаемых углей будет сопровождаться ростом экологической нагрузки на окружающую среду, поскольку при сжигании и переработке угля образуется больше вредных побочных продуктов по сравнению с нефтью и газом. Снижение ущерба окружающей среде от угольной энергетики может быть достигнуто путем перехода к использованию экологически более безопасных видов топлива угольного происхождения. К ним относится обогащенный, или «чистый», уголь, синтетические газообразные и жидкие топлива, полученные путем переработки угля. Выбросы вредных веществ при использовании этих синтетических топлив значительно ниже, чем в случае применения рядового угля. Особую актуальность решение данного вопроса приобретает для Казахстана, обладающего богатыми месторождениями низкосортного угля [2].

Карагандинская область занимает важнейшее место в минерально-сырьевом комплексе республики и является уникальным железо-марганцевым, барит-полиметаллическим, меднорудным, редкометалльным и угленосным месторождением в Казахстане. Одним из богатых в Караганде является Шубаркольское месторождение.

Шубаркольский уголь был отнесен к марке Д (длиннопламенный), с низким содержанием золы. Он имеет низкое содержание серы и высокую теплотворную способность, а значит, при сгорании дает много тепла. Научными исследованиями установлено, что уголь Шубаркольского месторождения является уникальным сырьем для получения синтетического жидкого топлива и ряда тяжелых углеводородов, гуматов — органических удобрений, углещелочного реагента для нефтяной промышленности, связующих широкого назначения, коагулянтов для очистки промышленных и сточных вод [3].

Для экспериментального исследования электрогидроимпульсной обработки шубаркольского угля эффективно использовать угли малых фракций. При сжигании уголь выделяет максимальное количество энергии, но вместе с этим загрязняет окружающую среду вредными веществами. Следовательно, возникает важный вопрос: какие меры необходимо принять, чтобы избежать загрязнения окружающей среды от выбросов шлаков угля. Сегодня наиболее перспективным решением проблемы является применение в качестве топлива водоугольной смеси. Больше всего изученной и перспективной в энергетике является ВУТ, состоящий на 60 % из мелкой угольной фракции, на 1 % — из специ-

альной химической присадки-пластификатора, остальное — обычная вода, это могут быть даже технические стоки [4].

За последние десятилетия во многих странах мира проведена большая работа по получению ВУТ и использованию его в энергетике как эффективного дешевого топлива. В России и за рубежом разработан ряд технологий по приготовлению ВУТ, его транспортировке и хранению на длительный период, сжиганию обработанного угля. Кроме того, проведены исследования по сжиганию (газификации) ВУТ на действующих энергоустановках различного типа [5].

Для получения ВУТ шубаркольский уголь измельчался с помощью электрогидроимпульсной установки до мелких фракций. Электрогидравлическое дробление является новым способом измельчения различных материалов, который позволяет получать заданную степень крупности при определенном гранулометрическом составе продукта и обладает высокой избирательностью дробления.

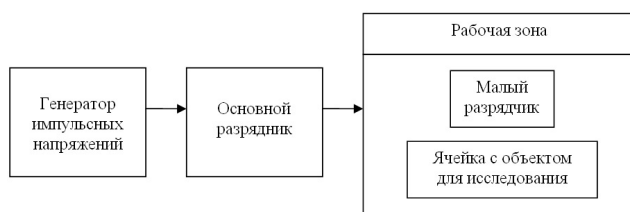


Рисунок 1. Блок-схема электрогидроимпульсной установки

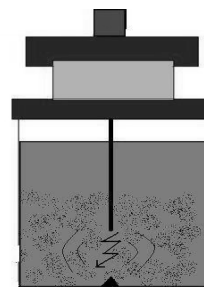


Рисунок 2. Рабочая ячейка, предназначенная для дробления

Электрогидроимпульсная установка (см. рис. 1) выполнена в виде конструктивных агрегатов, состоящих из генератора импульсных напряжений, основного разрядника, рабочей зоны, которая включает в себя малый разрядник и ячейку, наполненную углем для дробления.

В основе электрогидравлического эффекта лежит явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в ионопроводящей жидкости при условии максимального укорочения длительности импульса, максимально крутом фронте импульса и форме импульса, близкой к апериодической. Данный эффект является, по существу, электровзрывным преобразованием энергии. Основным накопителем энергии являются емкостные конденсаторные батареи [6].

В лаборатории физики импульсных явлений в гетерогенных средах кафедры инженерной теплофизики им. профессора Ж.С.Акылбаева Карагандинского государственного университета им. Е.А.Букетова была подготовлена рабочая ячейка электрогидравлической установки для обработки угля (рис. 2).

Для того чтобы рабочая ячейка была устойчива к воздействию электрогидравлического эффекта, она была изготовлена из цилиндра; внешний диаметр ячейки $d = 75$ мм, высота $h = 140$ мм, а верхняя часть была сделана из не пропускающего ток фторопласта [7].

Электрогидравлическое устройство для дробления в отличие от механических дробилок не имеет движущихся частей, изготавливается из обычной конструкционной стали, а корпус практически не изнашивается при работе. При работе эти устройства не образуют пыли, занимают сравнительно небольшие производственные площади и допускают совмещение в них процессов дробления, смешения и флотации материалов. Рабочей средой в электрогидравлических дробилках может служить любая жидкость (в основном техническая вода).

Для проведения экспериментальных исследований был взят уголь диаметром фракции 1–10 мм разреза АО «Шубарколь Комир». Полученный уголь был обработан электрогидравлическим методом. После измельчения угля с помощью ЭГЭ был проведен ситовый анализ.

В проведенных экспериментах определялись оптимальные параметры дробления угля при различных электрических параметрах электрогидроимпульсной установки.

Для определения зависимости степени измельчения угля от емкости накопительных конденсаторов нами были проведены эксперименты. В ходе эксперимента меняли емкость накопительных кон-

денсаторов $C = 0.25, 0.5, 0.75$ мкФ, при этом межэлектродное расстояние $l_p = 10$ мм, начальная крупность фракции $d_{\phi} = 7$ мм.

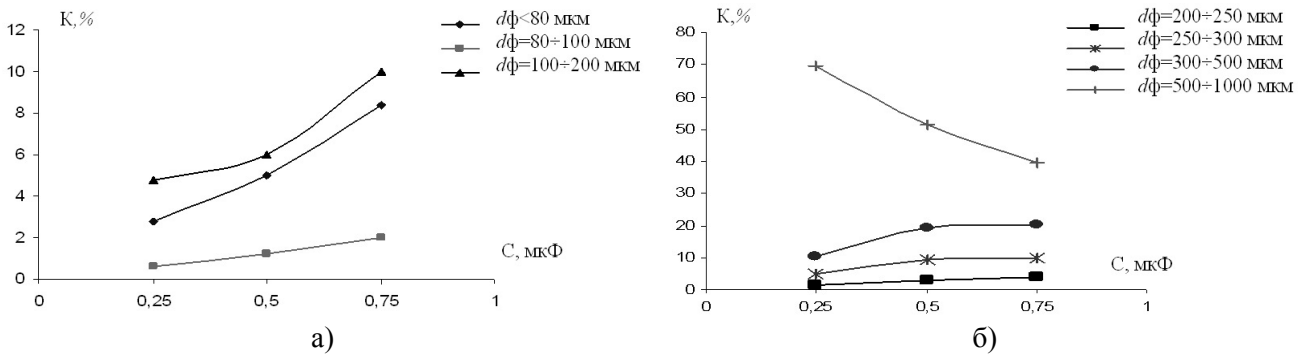


Рисунок 3. График зависимости степени измельчения угля от емкости накопительных конденсаторов

График показывает (см. рис. 3), что при емкости накопительной батареи $C = 0.25$ мкФ доля мелкодисперсных фракций $d < 80$ мкм составляет 2,8 %, количество частиц диаметром $d_{\phi} = 80 \div 100$ мкм — 0,6 %. При $C = 0.5$ мкФ доля мелкодисперсных фракций $d < 80$ мкм составляет 5 %, количество частиц диаметром $d_{\phi} = 80 \div 100$ мкм — 1,2 %. А при $C = 0.75$ мкФ доля мелкодисперсных фракций $d < 80$ мкм составляет 8,4 %, количество частиц диаметром $d_{\phi} = 80 \div 100$ мкм — 2 %.

В результате экспериментов было установлено, что чем больше емкость накопительных конденсаторов, тем интенсивнее дробится уголь, тем большее количество мы получаем фракций угля нужного нам размера.

На рисунке 4 показана зависимость степени измельчения угля от разряда энергии. Начальная фракция угля до обработки $d = 7 - 9$ мм. График построен при времени пробы $t = 6$ мин, межэлектродном расстоянии $l_p = 10$ мм и при емкости конденсаторов $C = 0.25, 0.5, 0.75$ мкФ.

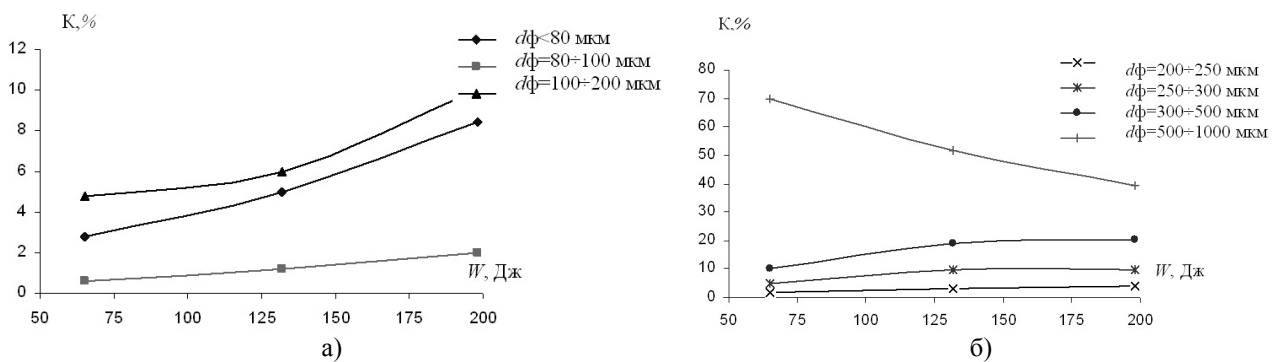


Рисунок 4. График зависимости степени измельчения угля от разряда энергии

Из графика (рис. 4 а) можно заметить, что степень измельчения медленно увеличивается при разряде энергии 75–125 Дж, а когда энергия достигает 150 Дж, мы можем увидеть быстрый рост линии. Это указывает, что при увеличении разряда энергии также увеличивается степень измельчения частиц. На графике (рис. 4 б) степени измельчения тоже увеличиваются в зависимости от фракции угля. Это еще раз доказывает, что при увеличении разряда энергии степень измельчения угля увеличивается.

В процессе изучения влияния ЭГЭ на свойства угля был разработан и собран высоковольтный испытательный стенд, проведены испытания и разработана методика проведения экспериментов по изучению влияния ЭГЭ на гетерогенные жидкости.

Анализируя результаты исследований, можно сказать, что самым оптимальным значением емкости конденсаторной батареи является 0,75 мкФ, диаметр фракций, подвергающийся наиболее интенсивному разрушению, равен $d_{\phi p} = 7 \div 9$ мм.

С ростом напряжения на коммутирующем устройстве наблюдается возрастание интенсивности дробления руды, что позволяет выбирать оптимальные значения емкости конденсаторной батареи и межэлектродные расстояния, необходимые для воспроизведения опытов.

References

- 1 *Wilson K.L.* Bridge in the future. — Moscow: Nedra, 1985.
- 2 *Kuznetsov B.N.* Catalysis of chemical transformation of coal and biomass. — Novosibirsk: Nauka, 1990.
- 3 http://www.enrc.com/files/16Feb09_AcquisitionShubarkolKomirRUS.pdf
- 4 *Makarova G.N., Harlampovich G.D.* Chemical technology of solid fuels. — Moscow: Chemistry, 1986.
- 5 *Baikultaeva K.* Secondary raw materials-efficient reserve physical resources. — Almaty, 1982.
- 6 *Yutkin L.A.* Electrohydraulic effect and its application in industry. — Leningrad: Mechanical Engineering, 1986. — 253 p.
- 7 *Alpisova G.K.* Electro-hydro-pulse method for producing coal-water suspensions and investigation of their properties // Physico-Chemistry and technology of inorganic materials: VII Russian Annual Conference of young researchers and graduate students: Congress materials. — Moscow: Inter contact Nauka, 2010. — P. 288–289.

Қ.Құсайынов, М.С.Дүйсенбаева, Г.К.Алпысова, Д.А.Оспанова

Электогидроимпульстік әдіспен шұбаркөл көмірін өңдеу

Қазақстанның жылу энергетикасының дамуы мен болашақта еліміздің қазба байлықтарға деген тапшылығын болдырмау үшін, энергетикалық отын көзі ретінде көмірді тиімді пайдалану жолдарын қарастыру керек. Еліміздің көп өңірлері қайта өңдеуді қажет ететін төмен сапалы көмірге және көмірді өндіру кезінде шығатын қалдықтарға бай. Бұл мәселенің шешімі көмірді энергетикалық отын ретінде пайдалана отырып, оның тұтынушылық үлесін арттыратын іс-әрекеттер болып табылады. Осы сұрақтардың шешімінің бірі ретінде гетерогендік ортаға электрогидравликалық эффектін әсерін жатқызуға болады. Нақты мысал болып электрогидравликалық эффект көмегімен сұйық отынды алу және оның құрылымына әсерін зерттеу табылады.

K.Kusaiynov, M.S.Duiysenbayeva, G.K.Alpysova, D.A.Ospanova

Electric-hydraulic processing technology for coals

Power engineering development, as well as energy safety of Kazakhstan depend substantially on wide and efficient use of coal as power-plant fuel. The majority of country's regions have enormous supplies of immature coals as well as coal-concentrating waste that need obtainable ways of their utilization. For that nontrivial and integrated approaches are necessary as they let improve consuming properties of coal as power-plant fuel. One such area is the study of the influence of electrohydraulic effect on heterogeneous environment. As concrete example water coal suspension, to be exact methods of to obtain and change its characteristics by using electrohydraulic effect.

К.Кусаиынов, К.М.Турдыбеков, Ж.А.Кужуханова, К.К.Саденова

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: Kappas090108@mail.ru)

Электроимпульсная технология создания теплообменников для извлечения теплоты грунта на малых глубинах

Целью исследования является разработка научно-практических основ внедрения энергосберегающих теплонасосных технологий для тепло- и хладоснабжения жилых, общественных и производственных помещений на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Теплообменник теплового насоса устанавливается в скважинах для использования тепла грунта и грунтовых вод. Широко применяемый метод получения скважин и каналов — бурение. Электрогидравлическое бурение, при котором электрическая энергия непосредственно в самом забое переходит в механическую работу, разрушая горную породу, является принципиально новым способом. Для его осуществления предназначены электрогидравлические буры различных типов и модификаций.

Ключевые слова: электроимпульсная технология, теплообменник, теплота, грунт, извлечение, глубина, нетрадиционные источники энергии.

В настоящее время поиск и активное использование новых альтернативных источников энергии во многих развитых странах мира приняты в качестве жизненно важных, стратегически необходимых ресурсов, обеспечивающих перспективное развитие экономики этих стран.

Современное развитие энергетики Республики Казахстан характеризуется коренной перестройкой структуры топливно-энергетического комплекса. Это обусловлено повышением цен на органическое топливо на мировом рынке, обострением экологических проблем.

В данных условиях мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов являются приоритетными в долгосрочной энергетической политике.

В странах СНГ источниками центрального теплоснабжения жилых, общественно-коммунальных зданий и коммунально-бытовых предприятий являются крупные ТЭЦ и районные котельные с теплопроизводительностью более 50 Гкал/ч. Одним из альтернативных вариантов является получение тепловой энергии с использованием теплового насоса, который дает возможность с целью энергосбережения использовать: грунтовую теплоту, подземные воды, водоёмы, природные водные потоки и т.д. [1].

Для небольшого теплового насоса мощностью около 10 кВт, который может использоваться для индивидуальных домов, требуется расход подземного потока около 1–2 м³/час. Для этого применяется теплообменник. Теплообменники могут быть расположены горизонтально или вертикально [2].

Горизонтальный грунтовой теплообменник устраивается, как правило, рядом с домом на небольшой глубине. Использование горизонтальных грунтовых теплообменников ограничено размерами имеющейся площадки.

Вертикальные грунтовые теплообменники позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (10–20 м от уровня земли). Системы с вертикальным грунтовым теплообменником не требуют участков большой площади и не зависят от интенсивности солнечной радиации, падающей на поверхность. Вертикальный грунтовой теплообменник эффективно работает практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили очень широкое распространение.

Они могут использоваться для тепло- и хладоснабжения зданий различных площадей. Для небольшого здания достаточно одного теплообменника; для больших зданий может потребоваться устройство целой группы скважин с вертикальными теплообменниками.

Основным теплообменным элементом системы сбора низкопотенциального тепла грунта являются вертикальные грунтовые теплообменники коаксиального типа, расположенные снаружи по периметру здания. Эти теплообменники представляют собой 8 скважин глубиной от 32 до 35 м каждая, устроенных вблизи дома [3].

Теплообменник теплового насоса устанавливается в скважинах для использования тепла грунтовых вод. Широко применяемый метод получения скважин, каналов — бурение. В настоящее время имеется много видов бурильных установок, которые широко используются на территории Казахстана. Существующие ныне технологии бурения скважин теплообменников эффективны в условиях

мягкого грунта, при отсутствии твердых пород и каменных плит. Бурение на глубину до 25 метров, при диаметре скважины до полуметра, при наличии указанных выше препятствий может быть затруднительным. Предлагаемая технология позволит легко преодолевать такие препятствия, разрушая их путем воздействия ударными волнами при высоковольтных разрядах в водной среде. При этом происходит дробление и измельчение твердой породы, что позволяет производить эффективное бурение скважин на требуемые глубины в короткие сроки. Уникальность предлагаемого инновационного способа бурения твердых пород заключается в возможности проведения работ в условиях ограниченного пространственного объема (крытые помещения, подвалы и т.п.), что является во многих случаях невозможным при использовании традиционных механических методов бурения твердых пород вследствие громоздкости применяемого оборудования.

Электрогидравлическое бурение, при котором электрическая энергия непосредственно в самом забое переходит в механическую работу, разрушая горную породу, является принципиально новым способом бурения. Для его осуществления предназначены электрогидравлические буры различных типов и модификаций.

В зависимости от конструкции и назначения бура электродов в буре может быть два или несколько. Они могут быть неподвижными, вращающимися, а также совершать колебательные движения. Движение электродов может осуществляться либо от постороннего источника (двигателя), либо за счет энергии проходящей воды, либо силой действия самих электрогидравлических ударов.

Предложенные электрогидравлические буры конструктивно делятся на четыре основные группы.

Первая группа: электрогидравлические буры с вращающимся центральным электродом. Экспериментально доказано, что буры сплошного забоя этого типа при напряжении 70–100 кВ и емкости 0,7—1,0 мкФ могут бурить крупные скважины диаметром до 450–500 мм. Вращение переднего конца центрального электрода осуществляется различными способами (например, от электромотора, турбины, приводимой в движение промывочной водой, поступающей по трубе бура, а также от реактивного действия самих электрогидравлических ударов) [4].

Вторая группа: электрогидравлические буры с неподвижным центральным электродом. В ходе исследований была выявлена зависимость пробивного напряжения в жидкости от массового содержания в ней каких-либо механических примесей и предложен метод так называемого «грязного забоя», а также был создан бур сплошного забоя, использующий этот метод.

Третья группа: линейные буры. Если, образно говоря, «сплющить» бур сплошного или кольцевого забоя с неподвижным центральным электродом, то конструктивно получатся два типа линейных буров. Линейные буры с подачей воды через центральный электрод при длине резания, равной 1–2 м, могут образовывать при напряжении 50–80 кВ узкие прорезы и щели шириной до 8–10 мм не только по прямым, но и по любым кривым линиям.

Четвертая группа: бурами этого типа можно бурить все горные породы, мерзлый грунт, лед, соль, резать древесину, выполнять различные подводные работы — прорезать температурные швы в бетоне, каналы-щели для шпунта в основании плотин, а также бурить скважины с любой продольной кривизной, что достигается приданием соответствующей продольной кривизны стержню бура.

Но все они не доведены до промышленного использования, описаны только принципы.

Все сказанное выше обусловило необходимость проведения экспериментов с целью разработки электрогидравлической технологии подготовки грунтовых каналов для промышленного использования. Для этого нами была применена экспериментальная установка на основе электрогидравлического эффекта.

Электрогидравлический эффект является преобразованием процесса гидродинамической вихревой электроэнергии в механическую энергию. Он представляет собой высоковольтный электрический разряд в жидкой среде. При формировании электрического разряда в жидкости выделение энергии происходит в течение достаточно короткого промежутка времени. Мощный высоковольтный электрический импульс с крутым передним фронтом вызывает различные физические явления, такие как появление сверхвысоких импульсных гидравлических давлений, электромагнитное излучение в широком спектре частот, вплоть до рентгеновского, кавитационные явления при определенных условиях. Электрогидравлический разряд возникает при приложении к жидкости импульсного напряжения достаточной амплитуды и длительности, в результате чего развивается электрический пробой [5].

Для формирования импульса с коротким передним фронтом напряжения, прикладываемого к разрядному промежутку в жидкости, использовали разрядный промежуток в газе — газовый разрядник, а для формирования определенной энергии импульса — накопительный электрический

конденсатор. В свое время нами была разработана и практически реализована схема построения электрогидравлической установки (рис. 1).

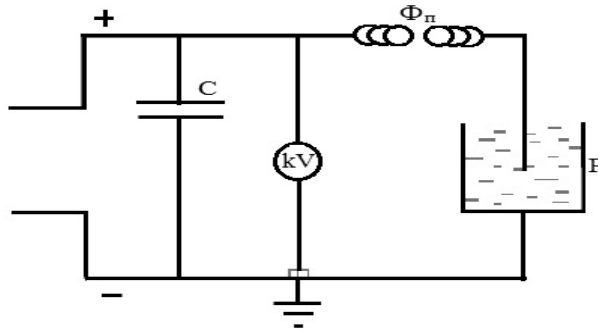


Рисунок 1. Схема электрогидравлической установки: kV — выпрямитель; $\Phi_{п}$ — формирующий искровой промежуток; P — рабочая ячейка электрогидравлического бурения; C — рабочая емкость конденсатора

Лабораторное оборудование состоит из следующих блоков: пульт управления, защитный конденсатор системы, электрический блок питания, токовый ограничитель, блок автоматического отключения, высоковольтный индикатор, коммутаторный генератор, высоковольтный выпрямитель трансформатора, блок накопителей энергии, защитная система конденсатора, блок снятия остаточного напряжения, защитная система, малый разрядник, электродная система.

Для проведения экспериментов по разрушению камней в процессе бурения была изготовлена рабочая цилиндрическая ячейка, нижняя часть которой имеет полусферическую вогнутую форму (толщина с изолирующим материалом 13 мм). Для удержания электрода в одной точке в корпусе ячейки устанавливаются крепления. Отрицательный электрод электрогидравлической установки устанавливают на дне цилиндрической ячейки. На рисунках 2–4 показаны рабочая ячейка электрогидравлической установки и схема бурения.



Рисунок 2. Рабочая ячейка для бурения



Рисунок 3. Рабочая ячейка, закрепленная на камне

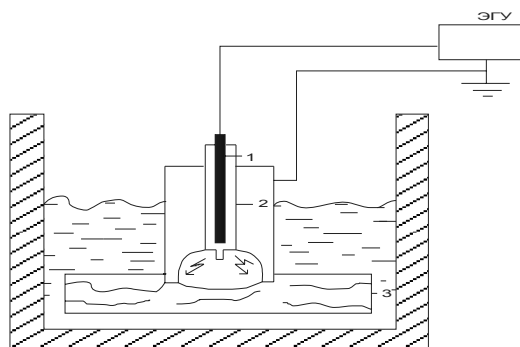


Рисунок 4. Схема электрогидравлического бурения: 1 — электрод, 2 — ячейка, 3 — камень

Толщина камней, использованных для исследования в лаборатории гидродинамики и теплообмена, была различной ($h = 30$ мм, $h = 40$ мм, $h = 70$ мм). При этом наилучшие результаты были получены на расстоянии 9 мм промежутка разрядника электрогидравлического оборудования. На рисунках 5, 6 показаны камни, которые были использованы в эксперименте.

В результате экспериментального исследования определены оптимальные значения времени и количества искровых разрядов электрогидравлического бурения камней, определено время, при котором в процессе бурения происходит растрескивание камня. Экспериментальные результаты электрогидравлического бурения камней при $h = 30$ мм, $h = 40$ мм показаны на рисунках 5–6.



Рисунок 5. Разрыв камня после бурения в течение 3 минут ($h = 30$ мм)



Рисунок 6. Разрыв камня после бурения в течение 5 минут ($h = 40$ мм)

На рисунке 7 показано, что при толщине камня $h = 30$ мм, $h = 40$ мм количество разрядов составило 150–200 ударов, для $h = 70$ мм — 400–450 ударов. Глубина дробления зависит от числа ударных разрядов.

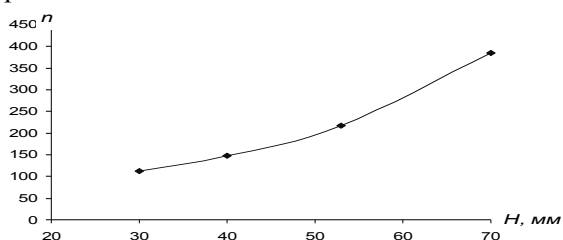


Рисунок 7. Зависимость числа ударных разрядов от толщины камня до осуществления дробления

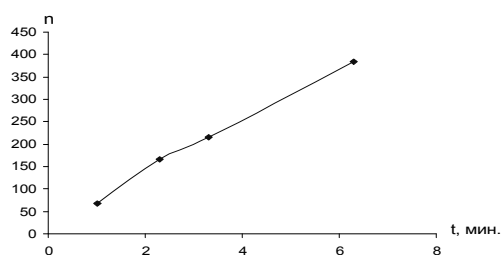


Рисунок 8. Зависимость числа ударных разрядов от времени при электрогидравлическом воздействии

При максимальном ударном разряде интенсивность увеличения глубины бурения повышается. Причина этого явления заключается в том, что при ударных разрядах происходит повышение давления, что вызывает на поверхности камня кусковое измельчение. При увеличении удара разряда повышается давление, поэтому при максимальном ударе электрического разряда увеличивается глубина дробления.

На рисунке 8 показан график зависимости числа ударных разрядов от времени в процессе бурения.

Получена зависимость числа ударных разрядов от времени при электрогидравлическом воздействии. Как показано на графике, в процессе дробления камня ($h = 40$ мм) количество искровых разрядов составляет 50 ударов в минуту, за две минуты — 150, за три — 200, за семь минут — 350 ударов. Во время процесса поверхность камня начинает измельчаться, со временем глубина дробления увеличивается и, соответственно, растет число ударов электрического разряда.

References

- 1 The Energy Strategy of the Republic of Kazakhstan for the period 2004–2015. — Astana, 2004.
- 2 Ray D., McMichael J. Heat Pumps. — Moscow: Energoatomizdat, 1982. — 224 p.

- 3 *Vasiliev V.V.* The use of low-grade thermal energy of the surface soil layers of the Earth to heat refrigerant-supply of the building // *Thermal Engineering*. — 1994. — № 2. — P. 31–35.
- 4 *Yutkin L.A.* *Electro-effect*. — Moscow: Mashgiz, 1955. — 51 p.
- 5 *Yutkin L.A.* *Electro-effect and its application in industry*. — Leningrad: Engineering, 1986. — 253 p.

Қ.Құсайынов, К.М.Тұрдыбеков, Ж.А.Кұжұханова, К.К.Саденова

Жер қойнауынан жылу алуға арналған электроимпульсті технология арқылы жылуалмастырғышты құру

Зерттеудің мақсаты өндірістік, қоғамдық және тұрғын мекемелерді жылумен, суықпен жабдықтау үшін дәстүрлі емес және қайта қалпына келетін энергия көздері ретінде энергияны үнемдеуші жылу сорғыш технологияларын ғылыми тәжірибе негізінде енгізіп өңдеу болып табылады. Жер қойнауындағы жылуды қолдануға жылу сорғыштағы жылу алмастырғышты оңғыға орналастырады. Оңғы алуда жие қолданылатын әдістердің бірі — бұрғылау. Электрогидравликалық бұрғылау принципіалды бұрғылаудың жана әдісі болып табылады, тау-кен тастарын бұзу арқылы электрлік энергия механикалық жұмысқа ауысады. Мұның орындалуына электрогидравликалық бұрғылаудың әр түрлі типтері мен модификациялары қолданылады.

K.Kusaiynov, K.M.Turdybekov, Zh.A.Kuzhukhanova, K.K.Sadenova

Electro-technology is a heat exchanger to extract the heat of the soil at shallow depths

The aim of the study is to develop scientific and practical bases of introducing energy-saving heat pump technology to heat and cold supply of residential, public and industrial premises on the basis of alternative and renewable energy sources. The heat exchanger of the heat pump is installed in the wells for groundwater heat. Drilling is widely used method for wells and canals. Electro drilling, in which electrical energy is directly in the slaughter goes into mechanical work, breaking the rock, is a fundamentally new way of drilling. For its implementation are electro drills of various types and modifications.

УДК 621.039.551.021.3

З.Т.Акашев, А.Д.Мехтиев, В.В.Югай

Карагандинский государственный технический университет (E-mail: barton.kz@mail.ru)

Оптимальный алгоритм для построения структурных схем конвейеров с тяговым органом

В данной статье выполнен оптимальный алгоритм для построения структурных схем конвейеров с тяговым органом. Созданы новые средства непрерывного транспорта, обеспечивающие сплошную конвейеризацию технологических цепочек добычи полезных ископаемых, выдачи и укладки вскрышных пород в отвал. Высокоэкономичность новых средств транспорта определяет сокращение объемов горно-капитальных работ при проходке наклонных транспортных выработок. Внедрение в качестве траншейного транспорта вертикальных и крутонаклонных конвейеров является перспективным направлением в области конвейеризации горно-добывающей промышленности.

Ключевые слова: алгоритм, структурная схема, конвейер, тяговый орган, непрерывный транспорт, технологическая цепочка, полезные ископаемые.

Технологическое назначение любого конвейера, в том числе конвейеров с тяговым органом, — это перемещение груза на расстояние, поэтому основным технологическим параметром конвейеров является их длина. В то же время максимально допустимая длина конвейера, лимитируемая прочностью используемых тяговых органов, при одних и тех же условиях эксплуатации и одном и том же тяговом органе, зависит от совершенства способа транспортирования груза, принятого на данном конвейере, т.е. от величины коэффициента сопротивления движению ω' . Например, забойный ленточный конвейер с нижней рабочей ветвью, перемещающейся непосредственно по почве пласта, и штрековый, с рабочей ветвью, перемещающейся по роликам стационарных роликоопор с лентами одного типоразмера, или скребковый и ленточно-цепной конвейеры с тяговыми цепями одного типоразмера при одних и тех же значениях линейной нагрузки и угла установки допускают различную длину при одинаковой прочности тяговых органов. В связи с этим максимально допустимая длина конвейера выступает еще как бы показателем качества (совершенства) структурной схемы конвейера, определяемого по принципу «чем больше максимально допустимая длина конвейера при прочих равных условиях, тем лучше его схема соответствует сплошности и неразрывности (бесперегрузочности) потока груза», а следовательно, сокращению числа механизмов в транспортной линии, т.е. непрерывности схемы транспорта. Очевидно, внедрение непрерывной схемы транспорта для перемещения горной массы на большие расстояния по сложным криволинейным трассам является одним из перспективных направлений работ по повышению эффективности производства на горных предприятиях.

Особенно острая необходимость в этом наблюдается на карьерах, где в связи с дальнейшим их углублением и одновременной концентрацией работ при этом использование в качестве траншейного общепринятых колесных средств транспорта — автомобильного и железнодорожного — нерацionalmente. Действительно, в настоящее время в масштабе всей страны остро стоит проблема выдачи груза из глубоких карьеров на поверхность. Существующие виды транспорта при глубине карьеров более 200 м практически становятся малорентабельными. Это связано с резким увеличением объема горно-капитальных работ и необходимостью поддержания горных выработок на длительный период эксплуатации, с увеличением парка подвижного состава, переоборудованием и созданием мощных

ремонтно-профилактических баз для транспортного оборудования, с увеличением штата обслуживающего персонала, с санитарно-гигиеническими условиями труда рабочих на карьерах, а также с безопасным обслуживанием при работе транспортного оборудования на предельных значениях угла наклона путей, особенно в осенне-весенние периоды года.

Для решения поставленных задач необходимо создание новых средств непрерывного транспорта, обеспечивающих сплошную конвейеризацию технологических цепочек добычи полезных ископаемых, выдачи и укладки вскрышных пород в отвал. Высокоэкономичность новых средств транспорта должна определяться сокращением объемов горно-капитальных работ при проходке наклонных транспортных выработок (траншей), уменьшением числа транспортных машин в результате повышения их единичной мощности, совмещением операций транспорта основных и вспомогательных грузов.

Перспективным направлением в области конвейеризации горнодобывающей промышленности является более широкое внедрение в качестве траншейного транспорта вертикальных и крутонаклонных конвейеров. Применение их позволит (по сравнению с конвейерами известных конструкций) при одной и той же высоте подъема значительно сократить дальность транспортирования грузов, что приведет к значительному повышению технико-экономических показателей горного производства. Достигается это в результате уменьшения объема горно-капитальных работ, снижения эксплуатационных расходов, уменьшения производственных площадей и т.п. Для этого необходимы мощные конвейерные подъемники, способные транспортировать в одном ставе (без перегрузки) большой объем горной массы на расстояния свыше 150–200 м под углами наклона 35–45° к горизонту. Однако создание их на базе известных конвейеров затруднительно по целому ряду причин. Так, например, у цепных конвейеров малая длина в связи с недостаточной прочностью их тяговых органов, поэтому применение их сопряжено с необходимостью сооружения перегрузочных узлов, что особенно затруднительно на крутонаклонных участках, или выполнением конвейеров по многоприводной схеме, что также требует решения сложной проблемы — автоматического распределения нагрузки цепного конвейера между его приводами. У ленточных конвейеров не решена проблема закрепления на ленте подпорных элементов, способных удерживать на ней крупнокусковой скальный груз, а при многоприводной схеме конвейера — проблема передачи тяговых усилий привода к ленте на линейных участках конвейера и др.

В связи с этим для успешного решения проблемы конвейеризации транспорта скальных грузов на карьерах являются целесообразными проведение поиска и разработка простейших схем конвейеров, и в первую очередь одноприводных, которые для каждого конкретного случая заданных условий эксплуатации (при заданных значениях производительности, дальности транспортирования, криволинейности трассы в плане и в профиле и т.д.) были бы наиболее рациональными.

Очевидно, такая задача может быть решена, если будут установлены закономерности построения структурных схем конвейеров. Тогда, используя эти закономерности и развивая их в нужном направлении, можно будет создавать конвейеры с заранее предсказанными свойствами.

Для определения рациональных схем специальных конвейеров, транспортирующих скальные породы, и обоснования их основных параметров необходимо все конвейеры общего и специального назначения классифицировать по единой системе. Причем классификация должна быть проведена по наиболее общему признаку, раскрывающему основные внутренние связи (механическое строение) структурной схемы конвейера, аналогично методу составления структурных схем электромеханических систем при математическом моделировании. Это позволит найти перспективные пути развития внутренних связей, следовательно, и схем конвейеров. При этом могут быть найдены такие связи, которые будут ограничивать сползание и скатывание груза, улучшать условия очистки несущей поверхности от налипшего материала, обеспечивать максимальное использование тяговых элементов по прочности и т.д.

Имея технологическую задачу — увеличение дальности бесперегрузочного транспортирования скальных грузов конвейерами, основным признаком классификации можем определить из анализа факторов, влияющих на главный технологический параметр конвейеров — длину.

Длина конвейера в общем случае определяется равенством

$$\frac{P_{PA3}}{n} - S_{сб} = Lq_c (\omega' \cos \beta \pm \sin \beta) g, \quad (1)$$

где P_{PA3} — разрушающее усилие тягового органа, H ; n — коэффициент запаса прочности тягового органа; $S_{сб}$ — усилие в точке сбегания с привода, H ; q_c — суммарная линейная масса движущихся

частей конвейера и груза, кг/м; ω' — коэффициент сопротивления движению; β — угол установки конвейера, град.

Решение равенства (1) относительно длины конвейера L дает

$$L = \frac{\frac{P_{PA3}}{n} - S_{сб}}{q_c (\omega' \cos \beta \pm \sin \beta) g} \text{ м.}$$

Следовательно, при известных условиях эксплуатации (заданной производительности и угле наклона) максимально допустимая длина конвейера в общем случае является функцией трех независимых переменных величин (разрывной прочности тягового органа, коэффициента запаса прочности и коэффициента сопротивления движению). Усилие $S_{сб}$ на длину конвейера L в сторону его увеличения не влияет, так как оно определяется как минимально допустимое из условия надежного взаимодействия тягового органа с приводом конвейера.

Анализ способов увеличения длины конвейера вариацией указанных независимых переменных величин показывает, что построение структурной схемы конвейеров характеризуется только теми способами увеличения длины конвейеров, которые определяют механическое строение их тяговых органов, и, следовательно, поведением последних при статических и динамических нагружениях. В связи с этим, чтобы определить оптимальный алгоритм для построения структурных схем конвейеров, необходимо изучить статические и динамические свойства тяговых органов, а затем, сформулировав наиболее общее свойство их как математическую задачу, решить ее на оптимум и установить основной признак классификации конвейеров.

Статические и динамические свойства тяговых органов всех типов магистральных конвейеров практически идентичны и позволяют сделать следующие выводы:

- величина деформаций цепных и канатных тяговых органов, а также конвейерных лент на тканевой основе при отсутствии поперечной нагрузки на тяговых органах прямо пропорциональна величине приложенного к ним натяжения;
- при наличии поперечных нагрузок у цепных тяговых органов и конвейерных лент на тканевой основе зависимость относительного удлинения от величины натяжения имеет параболическую форму, а условная жесткость может быть представлена в дифференциальной форме;
- из анализа характеристик конвейерных лент и цепных тяговых органов и сравнения их с характеристиками канатных тяговых органов можно предположить, что зависимость относительного удлинения канатного тягового органа от величины его натяжения при наличии поперечной нагрузки также будет определяться кривой второго порядка.

Таким образом, тяговые органы длинных (магистральных) конвейеров представляют собой упругий элемент, который под действием разности усилий на концах деформируется. Абсолютное удлинение тягового органа в пределах длины рассматриваемого участка

$$\Delta L = \int_0^L \varepsilon dx,$$

где ε — относительное удлинение тягового органа; x — расстояние от привода до рассматриваемого сечения тягового органа.

В большинстве случаев тяговые органы длинных конвейеров, контактируя с несущим полотном или одновременно являясь им, воспринимают распределенную по длине конвейера поперечную нагрузку и провисают между ходовыми или стационарными роликоопорами. Такие тяговые органы не подчиняются закону Гука, а условная жесткость их как коэффициент пропорциональности между действующим усилием S и относительным удлинением (по продольной оси) тяговых органов определяется как $E = dS / d\varepsilon$.

Используя свойство инвариантности дифференциалов, эти условия можно записать как систему дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta L}{dt} &= a\varepsilon; \\ \frac{dS}{dt} &= E \frac{d\varepsilon}{dt}; \\ dx &= a dt, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где a — скорость распространения упругой волны, м/с.

Систему уравнений (2) решим на оптимум, пользуясь «принципом максимума» Л.С.Понтрягина.

Приняв скорость изменения деформации за управляющее воздействие U и введя фазовые координаты $x_1 = \Delta L; x_2 = \varepsilon; x_3 = S$ фазового пространства X , получим систему дифференциальных уравнений в фазовых координатах:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= ax_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= U; \\ \frac{dx_3}{dt} &= EU. \end{aligned} \right\}$$

Учитывая, что тяговый орган не может подвергаться беспредельной деформации, введем ограничение по усилию

$$S \leq [S]. \quad (3)$$

Тогда задачу оптимального управления математически можем сформулировать следующим образом: требуется найти оптимальный алгоритм управления, согласно которому фазовая точка переместится из положения $x_{1н}, x_{2н}, x_{3н}$ в положение $x_{1к}, x_{2к}, x_{3к}$ за минимальное время.

Для рассматриваемого случая функция Гамильтона

$$H = \psi_1 x_2 a + \psi_2 U + \psi_3 EU,$$

где ψ_1, ψ_2, ψ_3 — вспомогательные переменные, для определения которых имеется система уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_1}; \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_2}; \\ \frac{d\psi_3}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_3}. \end{aligned} \right\}$$

Продифференцировав, получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} &= 0; \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\psi_1 a; \\ \frac{d\psi_3}{dt} &= 0; \end{aligned} \right\},$$

которой удовлетворяют функции вида

$$\left. \begin{aligned} \psi_1(t) &= C_1; \\ \psi_2(t) &= C_2 - C_1 at; \\ \psi_3(t) &= -C_3, \end{aligned} \right\},$$

где C_1, C_2, C_3 — постоянные интегрирования.

Функция H будет максимальна относительно U при условии

$$\frac{dH}{dU} = \psi_1 + \psi_3 E = 0. \quad (4)$$

Тогда, подставляя значения $\psi_2(t)$ и $\psi_3(t)$ в уравнение (4), находим $C_3 E = C_2 - C_1 at$, откуда

$$E(S) = \frac{C_2 - C_1 at}{C_3}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) можно сделать заключение о том, что критерием оптимальности системы (единственным параметром, характеризующим состояние грузонесущего органа) в диапазоне рабочих усилий, ограниченном согласно уравнению связи (3), является его продольная жесткость $E(S)$, изменяющаяся по линейно убывающему закону по длине рабочего органа.

Приняв обозначения $\beta_1 = \frac{C_2}{C_3}; \beta_2 = \frac{C_1}{C_3}$, имеем:

$$E(S) = \beta_1 - \beta_2 x. \quad (6)$$

Подставив значение $E(S)$ в условие (2), определяем:

$$U(t) = \frac{\frac{dS}{dt}}{\beta_1 - \beta_2 x}. \quad (7)$$

Это и есть оптимальный закон изменения скорости деформации в тяговом органе конвейеров.

Однако, как вытекает из условия (7), для получения оптимального алгоритма управления в каждом конкретном случае необходимо знать закономерность распределения усилий в тяговом органе по его длине. Например, для прямолинейного участка конвейера, когда жесткость и масса грузонесущего органа равномерно распределены по длине, можно принять линейный закон распределения усилий

$$S = [S_{\max}^p] + \frac{x}{L} ([S_{\max}^p] - [S_{\min}^p]),$$

где $[S_{\min}^p]$ и $[S_{\max}^p]$ — расчетные значения соответственно минимально и максимально допустимых статических усилий на тяговый орган, H . Тогда

$$U(t) = \frac{[S_{\max}^p] - [S_{\min}^p]}{t_{np} (\beta_1 - \beta_2 \nu)},$$

где t_{np} — время прохождения упругой волны по участку, c .

Максимально допустимое статическое усилие на тяговый орган

$$[S_{\max}^p] = [S] = \frac{P_{раз}}{n},$$

где $P_{раз}$ — разрушающее усилие тягового органа, H ; n — коэффициент запаса прочности.

Для рассматриваемого случая, когда осуществляется транспортирование грузов на большие расстояния по сложным криволинейным трассам, общее сопротивление движению всей конвейерной линии

$$W_0 \gg [S], \quad (8)$$

поэтому для его преодоления создается необходимая прочность тяговых органов путем суммирования их допустимых статических усилий, что достигается некоторым усложнением структурной схемы конвейеров:

$$\sum_{i=1}^{m_j} [S] \geq W_0 + m_j S_{сб}, \quad (9)$$

где m_j — общее число слагаемых (составляющих единиц) при наборе требуемой статической прочности тяговых органов.

Изложенное выше позволяет сделать заключение о том, что искомые конвейеры имеют сложную структурную схему, а необходимая статическая прочность их тяговых органов создается путем синтеза (суммированием) допустимых статических усилий используемых тяговых элементов.

References

- 1 Saginov A.S., Daniyarov A.N., Akashev Z.T. The rudiments of projecting and counting of leaf-like canyon conveyor belts. — Almaty: Nauka, 1984. — P. 15–19.
- 2 Akashev Z.T. Methodic of refining and choosing of structure of mining factories' technological processes. — Moscow: Heavy machine building. — 2005. — № 12. — P. 17–19.
- 3 Akashev Z.T., Malybaev S.K., Akashev A.Z. Searching and making of scientific products in heavy industry and transport industry. — Karaganda: KSTU, 2006. — 197 p.

З.Т.Ақашев, А.Д.Мехтиев, В.В.Югай

Тарту органы бар конвейерлердің құрылымдық схемаларының құрастыруы үшін ұтымды алгоритмі

Мақалада тарту органы бар конвейерлердің құрылымдық схемаларын құрастыру үшін ұтымды алгоритм орындалған. Қайырмаға беру және пайдалы қазбалар өндіру технологиялық тіркестерінің шылқыған конвейеризация қамтамасыз ететін үздіксіз көліктердің жаңа құралдары жасалған. Көліктің жаңа құралдарының жоғары үнемділігі көлбеген көлік өндірулерін өтудің жанында тау-іргелі жұмыстардың көлемдерінің қысқартуын анықтайды. Тау-өндіруші өнеркәсіптің конвейеризацияның төңірегіндегі траншея көлік ретінде қатты-тік және тік конвейерлердің енгізілу болашақта пайдасы мол бағыт болып табылады.

Z.T.Akashev, A.D.Mehtiev, V.V.Yugay

Optimal algorithm for construction of structural arrangements conveyors traction authority

This article gives an optimal algorithm for constructing the structural schemes of conveyers with a traction unit. New facilities of continuous transport were created, providing a continuous conveying of mining technological lines, the output and placement of the overburden to the dump. High economy of the transportation facilities determines the decline of mining works at the inclined transportation productions. The introduction of a vertical and inclined conveyers as a trench transport is a perspective direction in conveying of the the mining industry.

УДК 669.213:66.094.6

А.К.Турсунбаева, В.С.Портнов, Р.К.Камаров, А.Д.Маусымбаева

Карагандинский государственный технический университет (E-mail: umo@kstu.kz)

Воздействие взрыва на рудный штабель при кучном выщелачивании металлов

В работе предложена модель буровзрывной скважины в рудной массе штабеля кучного выщелачивания и определена структура поля касательных напряжений. Дано выражение для модуля объемной пластической деформации рудной массы, параметры которого являются некоторыми функциями интенсивности деформаций сдвига. Это выражение в общем случае отражает процесс разрыхления рудной массы. Предложена модель радиального взрывного воздействия на рудный штабель. Получено значение резонансной частоты, зная которую можно рассчитать параметры ударной волны и мощность необходимого заряда.

Ключевые слова: рудный штабель, взрыв, кучное выщелачивание, металлы, рудоподготовка, взрывчатое вещество.

Введение

Одним из этапов рудоподготовки в процессе кучного выщелачивания являются буровзрывные работы по разрыхлению рудного штабеля. Внедрение взрывных методов в горное дело позволило достичь огромных возможностей горного производства. Развитие науки и технологии применения взрыва в горной промышленности зависит от решения целого комплекса проблем, связанных с представлениями о взрывных явлениях и физике взрывного разрушения горных пород.

Анализ последних исследований в области воздействия взрыва на горные породы показал, что на процессы взаимодействия взрывной волны и горных пород оказывают влияние большое число факторов, связанных со свойствами как взрывчатого вещества, так и горного массива.

Взрывчатые вещества (ВВ) как высококонцентрированный и экономичный источник энергии широко применяются в различных отраслях народного хозяйства. В настоящее время около 90 % объема руд цветных и черных металлов добывают взрывным способом. Массовые взрывы широко используются при вскрытии месторождения полезных ископаемых, а также при строительстве ирригационных сооружений, прокладке авто- и железнодорожных путей, при проходке тоннелей шахтных стволов и других горных выработок.

Широко применяют ВВ при взрывных способах обработки металлов в машиностроении, при штамповке, сварке, упрочнении деталей машин, резании металлов в металлургии, при уплотнении грунтов, тушении лесных пожаров, в гидромелиоративном строительстве и для других технических нужд.

В настоящее время ВВ применяют при образовании удлиненных выемок взрывами траншейных зарядов выброса, управлении направлением выброса за счет обваловки грунтом, который вынимают в проектном контуре профильного сечения выемки. Продолжаются поиск и исследования дальнейших путей управления энергией взрыва.

При ведении буровзрывных работ (БВР) на горных предприятиях выбор их основных параметров и методов управления взрывом в значительной степени зависит от свойств горных пород, трещиноватости массива и структурных особенностей его залегания. При составлении расчетов используются физические, механические, горно-технологические свойства горных пород.

Проблемы механизма взрывного дробления горных пород тесно связаны с физикой разрушения твердого тела (об этом мы подробно говорили в работе [1]) и физикой взрыва в сплошной среде. Большая библиография по буровзрывным работам представлена в работах [2–4].

Особенности действия взрывных нагрузок в рудном штабеле

Штабеля кучного выщелачивания представляют собой отвалы дробленой водонасыщенной руды. По своей сути они подобны несвязным рудным массам. Поэтому, рассматривая взрыв в рудном штабеле, мы будем пользоваться этой аналогией и терминологией. Это связано с тем, что взрывные процессы в рудной массе исследованы достаточно подробно [2–4].

В тех случаях, когда выступают особенности рудного штабеля и когда необходимо расчет довести до практического результата, мы будем пользоваться конкретной моделью рудного штабеля. При этом минералогический состав рудного штабеля принимается соответствующим составу Васильковского месторождения.

При взрывах волна детонации, выходя на поверхность заряда, преобразуется в интенсивную волну давления и расходящееся движение среды [3]. График изменения давления или напряжений в среде вблизи места взрыва имеет форму разрыва, за которым следует постепенное затухание давления, т.е. наблюдается скачкообразное возрастание напряжений и, как следствие этого, — возрастание плотности и скорости движения среды. Образующаяся вблизи от заряда взрывная волна с крутым фронтом называется ударной волной. В пределах действия ударной волны наряду с упругими деформациями наблюдаются интенсивное разрушение и значительные необратимые деформации рудной массы. На рисунке 1 показаны карты поля деформаций блока гранита [5].

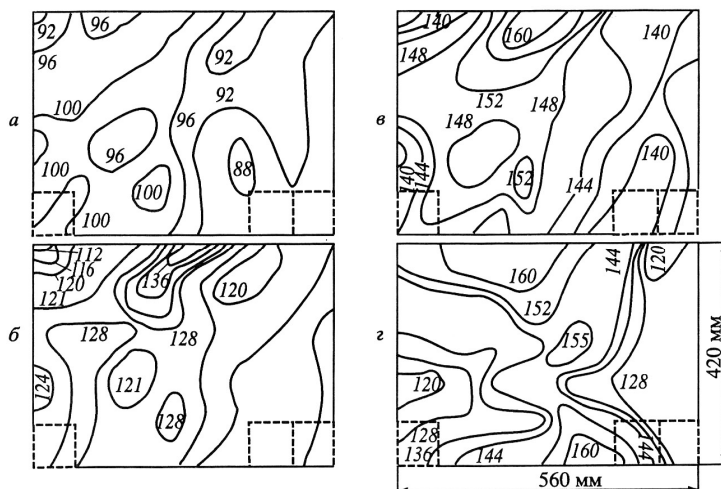


Рисунок 1. Поле первого инварианта тензора плоской деформации $I = \varepsilon_{||} + \varepsilon_{\perp}$ грани блока гранита при нагрузках 85 (а), 113 (б), 134 МПа (в) на первом этапе нагружения и 130 МПа (г) на втором этапе нагружения [5]

Анализ этих карт позволяет выявить следующие особенности поля деформаций. Уже на ранних стадиях деформирования, при $\sigma < 30\%$ от разрушающего, в блоке появляются участки разной деформируемости. Не удалось выявить их соответствия имевшимся в блоке визуальным неоднородностям состава, например, прожилкам лейкократового или биотитового состава. Участки разной деформируемости сохраняют свое местоположение по мере увеличения нагрузки. Отметим, что размеры таких участков измеряются десятками сантиметров, что значительно превышает размер зерна гранита. Можно полагать, что карта на рисунке 1 отражает структуру элементов разной жесткости блока, выявляемую при нагружении.

В рудном штабеле при кучном выщелачивании золота из руд, представленных кварцем и полевым шпатом (т.е. упорных руд), карта поля деформаций должна выглядеть примерно так же, как и на рисунке 1, вследствие близости физико-механических свойств гранитов и отмеченных выше упорных руд. При этом динамика локальных деформаций будет примерно такой, как это показано на рисунке 2.

С макроскопической точки зрения ударная волна представляет собой воображаемую поверхность, на которой термодинамические величины среды (которые, как правило, изменяются в пространстве непрерывно) испытывают устранимые особенности: конечные скачки. При переходе через фронт ударной волны меняются давление, температура, плотность вещества среды, а также скорость её движения относительно фронта ударной волны. Все эти величины изменяются не независимо, а связаны с одной (единственной) характеристикой ударной волны — числом Маха. Математическое уравнение, связывающее термодинамические величины до и после прохождения ударной волны, называется ударной адиабатой, или адиабатой Гюгонио [3].

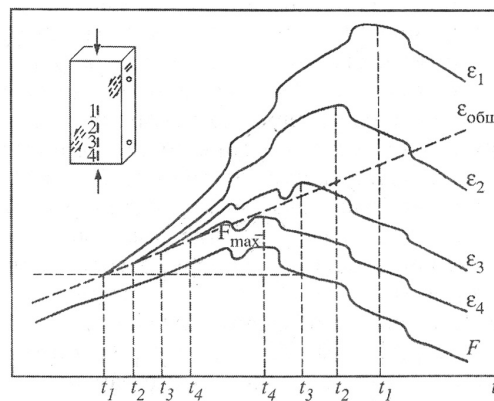


Рисунок 2. Результаты регистрации локальных деформаций ϵ , в сопоставлении с развитием макроразрыва [5]

Ударные волны не обладают свойством аддитивности в том смысле, что термодинамическое состояние среды, возникающее после прохождения одной ударной волны, нельзя получить последовательным пропусканием двух ударных волн меньшей интенсивности.

По мере распространения ударной волны величина скачка напряжений на ее фронте уменьшается, одновременно происходит расширение профиля волны и уменьшение крутизны фронта, т.е. превращение ее в непрерывную волну сжатия. Постепенно, по мере удаления от места взрыва, волна из ударной переходит в сейсмическую. В зоне действия сейсмических волн большая часть деформаций рудной массы носит упругий характер. В пределах зоны упругих деформаций среды сейсмические волны становятся звуковыми.

При разрушении рудной массы взрывами основное изменение структуры рудной массы происходит в зоне действия преимущественно ударных волн. Накоплен значительный экспериментальный материал по исследованию параметров взрывных волн в воде и водонасыщенных грунтах.

В работе [6] для проверки, вносит ли присутствие воды принципиальные отличия в поле напряжений и деформаций, были проведены эксперименты на мраморе и ракушечнике, имеющих разную прочность, размер зерен и фильтрационные свойства. Было показано, что в обоих случаях наличие воды приводит к асимметрии поля деформации в нижней части исследованных образцов.

Рудный штабель при кучном выщелачивании подвергается интенсивному орошению водным раствором цианидов, распределение которых описано нами в работе [7]. Ниже мы воспользуемся результатами этой работы и результатами работы [6].

Наиболее существенными параметрами взрывных волн являются максимальное давление, скорость распространения, время действия и импульс взрывной волны. Величина импульса взрывной волны

$$J = \int p(t)dt, \quad (1)$$

где $p(t)$ — изменяющееся во времени давление взрывной волны.

Зависимости для определения параметров ударных волн, полученные экспериментальным путем при взрыве сосредоточенных зарядов в воде, имеют вид

$$p_{\max} = 53,3(\sqrt[3]{\theta / R})^{1,13}; \quad J = 0,0059\sqrt[3]{\theta}(\sqrt[3]{\theta} / R)^{0,89}, \quad (2)$$

где p_{\max} — максимальное давление, МПа; θ — масса заряда, кг; R — расстояние от центра взрыва, м; J — импульс, МПа·с.

Показатели степени в (2) $D_1 = 1,13$ и $D_2 = 0,80$ соответствуют фрактальной структуре поверхности воды в период действия ударной волны. Скорость распространения ударных волн вблизи заряда превышает скорость звука. По мере удаления от места взрыва скорость ударной волны в воде весьма быстро падает до своего предельного значения, примерно равного скорости звука (порядка 1500 м/с).

В водонасыщенных рудных массах на параметры взрывных волн существенное влияние оказывает содержание газа. В общем случае водонасыщенная рудная масса представляет собой трехкомпонентную систему — твердые частицы, вода и газ. В водонасыщенных рудных массах газ может содержаться в виде адсорбированного минеральной частью, растворенного в воде и свободного. Количество адсорбированного газа в рудной массе невелико, вследствие чего он не оказывает заметного влияния на свойства рудной массы. Содержание растворенного газа сказывается на сжимаемости поровой воды.

Основными факторами, влияющими на формирование полей напряжений и деформаций под действием взрывных нагрузок, являются плотность, общая и свободная пористость, степень водонасыщенности и процент содержания газообразной фазы в водонасыщенной рудной массе.

В момент выхода детонационной волны на поверхность заряда, где окружающая среда находится в покое, на поверхности зарядной полости производится удар, в результате которого в рудной массе начинают распространяться волны напряжений. При распространении в рудной массе возмущений от взрывных нагрузок в виде волн напряжений образуются области, в которых среда находится в напряженно-деформированном состоянии, а частицы ее — в движении. При этом вначале идет процесс нагрузки, а затем разгрузки, которые, в свою очередь, характеризуются соответствующими параметрами напряжений и деформаций.

Энергия волны излучается в среду за очень короткий промежуток времени. Пополнение ее происходит за счет уменьшения энергии продуктов взрыва, связанного с увеличением их объема, что приводит к расширению полости, т.е. деформации массива. Большое влияние на процесс расширения полости оказывают свойства как водонасыщенного массива, так и взрывной нагрузки. Инерция среды, свойства продуктов взрыва и физико-механические характеристики рудной массы приводят к качественно различным процессам расширения полости или деформирования среды. Существенное влияние на прочностные показатели оказывает скорость деформирования. Медленное или быстрое деформирование изменяет соотношение процессов разрушения и восстановления естественной структуры рудной массы.

При прохождении взрывных волн наблюдается сжатие среды, зависящее от параметров взрывных волн, которые, в свою очередь, в значительной мере зависят от сжимаемости среды. Такое взаимное влияние определяет сложный характер воздействия взрывных волн на окружающую среду.

Сжимаемость воды относительно невелика, при обычных температурах (0–20 °С) и давлении до нескольких сот атмосфер ее модуль объемной сжимаемости составляет 2000 МПа. Взрывные волны в воде имеют ударный характер и вследствие ее малой сжимаемости слабо затухают с изменением расстояния. Благодаря большой однородности масс воды и незначительному изменению ее свойств при обычных температурах и давлениях параметры взрывных волн в воде не меняются при одинаковых относительных расстояниях от заряда. Они легко воспроизводимы в экспериментах и производственных условиях.

В отличие от воды рудная масса весьма неоднородна и разнообразна. Сжимаемость рудной массы меняется в весьма широких пределах, поэтому характер взрывных воздействий в ней также многообразен. Основной особенностью рудной массы является ее многокомпонентность. Все это обуславливает значительные трудности при экспериментальных исследованиях и, в особенности, при попытке оценить действие взрыва расчетным путем.

Приведенные выше сведения о действии взрыва в воде и почти полностью водонасыщенных несвязных рудных массах показывают, что характер взрывных волн в этих средах практически совпадает, а параметры волн близки по величине. Действие взрыва в неводонасыщенной рудной массе качественно отличается от действия в воде и водонасыщенных несвязных рудных массах, а интенсивность динамических воздействий взрыва в воде и водонасыщенной рудной массе значительно больше, чем в неводонасыщенной. Все это приводит к тому, что характер разрушения структуры водонасыщенной несвязной рудной массы отличается от аналогичных процессов в неводонасыщенных рудных массах. С увеличением содержания в водонасыщенной рудной массе газовой составляющей это различие несколько уменьшается.

При встрече распространяющейся в воде или рудной массе взрывной волны с границей более плотной и менее сжимаемой среды, например с металлической пластиной (рис. 3), взрывная волна отражается в виде волны сжатия, причем в результате сложения падающей и отраженной волн давление увеличивается.

Таким образом, действие взрыва на рудную массу весьма многообразно и характеризуется сложным комплексом действующих одновременно или с некоторой последовательностью динамических силовых факторов. Эти факторы могут в определенных условиях вызывать разрушение структуры, которое сопровождается уплотнением рудной массы либо обуславливает разрыхление и даже нарушение их сплошности.

Рассмотрим теперь одну модель буровзрывной скважины в рудном штабеле, которую мы предлагаем для практического применения при рудоподготовке процесса кучного выщелачивания. Предлагаемая модель показана на рисунке 3.

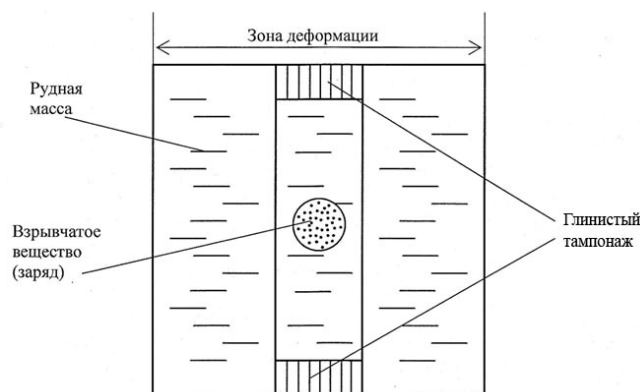


Рисунок 3. Модель буровзрывной скважины в рудной массе штабеля кучного выщелачивания

После взрыва между пластинами глинистого тампонажа и в ближайшей зоне деформации возникают напряжения, которые можно описать формулами [5]

$$\sigma_x + \sigma_y = 4 \operatorname{Re} \Phi(z) + zp, \tag{3}$$

$$\delta_e - \delta_x + 2i\tau_{xy} = -4(\Phi(z) + iy\Phi'(z)) - 2qe^{-2i\alpha}, \tag{4}$$

где

$$\Phi(z) = \frac{iT_0}{2} \left(1 - \frac{P(z)}{\sqrt{R(z)}} \right),$$

$$p = \frac{\sigma_1^0 + \sigma_2^0}{2}, \quad q = \frac{\sigma_1^0 - \sigma_2^0}{2},$$

$$T_0 = q \sin 2\alpha - k(p - \cos 2\alpha),$$

$$P(z) = z^2 - 2az + b,$$

$$R(z) = (z - a_1) \cdot (z - a_2) \cdot (z - a_3) \cdot (z - a_4),$$

$$z = x + iy.$$

Здесь p — полусумма главных сжимающих напряжений; q — полуразность главных сжимающих напряжений; k — коэффициент трения. Коэффициенты a и b определяются из дополнительных условий убывания $\Phi(z)$ на бесконечности и однозначности смещения при обходе одной из трещин. Трещины задаются вдоль отрезков a_1, a_2, a_3, a_4 ; они ориентированы под углом α по отношению к главному сжимающему напряжению; берега трещин при сдвиге взаимодействуют по закону Кулона-Мора с постоянным коэффициентом трения.

Структура поля касательных напряжений, рассчитанная по формулам (3) и (4), представлена на рисунке 4. Она аналогична в первом приближении экспериментально полученной картине на рисунке 2.

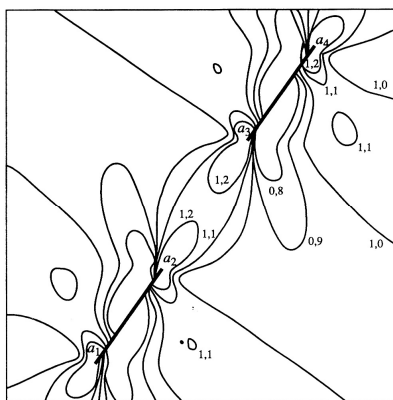


Рисунок 4. Структура поля максимальных касательных напряжений между двумя коллинеарными трещинами

Конечно, представленная модель носит упрощенный характер, и поэтому ниже мы рассмотрим эту модель с других позиций. Однако общая структура модели при этом остается неизменной.

Упруго-вязкопластические деформации рудной массы при статических и динамических нагрузках

Рудная масса (отвальная руда) представляет собой трехкомпонентную среду, состоящую из твердых частиц, воды и воздуха. Твердые частицы образуют скелет рудной массы, а вода и воздух заполняют промежутки между зернами — поры рудной массы. При воздействии нагрузок вода и воздух выжимаются из пор рудной массы, вследствие чего меняются и механические свойства рудной массы. Большое влияние при этом имеет продолжительность воздействия нагрузок.

При длительных статических нагрузках вода и воздух почти полностью выжимаются из пор, вследствие чего состав рудной массы меняется; при кратковременных динамических нагрузках вода и воздух отжимаются из пор не полностью, в результате чего состав рудной массы меняется в меньшей степени.

При разработке методов расчета воздействия взрыва на рудную массу будем исходить из классических представлений. В основу упругой стадии воздействия положена линейная зависимость между напряжениями и деформациями. Для пластической стадии характерна нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями, закон которой устанавливается на основании теоретических или экспериментальных данных. В ряде случаев нелинейную зависимость можно линеаризировать. Воздействие взрыва на рудную массу для обеих стадий рассматривается независимо от времени воздействия нагрузки. Подобные предпосылки достаточно удовлетворительно соответствуют состоянию рудной массы при воздействии длительных статических нагрузок.

Однако при динамических процессах, характеризующихся воздействием на рудную массу кратковременных и мгновенных сил, рассмотренные предпосылки обеспечивают удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных не всегда. Особенно значительно различие при сильных кратковременных динамических нагрузках (удары, взрывы, импульсы большой силы).

Рудную массу в условиях воздействия мгновенных и кратковременных сил целесообразно рассматривать как упруговязкую и пластическую среду. Наличие упругой и вязкой составляющей среды

для такой модели позволяет рассмотреть развитие деформаций во времени с учетом реальных реологических свойств рудной массы.

Упруговязкие деформации характеризуются тем, что при разгрузке они полностью восстанавливаются. При этом мгновенно восстанавливающиеся деформации носят название упругомгновенных (истинно упругие), компоненты тензора которых обозначаются ε_{ij}^e . Деформации, восстанавливающиеся во времени, называются упруговязкими ε_{ij}^{ev} . Упругие деформации связаны с напряжением σ_{ij} законом Гука:

$$\varepsilon_{ij}^e = c_{ij} \sigma_{ij}. \quad (5)$$

Остановимся на изотропном материале, характеризуемом всего двумя механическими константами:

$$\sigma_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij}^e + \delta_{ij}\lambda\varepsilon_{ij}^e, \quad (6)$$

где μ и λ — постоянные Ламе.

Между постоянными Ламе, модулем продольной упругости E , коэффициентом Пуассона ν , модулем сдвига G и модулем всестороннего сжатия K имеют место следующие соотношения:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \quad \mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)}; \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}; \quad -1 \leq \nu \leq 1/2. \quad (7)$$

Таким образом, упругое поведение изотропной рудной массы характеризуется двумя константами: G^e и K^e . Для определения модулей упругости рудной массы иногда используется статическая разгрузка образцов и по восстанавливающейся части деформации вычисляются статические модули упругости G_{00}^e и K_{00}^e .

Следует отметить, что в восстанавливающееся значение деформации входит и доля «запаздывающих» деформаций. Истинно мгновенные модули упругости следует определять по скоростям распространения в рудной массе упругих волн. Такие модули иногда называют динамическими модулями упругости G_0^e и K_0^e . Они, как правило, превышают статические модули упругости в 2–5 раз. Такая разница в значениях упругих констант объясняется тем, что на развитие упругих деформаций в рудной массе оказывает влияние внутреннее трение.

Наиболее простая формулировка соотношений, определяющих вязкие деформации рудной массы, следует из предположения, что скорость вязких деформаций пропорциональна разности между действующими напряжениями и деформациями, соответствующими упругим деформациям.

Суммарная скорость упруговязких деформаций складывается из скорости упругих деформаций и скорости запаздывающих деформаций

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{eo} = \dot{\varepsilon}_{ij}^e + \dot{\varepsilon}_{ij}^g. \quad (8)$$

Статические модули упругости определяются по диаграммам $\sigma_i - \varepsilon_i$.

Динамические характеристики упругости рудной массы могут быть определены по скорости распространения упругих колебаний в рудной массе. Для упруговязкой среды, характеризуемой соотношениями (8), существует достаточно сложная зависимость между скоростью распространения колебаний, реологическими параметрами среды и длиной волны. Только при очень быстрых колебательных процессах реологические свойства не успевают сказаться на скорости распространения упругих волн. При этом существенным является тот факт, что рудная масса находится в условиях сложного статического напряженного состояния, которое, очевидно, значительным образом сказывается на упругих характеристиках рудной массы.

Скорость распространения упругих продольных волн в массиве рудной массы равна

$$\vartheta_3 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{g(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (9)$$

где ρ — плотность рудной массы; g — ускорение свободного падения.

Приведенные скорости распространения упругих волн являются основными механическими характеристиками динамических свойств рудной массы. С помощью формул (7) и (9) можно определить модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν рудной массы по экспериментально полученным скоростям распространения.

Деформирование рудной массы в процессе нагружения сопровождается накоплением пластических деформаций, которые при разгрузке не восстанавливаются. Закономерности развития пластических деформаций, изучение условий разгрузки рудной массы — все эти вопросы являются определяющими при формулировке математической модели рудного штабеля.

Модуль объемной пластической деформации рудной массы K^p определяется из выражения

$$K^p = \frac{a - b\sigma}{1 - c\sigma} + \frac{n}{1 - m\sigma}. \quad (10)$$

Параметры зависимости (10) являются некоторыми функциями интенсивности деформаций сдвига e_i . Функция вида (10) в общем случае отражает процесс разрыхления рудной массы. Развитие этого процесса, в свою очередь, зависит от значений σ и e_i .

Модель радиального взрывного воздействия на рудный штабель

В рамках модели на рисунке 3 выберем граничные условия в простейшей периодической форме. Задача для смещения имеет следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} U(r, z, t) \Big|_{r=0} &= \varphi(r, z), \\ U(r, z, t) \Big|_{r=R} &= \gamma(z, t) = U_0 \sin \omega t \sin kr, \\ U(r, z, t) \Big|_{z=0} &= \gamma_1(r, t) = U_1 \sin \omega t \sin kr = 0, \\ U(r, z, t) \Big|_{z=\beta(t)} &= \gamma_2(r, t) = U_2 \sin \omega t \sin kr = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где U_0, U_1, U_2 — компоненты ударной волны; ω, k — циклическая частота ударной волны и волновой вектор.

Общее решение такой задачи дано нами в работе [7]:

$$\begin{aligned} U(r, z, t) = \sum_{\kappa=0}^{\infty} J_0(\lambda_{\kappa} r) \left\{ e^{a^2 t} \left[\frac{1}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{\frac{(z-\xi)^2}{4a^2 \tau}} dt \right. \right. \\ \left. \left. x \left(\int_0^{\ell} \varphi(r, \xi) I_0(\lambda_{\kappa} r) r dr \right) d\xi + \frac{RJ_1(\lambda_{\kappa} R)}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t d\tau \int_0^{\ell} \frac{\gamma(\xi, \tau)}{\sqrt{t-\tau}} e^{-a^2 \tau} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} t \xi + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4a^2(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a^2(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau \right] \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Ограничимся в (12) первым членом, причем ошибка составит 2–4 % из-за быстрого спада функции Бесселя. Решение задачи для всех $z = 0$ равно

$$\begin{aligned} U(r, t) = J_0(\lambda_0 r) \left\{ e^{a^2 t} \left[\frac{t}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\ell} \varphi(r) J_0(\lambda_0 r) r dr \right] + \right. \\ \left. + \frac{RJ_1(\lambda_0 R)}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t d\tau \int_0^{\ell} \frac{U_0 \sin \omega t \sin kr}{\sqrt{t-\tau}} \cdot e^{-a^2 \tau} d\xi \right\} = \\ = J_0(\lambda_0 r) \frac{te^{a^2 t}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\ell} \varphi(r) J_0(\lambda_0 r) r dr + \frac{RJ_1(\lambda_0 R)}{2a\sqrt{\pi}} \cdot e^{-a^2 t} \cdot \ell U_0 \sin \omega t \sin kr \int_0^t \frac{d\tau}{\sqrt{t-\tau}} = \\ = \frac{RJ_1(\lambda_0 R)\sqrt{t}}{a\sqrt{\pi}} \cdot e^{-a^2 t} \cdot \sin \omega t. \end{aligned} \quad (13)$$

Резонансную частоту $\omega_{рез}$ определим из условия $\partial U / \partial t = 0$, имеем:

$$\omega_{рез} \approx a = \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}}, \quad (14)$$

где λ — теплопроводность; c — теплоемкость; ρ — плотность среды.

Зная резонансную частоту $\omega_{\text{рез}}$, можно рассчитать параметры ударной волны и мощность необходимого заряда.

Проведем теперь сравнение полученного нами решения (13) с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными. В момент взрыва, когда время t мало, $\sin \omega t \approx \omega t$, $e^{-at} \approx 1$ и для смещения фронта ударной волны получим

$$U(r, t) \approx \frac{RJ_1(\lambda_0 R)}{a\sqrt{\pi}} \cdot \omega t^{3/2}. \quad (15)$$

Из уравнения (15) следует степенная зависимость смещения частиц руды (грунта) от времени протекания начальной стадии процесса. Это согласуется как с экспериментальными данными [8], так и с результатами теоретических моделей [9]. При больших временах t из уравнения (13) следует экспоненциальное затухание ударной волны со временем, что также соответствует и экспериментальным данным, и теории [8, 9].

Возникает вопрос: для чего нужна еще одна модель радиального взрывного воздействия и вытекающая из нее формула (13)? Ответ вытекает из параметров, входящих в эту формулу. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Скорость движения фронта ударной волны согласно (13) равна

$$v(r, t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{a\omega RJ_1(\lambda_0 R)}{\sqrt{\pi t}} \cdot e^{-a^2 t} \cos \omega t. \quad (16)$$

При малых временах t и частоте $\omega \approx \omega_{\text{рез}}$ уравнение (16) преобразуется к виду

$$v(r, t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{RJ_1(\lambda_0 R)}{\sqrt{\pi t}}. \quad (17)$$

Уравнение (17) получено нами впервые. Какие практические выводы следуют из него?

Прежде всего, зависимость скорости ударной волны от свойств среды определяется коэффициентом теплопроводности λ . В работе [10] для коэффициента теплопроводности горных пород и минералов нами получено уравнение

$$\lambda = \frac{625\rho}{3C_2 G^0} \cdot T. \quad (18)$$

В уравнение (18) входит энергия Гиббса, которая экспериментально определена для большого количества минералов и представлена в справочниках. Для коэффициента мы получили значение $C_2 = 2,8 \cdot 10^{-2}$ (м²/кг с). В таблице 1 приводятся экспериментальные значения коэффициента теплопроводности некоторых минералов, вычисленные по формуле (18).

Т а б л и ц а 1

Сравнение экспериментальных и теоретических значений коэффициента теплопроводности некоторых минералов

Минерал	$\lambda_{\text{эксп.}}$ Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	G^0 , Дж/моль	$\lambda_{\text{теор.}}$ Вт/(м·К)
Гипс	1,30	2,3	1795000	1,50
Магнетит	5,3	5,17	1014490	5,98
Лабрадор	1,5	2,70	3845180	1,57
Анортит	1,7	2,76	3994830	1,54
Олигоклаз	1,96	2,64	3750710	1,60
Шпинель	3,48	3,6	2188060	3,67
Альбит	2,31	2,61	3695040	2,00

Из таблицы 1 видно, что экспериментальные и теоретические значения хорошо согласуются друг с другом. Это, на наш взгляд, неплохой результат и подтверждает основные положения нашей модели.

Влияние давления на теплопроводность металлов и минералов с хорошей точностью выражается линейной зависимостью λ от p . Однако в области высоких давлений (в нашем случае в области ударной волны) линейность нарушается. Теоретически этот вопрос разработан недостаточно. Поскольку энергия Гиббса в области низких и средних значений слабо зависит от давления, то (18) дает линейную зависимость теплопроводности от давления, что соответствует экспериментальным данным. В области высоких и сверхвысоких давлений нужно учитывать эту зависимость. Это приводит к соотношению

$$\lambda = K \frac{P}{d + \vartheta P}, K = const, d = U - TS. \quad (19)$$

Схематически вид функции (19) показан на рисунке 5. Кривая имеет максимум, определяемый из условия

$$\frac{\partial \lambda}{\partial P} = 0, \frac{\partial \lambda}{\partial P} = \frac{d}{(d + \vartheta P)^2} = 0, d = 0, U = TS.$$

Таким образом, для скорости ударной волны мы получаем следующее уравнение:

$$v(r, t) = 7,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{T}{cG^0} \frac{RJ_1(\lambda_0 R)}{\sqrt{\pi t}}. \quad (20)$$

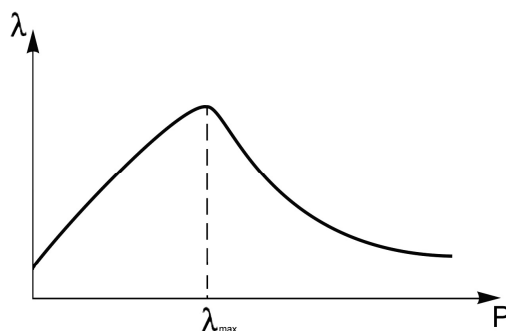


Рисунок 5. Зависимость коэффициента теплопроводности от давления

Уравнение (20) определяет непосредственную связь параметров взрыва со свойствами горных пород и минералов (через энергию Гиббса). Поскольку взрывное воздействие ВВ на горную массу пропорционально kv^2 , где k — КПД взрыва, то величину заряда нужно выбирать исходя из величины G^0 . Чем больше по абсолютной величине энергия Гиббса горных пород и минералов, тем большую мощность должно иметь взрывчатое вещество. Экономически это приводит к малой эффективности взрывных работ. В таблице 2 представлены данные по энергии Гиббса золотосодержащих минералов [11]. Здесь, без большой ошибки, принято $G^0 \approx |-\Delta G^0|$.

Т а б л и ц а 2

Энергия Гиббса основных золотосодержащих минералов месторождений Казахстана

Минерал	$-\Delta G^0$, кДж/моль	Минерал	$-\Delta G^0$, кДж/моль
Галенит	3132	Халькопирит	178490
Арсенопирит	109500	Сфалерит	203570
Висмутин	152900	Гематит	741700
Пирит	162000	Кварц	855690

В Казахстане объектами добычи являются месторождения Бакырчик, Васильковское, Большевик и др. Золото преимущественно связано с пиритом и арсенопиритом, в свободном состоянии отмечается редко. Комплексные золотосодержащие месторождения представлены массивными пирит-халькопиритовыми, пирит-халькопирит-сфалерит-галенитовыми рудами.

Золото — кварц — сульфидные месторождения Казахстана классифицируются как наиболее упорные руды. Для них характерны наиболее высокий коэффициент крепости, равный 23 (по шкале Протодьяконова), и низкая площадь трещинной пустотности — от 2 до 7,5 %.

Действительно, в соответствии с формулой (20) эффективность дробления золото — кварц сульфидных руд значительно ниже, чем перечисленных выше. В связи с этим большинство месторождений упорных руд (а их в Казахстане около 65 %) пока не разрабатывается.

Заключение

Суммируя результаты проведенных исследований, можно сделать следующие основные выводы:

– предложена модель буровзрывной скважины в рудной массе штабеля кучного выщелачивания и определена структура поля касательных напряжений;

– предложено выражение для модуля объемной пластической деформации рудной массы, параметры которого являются некоторыми функциями интенсивности деформаций сдвига. Это выражение в общем случае отражает процесс разрыхления рудной массы. Развитие этого процесса, в свою очередь, зависит от значений σ и e_i ;

– предложена модель радиального взрывного воздействия на рудный штабель. Получена связь параметров взрыва со свойствами горных пород и минералов.

References

- 1 *Tursunbaeva A.K., Portnov V.S. et al.* Thermodynamics of crushing of ore at compact leaching metals. Parts I-III // Bulletin ENU named after L.N.Gumilev. Naturally-engineering science. — 2010. — № 4 (77). — P. 49–80.
- 2 *Norov Yu. D., Chemetova P.A.* Chisel explosive works. — Tashkent: Fan, 2005. — 220 p.
- 3 *Selivanov V.V., Novikov S.A., Kobylkin I.F.* Explosive of technology. — Moscow: MGTU named after Bauman, 2008. — 648 p.
- 4 *Norov Yu. D., Turaev A.S., Kodirov F.A.* Physical and chemical methods of easing of durability of rocks. — Tashkent: Fan, 2007. — 224 p.
- 5 *Sobolev G.A., Ponamarev A.V.* Physics of earth quakes and harbingers. — Moscow: Nauka, 2003. — 270 p.
- 6 *Sobolev G.A.* Bases of the forecast of earth quakes. — Moscow: Nauka, 1993. — 313 p.
- 7 *Vorobev A.E., Portnov V.S. et al.* Infiltration the cyanic a solution through porous ore. I. The general consideration // The International magazine applied and basic researches. — 2010. — № 7. — P. 82–88.
- 8 *Kutuzov B.N.* Method of conducting explosive works. P. 1. Destruction of rocks by explosion. — Moscow: Mountain book, 2009. — 471 p.
- 9 *Kuznezov V.M.* Mathematical models of explosive business. — Novosibirsk: Nauka, 1977. — 267 p.
- 10 *Portnov V.S., Tursunbaeva A.K., Puzeeva M.P. et al.* Thermodynamics and heat conductivity of minerals // Regional bulletin of the East. — 2009. — № 2. — P. 14–18.
- 11 *Bulah A.G., Bulah K.G.* Physical and chemical properties of minerals and components of hydrothermal solutions. — L.: Nedra, 1978. — 167 p.

А.К.Тұрсынбаева, В.С.Портнов, Р.К.Қамаров, А.Д.Маусымбаева

Металдарды үйімді сілтілеу кезінде кенді қатарға жарылыстың әсері

Жанама кернеулер өрістің құрылымы анықталған және үйімді сілтілеу қатардың кенді массасында бұрғылап жару ұңғыма моделі жасалған. Жылжымалы деформацияларының қарқынды функцияларының кейбір параметрлері болып табылған кенді массасының көлемді пластикалық деформация модулі үшін өрнек ұсынылған. Бұл өрнек кенді массаның қосыту процесін қамтып көрсетеді. Кенді қатарларға радиал жарылысты талқандайтын әсер моделіне ұсыныс берілген. Зарядтың қажетті қуатын және қиратушы толқынның параметрлерін есептеуге болатын резонанстық жиіліктің мәні алынды. Бұрғылау, жару жұмыстары кезінде үйімді сілтілеу қаттамасының рудалық массасының түрін өзгертудің алынған моделі бұрғылау, жару ұңғымаларының жоспарын оңтайландыру және оқтау шамасын қолайлы таңдау мүмкіндігін береді.

A.K.Tursunbayeva, V.S.Portnov, R.K.Kamarov, A.D.Mausymbayeva

Explosion influence on an ore stacks at compact leaching of metals

In work the model of a chisel explosive chink in ore weight of a stack compact leaching is offered and the structure of a field of tangents of pressure is defined. Expression for the module of volume plastic deformation of the ore weight which parameters are some functions of intensity of deformations of shift is offered. This expression generally reflects process of loosening of ore weight. The model of radial explosive influence on an ore stack is offered. Value of resonant frequency is received, knowing which it is possible to calculate parameters of a shock wave and capacity of a necessary charge.

В.С.Харьковский¹, В.М.Плотников², Н.А.Дрижд¹, Н.Х.Шарипов¹,
К.С.Какенов², Е.В.Комлева¹, А.В.Харламова¹

¹Карагандинский государственный технический университет;
²Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза (E-mail: satu55@mail.ru)

К вопросу о методике оценки опасностей и аварийности технологических процессов

В статье предлагается авторская методика оценки опасностей и аварийности технологических процессов, проверенная на основе данных шахт Карагандинского региона. Показано, что динамика числа аварий и их повторяемость подчиняются закону косинусоиды. На основе анализа расчетных зависимостей и конкретных расчетов параметров опасных событий для различных исходных данных сделан вывод о наличии нелинейной связи между величинами частот опасных ситуаций и опасных событий. Предлагаемая методика пригодна для инженерных расчетов и прогноза. Правильность теоретических предпосылок подтверждена экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: технологический процесс, аварийность, методика оценки опасности, закон косинусоиды, нелинейная связь, частота опасных ситуаций.

Безопасность труда в промышленности достигается путем осуществления комплекса мероприятий на основе технического перевооружения отрасли, широкого внедрения средств комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, снижения трудоемкости работ, повышения уровня обученности работающих при ведении технологических процессов, что отвечает требованиям МОТ и национальной политике РК в области безопасности и охраны труда. Поскольку главным объектом охраны труда является безопасность работника, то необходимо рассмотреть исполнительную деятельность оператора по планируемым и фактическим показателям техногенного риска технологического процесса и операций.

Данный критерий определяет меру опасности и характеризует возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий. Следовательно, количественные и качественные параметры безопасности труда целесообразно выразить математическим ожиданием ущерба при функционировании производственного объекта.

Теория и практика оценки антропогенных производственных факторов позволяют констатировать, что вероятностные методы обосновывают оптимизацию предлагаемых мер безопасности и применимы в инженерных расчетах [1–4]. К основным критериям оценки относят коэффициент частоты, коэффициент тяжести и коэффициент потерь [4].

Существующие наработки по обеспечению безопасности работ в техносфере позволяют выделить три области, которые определяют условия труда на производстве: степень совершенства технологических решений принятых инженерных разработок, исполнительная деятельность работника, техническое состояние машин и агрегатов. С позиции теории множеств совместная область, характеризующая фактическую производственную безопасность объекта, определяется коэффициентом производственной безопасности (надежности системы), рассчитываемым по следующей зависимости [3]:

$$Кб = Кп.р \cdot Ки.Д \cdot Кб.м., \quad (1)$$

где Кб — коэффициент производственной безопасности; Кп.р — коэффициент соответствия проектных решений принятых инженерных разработок; Ки.Д — коэффициент исполнительской деятельности работников; Кб.м — коэффициент технической безопасности машин и установок технологического цикла.

Противоположная величина надежности работы системы является риском, который характеризует меру опасности:

$$R = 1 - R_T. \quad (2)$$

Поскольку риск — это образ действия в условиях неопределенности [5], то меру опасности следует производить с помощью показателей [6]:

- прогнозируемого ущерба;
- степени вывода из проектного состояния промышленного объекта;
- ожидаемого объема потерь хозяйствующими объектами выпускаемого товара.

При рассмотрении данных критериев как количественной оценки опасности в качестве признака идентификации необходимо рассматривать временной интервал простоя объекта или возможные материальные потери.

Риск следует понимать как величину вероятности опасного события или как удельную частоту опасного события по отношению к единичному объекту исследуемой техногенной сферы или к объектам опасности (к человеку или к фиксированной группе людей). Для отдельного человека важным является оценка риска за период трудового стажа (масштаб времени) в данном производстве. Мету безопасности можно оценить устойчивостью объектов и субъектов к опасным событиям — надежностью оценки исполнения обязанностей, оговоренных трудовым договором.

Возникновение чрезвычайных ситуаций обусловлено наличием остаточного риска. В соответствии с концепцией остаточного риска абсолютную безопасность обеспечить невозможно. Поэтому принимается такая безопасность, которая может обеспечить безопасность производства на данном этапе развития функционирования предприятия. Вероятность (P) наступления определенного сочетания нежелательных событий определяется выражением

$$R = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (3)$$

При этом величина приемлемого риска характеризует:

- а) надежность оборудования, процесса и обслуживающего персонала;
- б) возможность возникновения нештатных аварийных ситуаций;
- в) наличие и совершенство мониторинга;
- г) предупреждение и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций.

Анализ накопленной информации по статистике аварий свидетельствует, что динамика их числа и повторяемость подчиняются закону косинусоиды и представлена в виде трех компонент [1, 2]:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n j_i f_i(t) + \sum_{j=1}^n j_j f_j(t) + \sum_0^n j_0 f_0(t), \quad (4)$$

где i, j, θ — индексы, которые относятся к рассматриваемым критериям допустимого (приемлемого) риска на стадии приработки, проектной эксплуатации, износа. Основной характеристикой признака безаварийного функционирования системы является вариация, которая характеризуется отношением среднеквадратичного отклонения к математическому ожиданию, т.е:

$$\text{var}(t) = \frac{\sqrt{D}}{\bar{x}},$$

где D — дисперсия признака; \bar{x} — математическое ожидание (среднее значение наблюдаемого признака).

Системный подход к концепции формирования происшествий в сфере безопасности с учетом количества объектов или субъектов по спектрам их категорий представляется следующим образом [3]:

- а) работа системы

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

где $e^{-\lambda t}$ — риск (надежность) работы; λ — интенсивность; t — время регистрации отдельного события;

- б) стационарность процесса (принцип неопределенности Гренандера)

$$\lambda t = \text{const}; \quad (7)$$

- в) разделение процесса на уровни (процессы) функционирования

$$\kappa = 1-3,321 \text{gn}; \quad (8)$$

- г) вероятность проявления определенного признака

$$P_A(t) = \frac{M(x)}{D(x)}, \quad (9)$$

где $P_A(t)$ — вероятность анализируемого события; $M(x)$ — математическое ожидание.

Выделение аномального значения определяется как

$$\tau = |x_i| - M(x) / \sqrt{D_x},$$

$$\tau \leq \tau_{h-p}$$

где x_i — предельный элемент выборки; τ_{h-p} — табличное значение, вычисленное при доверительной вероятности (p — процентная точка нормированного выборочного отклонения).

Табличное значение доверительной вероятности принимается из условий числа степеней свободы анализируемого массива исходных данных и того, что значения прогнозируемых квантилей находятся в пределах 0,001. Применительно к условиям, когда аварийная ситуация разбита на 8 катего-

рий, что отвечает правилу Штюргеса, критериальное число составляет 6,859, что соответствует условиям современной концепции безопасности [4, 7].

Анализ расчетных зависимостей и конкретные расчеты параметров опасных событий для различных исходных данных приводят к некоторым общим выводам о связи между величинами частот опасных ситуаций и опасных событий. Между этими явлениями имеется нелинейная связь, которая существенно зависит от вида опасностей и прогнозируемого ЧП.

Доминантой всего подхода к вероятностной составляющей является регулирование зависимости и вероятности ущерба, которое требует конкретных прогнозных значений. Как показали проведенные исследования, коррекцию можно провести, используя формулу Байеса, которая позволяет произвести переход от аварийной ситуации к оценке общей вероятности события [1] и характеризует связь между ситуациями как экспоненциальную и гиперболическую, что подтверждено конкретными данными для ряда отраслей хозяйствования. При этом коррекцию перехода к иному масштабу анализа качественной характеристики аварийности следует производить как декремент функции затрат, а количественная характеристика анализируемого класса уточняется показателем математического ожидания на начальный период функционирования и старения. Коррекция обязательна при риске профессиональной патологии более 0,01, а также изменении стажа операторов по отношению к оптимальному с учетом поправок на фактическое состояние тяжести и напряженности труда (ССБТ, ГОСТ 12.1.005).

Приведенные закономерности позволяют спрогнозировать масштабность техногенной чрезвычайной ситуации на основе периодичности событий их возникновения и возможного экономического ущерба (см. табл.).

За основу взяты сведения о масштабности ЧС, представленные в Интернете (www.CATALQG.Ajaon.kz), а вероятность риска рассчитана на основе принципа неопределенности Гренандера и предложенной нами закономерности.

Т а б л и ц а

Сведения о масштабности ЧС техногенного характера

Масштаб чрезвычайной ситуации	Периодичность возникновения	Продолжительные последствия		Вероятность риска
		Экономический ущерб, долл. США	Количество пострадавшего населения, чел.	
Глобальный (планетарный)	Чрезвычайные ситуации техногенного характера, кроме полномасштабной мировой войны, неизвестны			$1,8 \cdot 10^{-10}$
Транснациональный (межгосударственный, континентальный)	30–40 лет	1–10 млрд.	10 тыс.–2 млн.	$2 \cdot 10^{-10}$
Национальный	10–15 лет	100 млн.–1 млрд.	1–100 тыс.	$7 \cdot 10^{-10}$
Межрегиональный	5–18 лет	До 100 млн.	До 50 тыс.	$7 \cdot 10^{-10}$
Региональный	1–5 лет	10–100 млн.	1–10 тыс.	$3,6 \cdot 10^{-9}$
Местный	1–6 месяцев	1–10 млн.	10–1000	$1 \cdot 10^{-8}$
Объектный	1–30 дней	100 тыс.–1 млн.	1–100	$2 \cdot 10^{-6}$
Локальный	Ежедневно	До 100 тыс.	До 10	$6 \cdot 10^{-3}$

Корректировка вероятностей риска произведена с учетом масштабности чрезвычайных ситуаций техногенного характера оценкой на основе кривой Фармера, что позволяет принять ее в качестве математического ожидания рассматриваемого класса для любых отраслей хозяйствования и соответственно оценить уровень масштабности ЧС на предприятии на основе сведений по показателям травматизма, тяжести и потерь с учетом экономических затрат на мероприятия по охране труда.

Особенностью аварийности технологических процессов и процессов травматизма является то, что характеристики описываются как функции времени, при этом определенная группа вероятностных характеристик инвариантна во времени, т.е. является характеристикой данного периода.

Это позволяет рассматривать анализируемые явления как стационарные, с использованием их эргодических особенностей, заключающихся в том, что вероятностные характеристики могут быть

получены с вероятностью, близкой к единице, в результате операции усреднения по одной реализации при достаточно большой длительности отрезка времени.

Среднее значение случайного процесса по ансамблю реализаций характеризуется его математическим ожиданием, которое для стационарных процессов не зависит от времени и представляет постоянное число. Дисперсия для стационарного эргодического случайного процесса является также постоянным числом. Необходимо отметить и тот факт, что для стационарных и эргодических случайных процессов корреляционная функция может быть определена по одной реализации процесса [2].

Рассматриваемые явления аварийно-технологического процесса представляют редкие события. Функциональная зависимость, описывающая анализируемое событие, представляет экспоненту и отвечает условиям распределения Пуассона.

Принцип неопределенности Гренандера постоянными значениями анализируемого частотного ряда можно представить следующим образом:

$$\Delta f T = \text{const}, \quad (10)$$

принимая во внимание, что ожидаемая среднеквадратичная ошибка измерения спектральной плотности полосы спектра определяется величиной

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2T\Delta f_{\text{эн}}}}, \quad (11)$$

где T — средняя наработка на отказ; Δf — частотность; $\Delta f_{\text{эн}}$ — частотность, эквивалентная полосе избирательного фильтра.

Принцип неопределенности Гренандера характеризуется постоянной, равной дисперсии измерений или наблюдений, которая определяет условия принятия эксперимента к рассмотрению или оценки аварийного состояния:

$$A = \frac{1}{2\varepsilon^2}, \quad (12)$$

т.е. применительно к полосе исследования спектра погрешность оценки аварийности является ее константой, определяемой условиями ведения технологического процесса.

Для начального участка (условия формирования опасности) оценку зависимости периода приработки можно оценить математическим ожиданием, представляющим собой среднеарифметическое значение рассматриваемого временного участка, соответствующее прогнозной продолжительности наработки на отказ периода:

$$m^* = \frac{1}{2}[x(0) + x(T)], \quad (13)$$

где m^* — математическое ожидание данной величины. Временной параметр формирования чрезвычайной ситуации определяется отношением [2]

$$\frac{F(x)}{F'(x)} \approx T, \quad (14)$$

где $F(x)$ — функция и ее соответствующие производные, что соответствует

$$\frac{F'(x)}{F''(x)} \approx T. \quad (15)$$

При условии правильности оценки временного периода анализируемого явления

$$\frac{F(x)}{F'(x)} \approx \frac{F'(x)}{F''(x)}. \quad (16)$$

Применительно к рассматриваемым вероятностным значениям анализируемых процессов вероятность определяется как отношение квадрата плотности распределения значений массива к его дисперсии (к квадрату среднеквадратичного отклонения).

Мерой точности для зависимости (16) является условие определения оценки второй производственной функции, поскольку, согласно неравенству Каши, имеем [2]:

$$\|f\| = \sqrt{\int_a^b f^2(x) dx}, \quad (17)$$

где $\|f\|$ — норма функции, которая оценивается, согласно теории статистики, фиксированным значением среднеквадратичного отклонения.

Как и любой стахиостатический процесс, техногенная ситуация подлежит оценке ее воздействия на рабочее пространство, оператора и требует определенной коррекции при ее рассмотрении, что позволяет воспользоваться методом декомпозиции (разбиения) анализируемого процесса на зоны упреждения, ожидания и глобального усреднения, которые определяют ее как тяжесть труда, травматизм, аварийность. Данные факторы зафиксированы как в отечественных, так и в зарубежных исследованиях и увязываются со снижением производительности труда, аварийностью и травматизмом. Так, федеральное законодательство США требует учета возможности травматизма по косвенным факторам, в том числе по снижению производительности труда. В странах СНГ большинство аварий трех категорий представляет нарушения технологического процесса, связанные с количеством и качеством выпускаемой продукции:

I. чрезвычайная ситуация, сопровождающаяся применением защитных устройств, индивидуальных защитных средств, не снижающих производительности труда. Ее можно отнести к зоне упреждения стахиостатического процесса, и решение сводится к управлению техпроцессом;

II. зона аварийности (зона чрезвычайного происшествия) соответствует ожиданию стахиостатической ситуации, что отвечает условиям травматизма и аварийности, сопровождающейся катастрофическими последствиями;

III. зона катастроф соответствует максимальным нарушениям условий труда, связана с максимальными нарушениями технологического процесса и сопровождается людскими, материальными и финансовыми потерями. Данная зона соответствует условиям зоны глобального усреднения.

Аварийность целесообразно описывать распределением Юла-Фарри, имеющим следующий вид при $n = 1, 2, 3$:

$$P_n(T) = \{e^{-\lambda\tau(1-e)^{(-\lambda\tau)^{n-1}}}\} \quad (18)$$

Поскольку степень нарушения технологического процесса выражается по абсолютной величине долей ее отклонения от прогнозного значения, то вероятность этого события, согласно правилу Чебышева, оценивается соотношением

$$P\left|(x - m) < \varepsilon\right| \geq 1 - \frac{D}{\varepsilon^2} \quad (19)$$

Следовательно, ошибки интерполяции участка определяются соотношением

$$\varepsilon^2 = (\text{var})^2 = \frac{\|f\|^2 - m^2}{(m')^2} \quad (20)$$

и выражают предельную вариацию признаков исследуемого явления (события) или оценочный уровень сертификации (надежности события) [1, 6].

Полученные закономерности являются зависимостями расчета параметров риска проведения технологических процессов по их аварийности и характеризуют надежность функционирования технической системы.

Проверку приведенной методики мы провели на основе данных травматизма шахт Карагандинского бассейна. Из 330 несчастных случаев 30 сопровождались серьезными повреждениями, в том числе один представлял тяжелый случай. И это свидетельствует, что шахты Караганды, с учетом срока их эксплуатации, работают в режиме деградации.

Наличие или комбинация трех факторов в течение этого периода могут привести к катастрофическим последствиям, о чем свидетельствуют сведения о степени тяжести воздействия, определенные на основании пирамиды Дюпоне [5].

Все это позволяет констатировать, что предлагаемая методика пригодна для инженерных расчетов и прогноза.

References

- 1 Gnedenko B.V., Belyaev U.K., Solovov A.D. Mathematical methods are in the theory of reliability. — Moscow: Nauka, 1965. — 524 p.
- 2 Mirskii G.Y. Apparatus determination of descriptions of casual processes. — Moscow-L.: Energy, 1967. — 432 p.
- 3 Kharkovskii V.S., Plotnikov V.M. et al. Application of methods of theory of chances and theory of reliability in calculations on determination of parameters of traumatism and degree of dangers on the objects of management // Materials second International

scientifically to the practical conference «World scientific potential-2005». Engineering sciences. — Dnipropetrovsk, 2005. — Vol. 17. — P. 28–33.

4 *Kharkovskii V.S., Plotnikov V.M. et al.* Authentication of risk with the purpose of determination of expense terms on insurance of workers of enterprise // Risks in the modern world: identification and defence. Materials of VIII of the International scientific reading of the International academy of sciences of ecology and safety of vital functions. — S-Pb, 2004. — P. 2–35.

5 *Kharkovskii V.S., Demin V.F., Demina T.V.* To the question of determination of statistical indexes of spectrum of descriptions of casual processes on the basis of traumatism // Materials second International scientifically to the practical conference «World scientific potential-2005». Engineering sciences. — Dnipropetrovsk, 2005. — Vol. 17. — P. 50–52.

6 Methodical guidance as evaluated by a degree on main oil pipelines. Leading document of \ Scientifically technical center on safety in industrial State supervision of Russia. Version 27. Declaration of industrial safety and risk estimation. Producing 1. — Moscow: State enterprise, 2000. — 95 p.

7 *Klebanov F.S.* About modern conception of safety. — Moscow: MSTU, 2002. — P. 191–196.

В.С.Харьковский¹, В.М.Плотников², Н.А.Дрижд¹, Н.Х.Шәріпов¹,
К.С.Какенов², Е.В.Комлева¹, А.В.Харламова¹

Технологиялық процестердің апаттылығын және қауіптілігін бағалау әдістемесі туралы сұрағына

Мақалада Қарағанды өңіріндегі шахталардың деректер негізінде тексерілген технологиялық үдерістердің апаттылығы мен қауіптерді бағалаудың авторлық әдістемесі ұсынылады. Онда апаттар санының серпіні мен олардың қайталанғыштығы косинусоида заңына бағынышты екендігі көрсетілген. Әр түрлі бастапқы деректер үшін есептелген тәуелділіктер мен қауіпті оқиғалардың нақты параметрлерін (көрсеткіштерін) талдау негізінде қауіпті ахуалдар мен қауіпті оқиғалардың жиілік шамалары арасындағы сызықсыз байланысының бар екендігі туралы қорытынды жасалған. Ұсынылған әдістеме инженерлік есептеулер мен болжамдар үшін пайдалы. Теориялық алғышарттардың дұрыстығы тәжірибелік зерттеулер нәтижелерімен дәлелденді.

V.S.Kharkovsky¹, V.M.Plotnikov², N.A.Drizhd¹, N.H.Sharipov¹,
K.S.Kakenov², E.V.Komleva¹, A.V.Harlamova¹

To the question about methodology of estimation of dangers and accident rate of technological processes

The authorial methodology of estimation of dangers and accident rate of technological processes, tested on the basis of these mines of the Karaganda region, is offered in the article. It is shown that the dynamics of number of accidents and their repetition submit to the law of cosine. On the basis of analysis of calculation dependences and concrete calculations of parameters of hazardous occurrences for different basic data a conclusion is done about the presence of nonlinear connection between the sizes of frequencies of near-accidents and hazardous occurrences. The offered methodology is suitable for engineering calculations and prognosis. The rightness of the theoretical premises was confirmed by the experimental researches.

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

ӘОЖ 53 (075.3) Я

А.Қ.Нұрбай¹, Қ.Р.Кенжеғали², Э.Қ.Мүсенова³, Б.Р.Нүсіпбеков³

¹ № 66 Орта білім беру мектебі, Қарағанды;

² № 100 Орта білім беру мектебі, Қарағанды;

³ Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

Физика пәні сабағында электрондық оқулықтарды қолданудың тиімділігі

Мақалада оқу үдерісін ақпараттандыру мәселесі қарастырылады. Авторлардың бірімен әзірленген электрондық оқулықтың мысалында орта мектепте және жоғары оқу орындарында компьютерлік технология өнімдерін қолданудың әдістемесі мен техникасы сипатталады. Жалпы алғанда, электрондық оқулықтардың негізгі бағдарламаларын, дәріс материалдарының бөлімдері, дидактикалық материалдар, зертханалық жұмыстар, көрсетілімдік тәжірибелердің, өзін-өзін бағалауға арналған тест тапсырмаларының және глоссарийді қолданудың әдістемесі келтірілген. Оқулықты қолдану тақырыптық жоспарда келтірілген барлық тапсырмаларды шапшаң орындауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: электронды оқулық, компьютерлік технологиялар, дидактикалық материалдар, зертханалық жұмыстар, физикалық эксперимент, ақпарат.

Қазақстан Республикасының алға қойған негізгі саясаты ол білімді, өмірге бейім және шығармашылық деңгейі жоғары дара тұлғаны тәрбиелеу болып табылады.

Оқытудың компьютерлік технологияларын жасау және білімді ақпараттандыру мәселесі педагогикалық ғылымның алдында тұрған келелі көкейкесті мәселелердің бірі. Осыдан оқытуды автоматтандырудың ең қолайлы тәсілі электронды-есептеуіш машинаны қолдана отырып оқушының білім деңгейін арттыру, көп мәселелердің түйткілді шешімін табары сөзсіз.

Сабақ өткізу және материалдарды толыққанды игеру барысында электрондық оқулықтарды пайдалану оқушылардың пәнге деген қызығушылығы мен танымын арттырып қана қоймай, логикалық тұрғыдан бірегей ойлау қабілетін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Бәрімізге белгілі, білім беру саласының кез келген деңгейінде оқытушының берген дәрістерін немесе қажетті оқулықтың шеңберінен шықпау, осы инновациялық кездің талаптарын толық қанағаттандырмайтыны сөзсіз. Сондықтан аталмыш физика пәні бойынша қосымша электрондық оқулықтарды қолданбай алға жылжу мүмкін емес. Көптеген тыңдарман қоршаған ортаны негізгі сезім мүшелері (есіту — 8,5 %, көру — 89 % және сезу — 2,5 %) арқылы танып-біледі, бірақ та оқушының қабылдау деңгейі сәйкесінше әр түрлі. Осы мәліметтерге сәйкес, көру жүйесі аталған сезім мүшелерінің ішіндегі ең жетік, үздік дамығаны болғандықтан, электрондық оқу құралын пайдалану, пәнді игеру дәрежесін арттыруға әкеледі.

Осындай талап оқушының білімінің сапалылығын арттырып қоймай, сонымен қатар мектептің техникалық материалдық базасының терең жабдықтауда көмегін тигізері айдан анық болады. Облыстың, ауданның және ауылдың мектептері заманауи әрі қажетті электрондық оқулықтармен, интерактивті тақтамен және мультимедиялық кабинеттермен жабдықталса, балалардың білімін арттырып қоймай, сонымен қатар жаңашылдықты үйренуге итермелеуі мүмкін.

Осыны ойда саралай отырып, жоғары оқу орнында өткізілетін пәннің, мектептегі жүргізілетін пәнмен тікелей байланыстыратын «Мектептегі эксперимент техникасы» сабағына арналған электрондық оқулық жасалды. Енді осы оқулықтың ерекшеліктеріне тоқталып өтейік.

Бұл пәннің ерекшелігі, ол мектеп физика курсындағы басты мәселелерді тәжірибелік тұрғыда түсіндіруге мүмкіндік береді, оның ішінде физикалық құбылысты бақылау үшін өлшеуіш аспаптарымен физикалық шамаларды өлшеу; физикалық шамалардың арасындағы сандық байланыстарды тағайындау; физикалық тұрақтыларды анықтау; техникалық құрылғылармен және басқа да аспаптармен таныстыру болып табылады.

«Мектептегі физикалық эксперимент техникасы» пәнін оқытуға арналған электрондық оқулықты құрастыру екі кезеңнен тұрды: біріншіден, оқу жоспарының көшірмесі қарастырылса, ал екіншіден, пәннің тақырыптық жоспары ескеріледі.

Дайындалған электрондық оқулықтың құрамына титулдық бет, басты бет, теориялық материалдар, зертханалық жұмыстар, тест тапсырмалары, ұсынылған әдебиеттер тізімі, глоссарий енгізілген.

Ұсынылған оқулықтың қажетті бөлімдерімен жұмыс жасау тәртібіне тоқталып өтейік.

1. Титулдық бетте электрондық оқулықтың шығу мәліметтерімен танысуға болады.
2. Титулдық бетте орналасқан оқулық атауын тышқанның оң жақ батырмасын шерткенде басты бет шақырылады. Басты бетте оқулықтың мазмұны орналасқан (1-сур.).

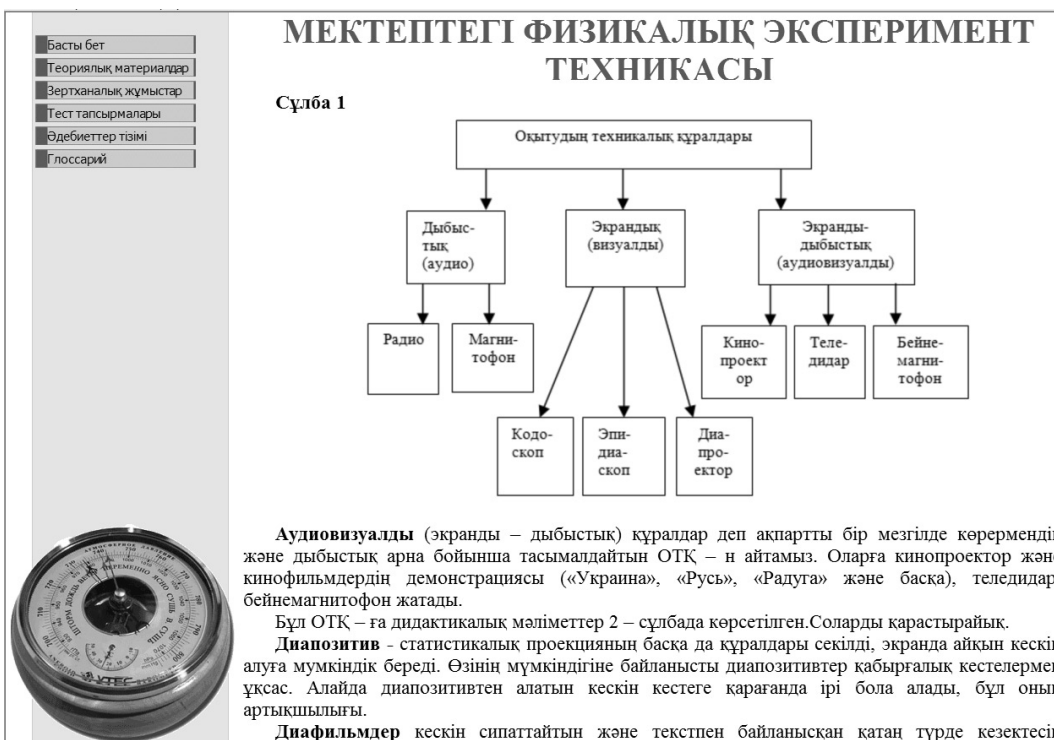


1-сурет. Оқулықтың мазмұны

3. Мазмұнда орналасқан «Теориялық материалдар» батырмасын басқанда дәрістер тізімі шығады (2-сур.). Дәрістер тізімінен қажетті тақырыппен танысуға болады. Ол үшін тандаған тақырыпты тышқанның оң жақ батырмасымен шақырамыз. Мысалы, оқулықтағы ұсынылған тақырыптарға сілтеме жасай отырып, олардағы қажетті материалдар ашылады (3-сур.).



2-сурет. Дәрістер тізімі



3-сурет. Дидактикалық мәліметтер

4. Мазмұнда орналасқан «Зертханалық жұмыстар» батырмасын басқанда жұмыстардың тізімі шығады. Әрбір тізім келесі бөлімдерден тұрады: «Аспаптардың сипаттамалары», «Тапсырмалар» (4-сур.). Осы бөлімдерде зертханалық жұмыста қарастырылатын барлық аспаптардың қызметі, құрылысы, негізгі техникалық параметрлері сипатталған және сол аспаптың көмегімен қойылатын көрсетілімдердің әдістемелік нұсқауларымен таныса аламыз.

- Басты бет
- Теориялық материалдар
- Зертханалық жұмыстар
- Тест тапсырмалары
- Әдебиеттер тізімі
- Глоссарий

МЕКТЕПТЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

Зертханалық жұмыс №1. Өлшеуіш аспаптар
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)

Зертханалық жұмыс №2. Электр өлшеуіш аспаптары және электр тогының көздері
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)


Зертханалық жұмыс №3. Жарық көздері
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)

Зертханалық жұмыс №4. Проекциялық аппараттар
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)

Зертханалық жұмыс №5. Молекулалық физиканың негізгі жабықтықтары
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)

Зертханалық жұмыс №6. Генераторлар мен осциллографтар
[Аспаптардың сипаттамалары](#)
[Тапсырмалар](#)

[БАСТЫ БЕТ](#)




4-сурет. Зертханалық жұмыстардың тақырыптары

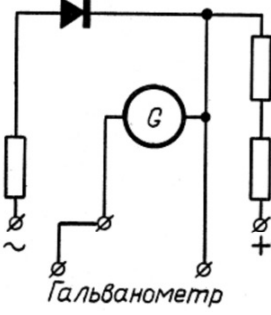
Мысалға, оқулықтың № 2 нұсқасынан, «Аспаптардың сипаттамалары» бөлімінен демонстрациялық амперметр таңдалса (5-сур.), ал «Тапсырмалар» бөлімінен демонстрациялық амперметр мен электрротацциялық сорапқа қатысты материал шақырылды (6-сур.).

- Басты бет
- Теориялық материалдар
- Зертханалық жұмыстар
- Тест тапсырмалары
- Әдебиеттер тізімі
- Глоссарий

МЕКТЕПТЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

орналасқан. Түстері бірдей үш қысқыш жоғарғы қатарда, ал екі бірдей түсті қысқыштар төменгі қатарда орналастырылған.
 Аспаптың артқы жағында корректор және арнайы жылжымалы қорапша орналасқан.






Гальванометр

Сурет 2.10

Демонстрациялық амперметр магнитоэлектрлік жүйелі электр өлшеуіш аспаптарға жатады. Ол тұрақты және айнымалы ток тізбектеріндегі ток күшінің мәнін 0 ... 3 және 0 ... 10 А шекте өлшеуге, сонымен қатар ток сезгіш гальванометр ретінде ток пен оның бағытын анықтауға арналған.

Аспаптың жалпы түрі және принципалды сұлбасы 2.10-суретте келтірілген. Аспаптың үш алынбалы шкаласы (олардың екеуі екіжақты) және екі шунты бар. Шкалалар аспап қақпағының арнайы саңылауларында, ал шунттар аспаптың арнайы жылжымалы қорабшасында орналасады. Аспап тілшесін нольге келтіру үшін арнайы корректормен қамтылған. Ол аспап корпусының артында орналасқан.

Тұрақты және айнымалы токтарды өлшеген кезле бірдей шунттар қолданылады.



5-сурет. Демонстрациялық амперметр

- Басты бет
- Теориялық материалдар
- Зертханалық жұмыстар
- Тест тапсырмалары
- Әдебиеттер тізімі
- Глоссарий


МЕКТЕПТЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

тұйықтаймыз. Реостаттың кедергісін өзгерте отырып, магазиннің қысықтарындағы кернеулерді 3 В етеміз (вольтметрдің барлық шкаласы). Осы кезде амперметр 1,5 А көрсетеді.

Солдай дайындалған қондырғыны қолданып демонстрацияны бастаймыз: ток жіберіп, кернеуді және ток күшін өлшейміз. Одан әрі ток көзінің реттегішін баппен бұрай отырып, кернеуді азайтамыз амперметр мен вольтметрдің көрсетулерін әрдайым төмендегі кестеге түсіріп отырамыз

R=const	
Ток күші I, А	Кернеу U, В

Өлшенген нәтижелер мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік береді: тізбектің бөлігіндегі ток күші оның ұштарындағы кернеуіне тура пропорционал ($I \sim U$).



Сурет 4

Содан кейін ток күшінің тізбектің бөлігінің кедергісіне байланыстылығын анықтау үшін екінші тәжірибе жасалады. Ол үшін магазинді 4 Ом-ға қойып, реостат арқылы бұл бөліктегі кернеуді 2 В-ке жеткіземіз. Бұл жағдайда амперметр 0,5 А көрсетеді. Бұдан кейін магазиннің

6-сурет. Демонстрациялық амперметр

5. Мазмұнда орналасқан «Тест тапсырмалары» батырмасын басқанда қажетті нұсқада жасалған тапсырмалардың тақырып бойынша тізімі шығады (7-сур.) және әрбір нұсқада он сұрақтан тұратын тест тапсырмалары бар.

- Басты бет
- Теориялық материалдар
- Зертханалық жұмыстар
- Тест тапсырмалары
- Әдебиеттер тізімі
- Глоссарий

МЕКТЕПТЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

ТЕСТ ТАПСЫРМАЛАРЫ

Тақырып 1. Өлшеуіш аспаптар
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

Тақырып 2. Электр өлшеуіш аспаптар мен ток көздері
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

Тақырып 3. Жарық көздері
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

Тақырып 4. Проекциялық аппараттар
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

Тақырып 5. Молекулалық физиканың негізгі жабдықтары
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

Тақырып 6. Осциллографтар мен генераторлар
[Нұсқа 1](#)
[Нұсқа 2](#)

БАСТЫ БЕТ

7-сурет Тест тапсырмалары

Тест нәтижесін білу үшін «Білім деңгейін көрсету» батырмасын басамыз. Осы кезде дұрыс жауаптардың жалпы саны, қай сұраққа дұрыс жауап берілгендігі және сәйкесінше баға туралы мәлімет аламыз. Сонымен қатар тестілеуді қайта бастау үшін «Басынан бастау» батырмасын қолдада аламыз.

6. Ұсынылған әдебиеттермен танысу үшін мазмұнда орналасқан «Әдебиеттер тізімі» батырмасын басамыз.

7. Мазмұнда орналасқан «Глоссарий» батырмасын басқанда пәнде оқып-үйренуге қажетті аспаптар туралы қысқаша түсініктемемен таныса аламыз (8-сур.).

Басты бет
Теориялық материалдар
Зертханалық жұмыстар
Тест тапсырмалары
Әдебиеттер тізімі
Глоссарий

Глоссарий

МЕКТЕПТЕГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

Глоссарий

Авометр (АВО-63) – ток күшін, кернеуді, кедергіні кең шекаралықта өлшеуге арналған электр өлшеуіш әмбебап құрал.

Әмбебап жартылай өткізгішті түзеткіш (ВУП-2) – радиотехникалық және демонстрациялық қондырғыларды кернеулері әртүрлі түзетілген электр тогымен қоректендіруге арналған аспап.

Әмбебап оптикалық отырғыш (ФОС) – горизонталь және вертикаль жазықтықтарда орналасқан әртүрлі құралдардың проекциясын демонстрациялау үшін қолданылатын проекциялық аппарат. Бұл аппарат микропроекциядағы тәжірибелерді, геометриялық және физикалық оптикадағы тәжірибелерді көрсетуге, сондай-ақ диапозитивті проекциялауға мүмкіндік береді.

Бакушинский динамометрі – $0,05\text{ Н}$ дәлдікпен 4 Н дейінгі күштің шамасын өлшеуге арналған аспап. Фронталдық зертханалық жұмыстарды және кейбір практикум жұмыстарын орындау кезінде қолданылады.

Барометр-анероид – атмосфералық қысымды өлшеуге арналған аспап. Барометр-анероидтың жұмыс істеу принципі атмосфералық қысым өзгерген кезде мембрананың анероидты қорапшаның деформациялану қасиетіне негізделген.

Вакуумдық Комовский сорғысы – ауаны $39,99\text{ Па}$ дейін сирету және $0,39\text{ МПа}$ -ға дейін толтыру үшін қолданылатын аспап.

Гидравликалық пресс – $15,2\text{ МПа}$ -да қысым кезінде көрсетілетін әр түрлі тәжірибелерді жасауда, материал үлгілерінің сығылуын, иілуін, материалдарды штамптау принципін, қысым астындағы мұздың еруін демонстрациялау үшін қолданылады. Әр түрлі қосымша құрылғылардың көмегімен гидравликалық пресс арқылы гидравлика заңдарын оқып үйренуде де пайдаланылады.

Гигрометр (металл гигрометр, шаш гигрометрі, психрометрлік гигрометр) – ауадағы су буларының қасиеттерін оқып-үйренуде шық нүктесін, ауаның салыстармалы ылғалдылығын анықтау үшін қолданылатын аспап.

Демонстрациялық амперметр – магнитоэлектрлік жүйелі электр өлшеуіш аспаптарға жатады. Ол тұрақты және айнымалы ток тізбектеріндегі ток күшінің мәнін $0 \dots 3$ және $0 \dots 10\text{ А}$ шекте өлшеуге, сонымен қатар ток сезгіш гальванометр ретінде ток пен оның бағытын анықтауға арналған.

8-сурет. Глоссарий

Сонымен, бұл ұсынылған оқулық қарапайым оқулықтарға тиімді көмекші болары айқын. Себебі тез арада қайтымды байланысты іске асырады; қарапайым оқулықтағы қажетті қосымша мәліметтерді электронды оқулықтардан тез арада табуға болады; күрделі мәтінді түсіндірмелерді өту барысында сабақ уақытын аса тиімді қолдануға көмектеседі.

Мектептік физикалық экспериментті қойған және өткізгенде техникалық және әдістемелік аспектілер көп орын алады. Физикалық аспаптың құрылысы мен құрылымын және оларды қолдана білу бұл физикалық эксперименттің техникалық мәселелері болып табылады. Ал нақты физикалық материалды оқып-үйрену үрдісінде физикалық тәжірибенің орнын анықтау, бақыланып отырған құбылысты түсіндіру, тәжірибеден ең көп ақпарат алу физикалық эксперименттің әдістемесіне жатады.

Орта мектеп физика курсы бойынша демонстрациялық тәжірибелерді өз бетінше қою және көрсету процесі кезінде мұғалім демонстрациялық экспериментті әдістемелік және техникалық тұрғыдан дұрыс қою шеберлігін, сонымен бірге демонстрацияның педагогикалық эффектісін ең жоғары дәрежеге жеткізу үшін қолданылатын негізгі әдістер мен тәсілдерді меңгереді.

Мемлекеттік тілдегі электрондық әдебиеттердің жеткіліксіздігі пәнді терең деңгейде меңгеруге кедергі келтіреді, сондықтан да электрондық оқулық осылардың бір шешімі болып отыр.

Физика пәніне оқушының қызығушылығын арттырып, түрлендіре жүргізсе, жақсы нәтижеге қол жеткізуге болады. Ол мұғалімнің пәнге сүйіспеншілігі мен қажырлы еңбегі арқасында жүзеге асатыны хақ.

Қорытынды жасай отырып, жаңа технологияларды және әдістерді әр сабақта шеберлікпен қолдана білу пәнді оқытудың сапасын арттыратынына сеніміміз мол.

Серия «Физика». № 2(66)/2012

65

А.К.Нурбай¹, К.Р.Кенжеғали², Э.К.Мусенова³, Б.Р.Нусипбеков³

Эффективность использования электронных учебников на уроках физики

В статье рассматривается проблема информатизации процесса обучения. На примере разработанного одним из авторов электронного учебника описывается методика и техника использования продуктов компьютерной технологии в средней школе и вузе. В частности, показано применение основных программ электронных учебников, отдельные разделы лекционных материалов, дидактические материалы, лабораторные работы, применение демонстрационных опытов, тестовых заданий для самоконтроля и глоссарий. Применение учебника позволяет оперативно выполнять все задания тематического плана.

A.K.Nurbaiy¹, K.R.Kenzhegali², E.K.Musenova³, B.R.Nusipbekov³

The using efficiency of electronic textbooks on the physics lessons

The problem of informatization of learning process is investigated in this article. The methods and techniques of computer technologies applications in secondary and high schools are described with using an example proposed by one of authors of an electronic textbook. In particular, there are shown applications of basic programs of electronic textbooks, selected parts of lecture materials, didactic materials, laboratory works, use of demonstrational experiments and tests for self-control and glossary. So, it's shown that the electronic textbook allows efficient fulfillment all tasks due to the thematic plan.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Akashev Z.T.** — Professor, Doctor of technical sciences, Karaganda State Technical University.
- Alpysova G.K.** — Lecturer of Radio Physics and Electronics Chair, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Chaplygina A.A.** — Graduate student, Altay State Technical University named after I.Polzunov, Barnaul, (Russia).
- Charlamova A.V.** — Graduate student, Karaganda State Technical University.
- Drizhd N.A.** — Professor, Doctor of technical sciences, Karaganda State Technical University.
- Duisenbaeva M.S.** — Graduate student, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Dyomina I.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor of Chair of Vocational Training and Technology, East Kazakhstan State University named after S.Amanzholov, Ust-Kamenogorsk.
- Guchenko S.A.** — Junior researcher, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Jurov V.M.** — Senior Lecturer, Candidate of physical and mathematical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Kakenov K.** — Vice-rector, Candidate of Technical sciences, Professor, Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz.
- Kamarov R.K.** — Senior Lecturer of Chair of Working out of Mineral Deposits, Karaganda State Technical University.
- Kenzhegali K.R.** — Teacher, School № 100, Karaganda.
- Kharkovskiy V.S.** — Professor, Candidate of technical sciences, professor, Karaganda State Technical University.
- Komleva E.V.** — Graduate student, Karaganda State Technical University.
- Korabeinikova V.K.** — Associate Professor, Candidate of technical sciences, Karaganda State Technical University.
- Kusaiynov K.** — Head of Engineering Thermophysics Chair named after professor J.C.Akylbaev, Doctor of Technical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Kuzhuanova J.A.** — Engineer, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Laurinas V.Ch.** — Head of the Spectroscopy of Condensed Matter Chair, Candidate of physical and mathematical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Maussymbayeva A.D.** — Teacher of Geophysics Chair, Karaganda State Technical University.
- Mekhtiyev A.D.** — Head of the Technologies and Systems of Telecommunications Department, Candidate of Technical sciences, Docent, Karaganda State Technical University.
- Musenova E.K.** — Associate Professor Candidate of physical and mathematical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov.
- Nurbai A.K.** — Teacher of physics, School № 66, Karaganda.
- Nusupbekov B.R.** — Dean of physical faculty, Associate Professor Candidate of technical sciences, Karaganda State University named after E.A.Buketov.

Ospanova D.A. — Senior Lecturer, Karaganda State University named after E.A.Buketov.

Plotnikov V.M. — Professor of Department of Merchandizing and Certification, Doctor of Technical sciences, Professor, Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda.

Popova G. — Associated Professor of Mathematical Modeling and Computer Technologies Chair, Candidate of physical and mathematical sciences, East Kazakhstan State University named after S.Amanzholov, Ust-Kamenogorsk.

Portnov V.S. — Professor of Chair of Geophysics, Doctor of technical sciences, Professor, Karaganda State Technical University.

Sadenova K.K. — Instructor of the College of the KSU named after E.A.Buketov.

Sharipov N.Ch. — Professor, Candidate of Technical sciences, Karaganda State Technical University.

Starostenkov M. — Chair of the General Physics, Doctor of physical and mathematical sciences, Professor, Altay State Technical University named after I.Polzunov, Barnaul (Russia).

Taimuratova N. — Senior Lecturer, Candidate of physical and mathematical sciences, Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh.Esenov, Aktau.

Turdybekov K.M. — Senior Lecturer, Karaganda State University named after E.A.Buketov.

Tursunbayeva A.K. — Professor of Chair of Working out of Mineral Deposits, Doctor of technical sciences, Karaganda State Technical University.

Voronov E.N. — Director, LLP «MEETEH», Karaganda.

Yugai V.V. — Master, Head teacher of the Technologies and Systems of Telecommunications department, Karaganda State Technical University.

Zavatskaya O.N. — Engineer, Karaganda State University named after E.A.Buketov.