

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

2 * 2003

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

Мерзімділігі жылына 4 рет

Периодичность 4 раза в год

Журнал Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігінде тіркелген (тіркеу куәлігі № 1351-ж 04.07.2000 ж.)

Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан (регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 г.)

МЕНШІК ИЕСІ

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті» Республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны (Қарағанды қаласы)

СОБСТВЕННИК

Республиканское государственное казенное предприятие «Карагандинский государственный технический университет» Министерства образования и науки Республики Казахстан (г. Караганда)

Главный редактор

Г.Г. Пивень — ректор, академик МАН ВШ, д-р техн. наук, профессор

Редакционный совет

- Пивень Г.Г.** ректор, академик МАН ВШ, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф. (председатель)
- Акимбеков А.К.** проректор по научной работе и международным связям, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя)
- Исагулов А.З.** зав. кафедрой машин, технологии литейного производства и конструкционных материалов, академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф. (ответственный редактор)
- Ахметжанов Б.А.** зав. кафедрой экономики предприятия, д-р экон. наук, проф.
- Бакиров Ж.Б.** зав. кафедрой прикладной механики, д-р техн. наук, проф.
- Брейдо И.В.** зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, академик МАИН, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.
- Гращенко Н.Ф.** профессор кафедры рудничной аэрологии и охраны труда, академик МАН ЭБ, д-р техн. наук
- Ермеков М.А.** профессор кафедры геофизики и геологии, чл.-кор. НАН РК, д-р геол.-минер. наук
- Жадрасинов Н.Т.** профессор кафедры прикладной механики, академик МАИН, чл.-кор. ИА РК, д-р техн. наук
- Жумасултанов А.Ж.** профессор кафедры социально-гуманитарных дисциплин, д-р ист. наук
- Кашиков Ш.К.** профессор кафедры экономической теории, академик МЭАЕ, чл.-кор. АСН РК, д-р экон. наук
- Квон С.С.** профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, д-р техн. наук
- Климов Ю.И.** зав. кафедрой горных машин и оборудования, академик МАИН, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.
- Колесникова Л.И.** зав. кафедрой экономической теории, канд. экон. наук, доц.
- Малыбаев С.К.** зав. кафедрой промышленного транспорта, д-р техн. наук, проф.
- Низаметдинов Ф.К.** зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, д-р техн. наук, проф.
- Нургужин М.Р.** первый проректор, академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.
- Пак Ю.Н.** проректор по учебно-методической работе, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.
- Палев П.П.** профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, д-р техн. наук
- Сагинов А.С.** академик НАН РК, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.
- Сагинтаев С.С.** зав. кафедрой высшей математики, чл.-кор. МАИН, канд. техн. наук, проф.
- Смирнов Ю.М.** зав. кафедрой физики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	5
ПИВЕНЬ Г.Г., ПАК Ю.Н. Модернизация университетского инженерного образования и Болонский процесс.....	5
НУРГУЖИН М.Р. Основы инновационной системы подготовки научно-инженерных кадров.....	7
БРЕЙДО И.В., КАРАСЕВ Н.И., ФЕШИН Б.Н. Принципы подготовки инженеров электротехнического профиля в области проблемно-ориентированных информационных технологий.....	10
КЫЗЫРОВ К.Б., ЯВОРСКИЙ В.В., ЛЕЙЗЕР Л.И. От заочного обучения к дистанционному.....	12
РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ	16
СИХИМБАЕВ М.Р. Рекомендации по проектированию и применению управляемой технологической оснастки.....	16
КВОН Св.С., ЖАУТИКОВ Б.А. Разработка способов повышения срока эксплуатации армировки шахтных стволов	
ШЫҒАЕВ Т.Г., МЕДЕУБАЕВ Н.Ә. Дәнекерлеушілерді дайындауға арналған тренажерлер.....	
ЖЕТЕСОВА Г.С., ЖУНУСОВА А.Ш. Технический уровень механизированных крепей.....	
ТОЛЫМБЕКОВ М.Ж., БАЙСАНОВ С.О., ГАБДУЛЛИН С.Т., ОСИПОВА Л.В., ТАКЕНОВ Т.Д. Выбор электрических геометрических параметров рудно-термической печи РПО-60 МВА для выплавки углеродистого ферромарганца.....	
ДАХНО Л.А., ШАРЫЙ В.И., ДАХНО А.А. Контроль качества поверхности деталей после сульфационирования.....	
ИСАГУЛОВ А.З. Перспективы развития импульсных методов изготовления отливок	
МУХАМЕДЬЯРОВ Д.З. Прогнозирование надежности и эффективности оборудования на этапе проектирования.....	
РАЗДЕЛ 3. ГЕОТЕХНОЛОГИИ	35
ПОРТНОВ В.С. Магнитное поле в скважине конечных размеров. III. Однородно намагниченный пласт.....	35
ДЕМИН В.Ф. Влияние горно-геологических факторов на эффективную эксплуатацию механизированных комплексов.....	36
ПАЛЕВ П.П., ФИЛИППОВА Т.С. Модель высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа горных комбайнов. I часть	38
БИЛЯЛОВ Б.Д. Размещение промышленных сортов руд Лисаковского месторождения	40
ПАЛЕВ П.П., ФИЛИППОВА Т.С. Модель высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа горных комбайнов. II часть	42
ПОРТНОВ В.С., ЮРОВ В.М. Термодинамические аспекты в магнитометрии	45
ДЕМИН В.Ф. Эффективность схем проветривания и дегазации выемочных участков	48
РАЗДЕЛ 4. ТРАНСПОРТ	52
ЖАЛГАСБЕКОВ А.З., ДАНИЯРОВ Н.А. Диагностика дизельного привода самоходного горного оборудования по параметрам рабочих жидкостей.....	52
БАЛҒАБЕКОВ Т.Д. Теңгеру қондырғысының қозғалтқыш жүйесіне түсетін жүктемелердің әсерлесу түрі және оны шешу есептері.....	54
ТАЗАБЕКОВ И.И. Динамика функционирования компенсирующего устройства вертикального действия.....	57
ИБАТОВ М.К. Результаты стендовых испытаний опытных образцов каталитических нейтрализаторов отработавших газов для дизельных двигателей	60
ТАЗАБЕКОВ И.И., БАЛҒАБЕКОВ Т.К. Теңгеру қондырғысы бар көп қозғағышты конвейердің дифференциалдық теңдеуі.....	62

РАЗДЕЛ 5. АВТОМАТИКА. ЭНЕРГЕТИКА	65
СИН В.М. Использование программного комплекса MATLAB для расчета высоковольтных электрических сетей.....	65
УМБЕТАЛИН Т.С. Особенности построения переходных процессов в электроприводе с двигателем последовательного возбуждения при постоянном моменте сопротивления.....	68
КАРАСЕВ Н.И., КРИЦКИЙ А.Б., ТОМИЛОВА Н.И., ЦОК Г.Н. Анализ архитектурных моделей программных компонентов в информационных технологиях АСУ ТП сферы эксплуатации больших теплоснабжающих систем.....	71
УМБЕТАЛИН Т.С. Методика неразрушающего контроля работоспособности многоцелевого манипулятора МЦМ.....	75
РАЗДЕЛ 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	79
КОГАЙ Г.Д., ТЕ Т.Л. Схема функционирования многомерной системы телемеханики.....	79
СЕЛИВАНОВ Д.Ф. Структура автоматизированной системы обучения компьютерного тренажерного комплекса.....	82
КАН О.А., КАН Д.О. Повышение помехоустойчивости передачи дискретных сигналов.....	83
ШИНТЕМИРОВА А.У. К вопросу моделирования процесса планирования и управления бюджетом.....	84
РАЗДЕЛ 7. ХИМИЯ. ФИЗИКА	89
ОМАРОВА Н.К., ЖАКУПОВА А.С. Удаление хлорита и серицита из сульфидных концентратов.....	89
НАПИБАЕВ Т.Н. Влияние технологии активации скелетного никеля на удельную активную поверхность кристаллов хемосорбированных легких атомов водорода и кислорода.....	91
КУРБАНОВ К.Р., ЮРОВ В.М. Экситон-фононное взаимодействие в кристаллах оксогалогенидов висмута сложного состава.....	93
МАЛЫШЕВ В.П., СУЛЕЙМЕНОВ Т., КАКЕНОВ К.С. Свойства упругих волн в электронных расплавах и периодический закон Д.И. Менделеева.....	94
МАЛЫШЕВ В.П., СУЛЕЙМЕНОВ Т. О свойстве аппроксимирующего квазичастичного функционала плотности, истекающего из теоремы Вириала.....	95
РЕЗЮМЕ	97

УДК 621.357
О.П. МУРАВЬЕВ
Г.Г. ПИВЕНЬ

Выбор режимов обработки штоков механизированных крепей комбинированным обкатником

Для обработки штоков механизированных крепей совмещенным резанием и поверхностным пластическим деформированием нами была разработана конструкция комбинированного обкатника. Особенностью конструкции является обеспечение постоянства усилия деформирования и стабильного качества обработанной поверхности. Для практической работы устройства важное значение имеет выбор параметров обработки, которые определяют точность и качество обработанной поверхности. По результатам испытаний устройства были получены сведения о влиянии режимов обработки на шероховатость обработанной поверхности, о влиянии исходной шероховатости штоков на шероховатость после обработки, о точности обработки.

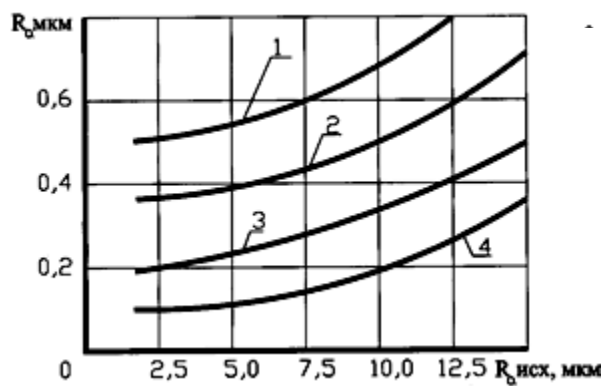
При силе обкатывания больше оптимальной, во-первых, может произойти дестабилизация процесса и перенаклеп поверхности, во-вторых, ухудшится работа механизмов используемого оборудования, быстрее наступит изнашивание инструментов, а также могут ухудшиться условия протекания процесса. Поэтому при обкатывании необходимо назначать минимальную силу, при которой обеспечивается обработка с максимальной производительностью.

На силу обкатывания непосредственно влияют передний и задний углы вдавливания α и α' . Концентрация давления резко растет с увеличением угла вдавливания. Установлено, что оптимальным является α от $0,5^\circ$ до 1° , $\alpha_{\max} = 3^\circ$.

На высоту неровностей, образующихся при обкатывании, большое влияние оказывают давление в контакте, продольная подача, исходная шероховатость поверхности и физико-механические свойства материала обработанной детали. Остальные параметры на шероховатость обработанной поверхности влияют незначительно. При проектировании технологического процесса необходимо предусмотреть, чтобы операция, предшествующая обкатыванию, обеспечила получение неровностей в допустимых пределах. Поскольку снижение шероховатости поверхности при обработке резанием увеличивает стоимость изготовления штоков, важно установить их наибольшую допускаемую высоту при обкатывании. Результаты исследований (рис. 1) показывают большую роль исходных неровностей. При обкатывании штоков с усилием P , равным от 1,5 до 2,0 кН, исходные неровности R_a , равные от 2,5 до 7,5 мкм, практически не влияют на величину шероховатостей обкатанной поверхности (кривые 3 и 4).

По-видимому, в данном случае происходит их полная деформация. При обкатывании более грубой поверхности исходные шероховатости деформируются частично, в результате чего обработанная поверхность хуже, чем в первом случае. Поэтому при применении оптимальных давлений исходная шероховатость поверхности не должна превышать R_z от 20 до 40 мкм. При таком условии

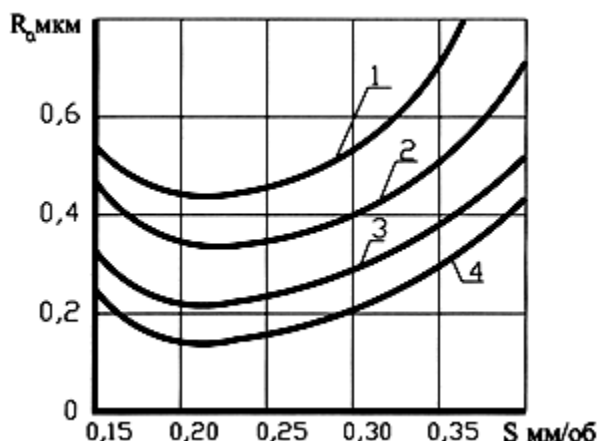
обкатывание обеспечивает поверхность с R_z от 0,2 до 0,3 мкм. Для получения поверхности с R_z от 0,5 до 0,6 мкм высота исходных неровностей может быть увеличена до 60 мкм.



1 — усилие обкатывания $P = 500 \text{ H}$; 2 — усилие обкатывания $P = 1000 \text{ H}$; 3 — усилие обкатывания $P = 1500 \text{ H}$; 4 — усилие обкатывания $P = 2000 \text{ H}$

Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности штоков R_a при обкатывании от исходной шероховатости $R_{a\text{исх}}$.

Следующим по значению параметром обкатывания после силы является подача, которая может быть радиальной и осевой. Наилучшее качество поверхности достигается при обработке с радиальной подачей, однако на практике детали обрабатывают обычно с осевой подачей. Изменение подачи может в значительной степени изменить шероховатость обработанной поверхности (рис. 2). Высота неровностей пропорциональна величине подачи во второй степени. С уменьшением подачи шероховатость поверхности уменьшается до определенного предела (рис. 2), затем начинает возрастать. При обработке с подачами, меньшими оптимальных значений, может происходить перенаклеп поверхности, так как увеличивается число циклов нагружения более допустимого.



1 — усилие обкатывания $P = 500 \text{ H}$; 2 — усилие обкатывания $P = 1000 \text{ H}$; 3 — усилие обкатывания $P = 1500 \text{ H}$; 4 — усилие обкатывания $P = 2000 \text{ H}$

Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности штоков R_a при обкатывании от продольной подачи

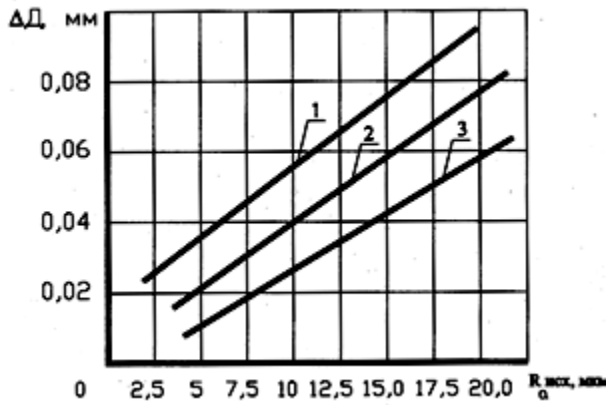
Следовательно, за счет изменения подачи и усилия и обкатывания можно регулировать шероховатость обработанной поверхности. При обкатывании штоков из стали 30ХГСА роликами увеличение продольной подачи от 0,2 до 0,28 мм/об практически не влияет на высоту неровностей. Дальнейшее увеличение подачи приводит уже к возрастанию неровностей. В зависимости от усилия обкатывания для обработки штоков рекомендуется подача от 0,2 до 0,35 мм/об.

Скорость обкатывания не оказывает или почти не оказывает влияния на получаемую шероховатость и другие характеристики поверхностного слоя и ограничивается тепловыми явлениями, допустимым биением инструмента, жесткостью и точностью применяемого оборудования. Поэтому для обеспечения производительности скорость обработки должна быть максимальной; обычно она составляет от 20 до 200 м/мин. Дальнейшее увеличение скорости сопровождается возникновением вибраций и динамических нагрузок, что может приводить к увеличению шероховатости поверхности, снижению точности. При обкатывании, применяемом в качестве финишной операции, большое значение имеет достигаемая точность. Обработка деформирующим инструментом упругого действия вследствие копирования погрешностей сохраняет форму детали, но ввиду остаточной деформации изменяет ее размер. При обработке наружных цилиндрических поверхностей диаметр несколько уменьшается. Изменение размера определяется величиной остаточной деформации h и высотой неровностей, образующихся в результате обработки:

$$\delta_i = h - R_z. \quad (1)$$

Так как остаточная деформация и высота неровностей определяются параметрами обработки, при их значении необходимо обеспечить требуемую точность и установить технически обоснованные припуски. Так как нет данных, необходимых для подсчета остаточной деформации, изменение размера при обкатывании определим экспериментально.

Результаты исследований (рис. 3) показывают, что изменение диаметра (уменьшение диаметра) зависит от усилия деформирования, исходной шероховатости поверхности штока, подачи и числа рабочих ходов. С увеличением усилия деформирования остаточная деформация увеличивается, происходит более интенсивное смятие исходной шероховатости и возрастает величина ΔD .



1 — усилие обкатывания $P = 500$ Н; 2 — усилие обкатывания $P = 1000$ Н; 3 — усилие обкатывания $P = 1500$ Н

Рис. 3. Изменение диаметра штоков в зависимости от исходной шероховатости (при $S = 0,28$ мм/об)

На основе экспериментальных данных установлено, что предварительная обработка перед обкатыванием должна обеспечить точность в пределах требуемого качества точности с необходимым припуском под обкатывание.

Ориентировочно для расчетов можно принять, что припуск под обработку обкатыванием составляет:

$$Z = K_1(R_z \text{ и } R_a - R_z) = 4K_1(R_a \text{ и } R_a - R_a), \quad (2)$$

где $R_{z\text{исх}}$, $R_{a\text{исх}}$ — высота исходных неровностей, мкм;

R_z , R_a — высота неровностей после обработки, мкм;

K_1 — коэффициент, определенный экспериментально.

Определено значение коэффициента K_1 , равное от 1,1 до 1,3. Меньшие значения K_1 следует брать для твердых сталей, а большие — для мягких, пластичных сталей.

На основании испытаний опытного образца инструмента для обработки штоков в условиях ЗАО «Каргормаш» установлено, что стабильно обеспечивается шероховатость обработанной поверхности R_a в пределах от 0,16 до 0,32 мкм, а точность обработки — в пределах 9-го качества точности (П9). Производительность обработки штоков по сравнению со шлифованием повышается более чем в два раза.

УДК 621.791

В.Ф. ШВОЕВ

Особенности электроконтактной обработки в жидкой среде

Как известно, электроконтактная обработка (ЭКО) является одной из разновидностей электроэрозионной обработки. Отличие ее от других разновидностей электроэрозионной обработки состоит в том, что при электроконтактном методе импульсы тока формируются не с помощью специальных генераторов, а непосредственно в промежутке. Схема метода приведена на рис. 1.

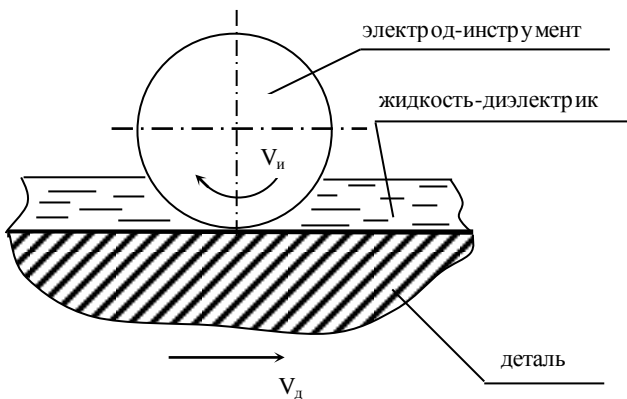


Рис. 1. Схема ЭКО

Электрод-инструмент вращается со скоростью $v_{и} \geq 20$ м/с, а скорость подачи заготовки может достигать 1700 мм/с [1], обработка проходит при прямой полярности. Вращающийся электрод-инструмент сам регулирует параметры импульсов в зависимости от неровностей на заготовке и электроде-инструменте. Метод известен с 1925 года и предложен

О. Грумпельтом для электрической резки металлов [2].

Процесс протекает следующим образом: вращающийся электрод-инструмент и заготовка приближаются и на определенном расстоянии S (0,2-2 мм) между ними возникает дуговой разряд, который вызывает расплавление металла заготовки и его выброс из зоны обработки. Обработка электрическим оплавлением ведется при напряжениях $\geq 20-22$ В, сила тока может достигать до 10 кА и выше, давление в межэлектродном промежутке обычно 4-6 Н/см², подача воды в зону обработки > 20 л/мин. Основным физическим явлением, обуславливающим сьем металла при электроконтактной обработке является дуговой разряд и тепло Джоуля-Ленца. В эрозионном промежутке мощность может быть определена [1]:

$$P_3 = I^2 R_3, \quad (1)$$

где I — сила тока, А;

R_3 — сопротивление электроэрозионного промежутка, Ом.

Дуговой разряд характеризуется малым катодным падением напряжения и высокой плотностью тока. Разряд поддерживается за счет автоэлектронной и термоионной эмиссии электронов. При этом от 20% и выше энергии затрачивается на различные потери.

Таким образом, электроконтактная обработка является одной из простейших по оборудованию и технологии. Кроме этого, ЭКО позволяет реализовать в зоне обработки большие мощности и повысить производительность до 400..450 кг/ч, что

значительно выше, чем при механической обработке. Способ экономичен — расход электроэнергии в 6-10 ниже, чем при электроискровом методе, и в 1,5-2 раза, чем при обычной механической обработке.

Отличаясь высокой производительностью, электроконтактный метод характеризуется следующими недостатками: высокой шероховатостью обработанной поверхности, необходимостью применения защитных устройств от брызг металла, жидкости и светового излучения, большим износом электрода-инструмента, ограниченной применимостью для твердых сплавов из-за ухудшения структуры последних.

Рассмотрение научных работ по электроконтактной обработке показало, что ее практическое внедрение задерживается по ряду причин, важнейшей из них является то, что физика процесса электроконтактной обработки до сих пор не ясна. Считается, что при электроконтактной обработке происходит расплавление металлов и его выброс как продуктов эрозии из зоны обработки электродом-инструментом в направлении подачи, при этом механический контакт между электродами малозаметен, а шероховатость поверхности зависит от формы размеров лунок, образующихся под воздействием серии импульсов [3], действующих на смежный участок поверхности. Так как условия протекания разрядов при ЭКО различаются, то различаются и размеры лунок, и их размеры тем меньше, чем меньше напряжение.

Известные в настоящее время результаты экспериментальных исследований электроконтактной обработки металлов свидетельствуют, что производительность этого способа обработки, шероховатость поверхности, износ электрода-инструмента, удельные затраты энергии зависят от параметров дуговых разрядов, скорости вращения электрода-инструмента, скорости подачи, теплофизических констант обрабатываемого металла и инструмента, а также от охлаждения инструмента. Поэтому для внедрения электроконтактной обработки требуется создание тепловой теории, устанавливающей зависимость значения температурного поля и его характера от различных параметров обработки и обрабатываемого металла.

Несмотря на важность тепловой теории электроконтактной обработки, последняя до сих пор отсутствует. Наиболее полно вопросы теплофизики рассматриваются в работах Л.А. Ушомирской, Л.Д. Казминой, однако полученная математическая зависимость имеет следующие предположения: тепловой поток, создаваемый следующими друг за другом импульсными разрядами, равномерно распределен по цилиндрической поверхности с плотностью q [Вт/м²]; с оснований цилиндра (с боковой поверхности электрода-инструмента) осуществляется свободный теплообмен с окружающей водно-воздушной средой, температура которой совпадает с начальной температурой электрода-инструмента. Очевидно, эти предположения не совсем точны, так как при ЭКО импульсные разряды распределены неравномерно, а теплообмен носит несвободный характер. Это

доказывается и температурой в зоне контакта, которая превышает 5500°С, то есть при ЭКО образуется низкотемпературная плазма, содержащая ионы и электроны, что подтверждается и в работе Б.А. Артамонова и др. [3], а значит, тепловая теория ЭКО другая.

Если принять гипотезу о низкотемпературной плазме, то это объясняет, почему в результате обработки практически являются чистыми элементами — Fe, Ni и т.д. в зависимости от обрабатываемого материала. Сами эти продукты имеют вид полых дробей различного размера с выходным отверстием. Отверстие объясняется тем, что расплавленный металл вскипает, образуя как бы пузырь, давление внутри которого резко возрастает и происходит прорыв газов в наиболее слабой области.

Исследования энергоемкости q процесса ЭКО в зависимости от производительности W_3 (рис. 2) и силы резания P_y от подачи S показали, что с увеличением производительности энергоемкость падает, а силы возрастают, что также подтверждает гипотезу о плазме.

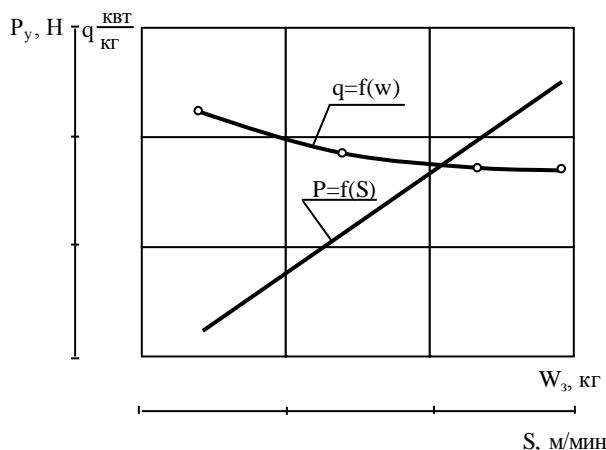


Рис. 2. Зависимость энергоемкости q от производительности и силы резания P_y от подачи S

Интересны также вопросы исследования износа электрода-инструмента, которые показали, что, если материалы заготовки и электрода-инструмента значительно различаются, то износ инструмента не превышает 4%, а при обработке близких по химическому составу материалов износ превышает 20%, что объяснимо, но до сих пор физика процесса износа не совсем ясна, так как при изменении полярности ЭКО износ остается таким же, что нехарактерно для обычной электроэрозионной обработки.

Из работ по изучению зоны термического влияния можно сделать вывод о том, что длительность импульса τ_u очень мала, поэтому глубина ЗТВ небольшая (<1,6 мм) и, что характерно, основной металл отделен от ЗТВ четко выраженной границей, имеющей вид зубьев, характеризующий импульсы обработки.

Из вышеизложенного следует, что необходимы дальнейшие исследования:

- 1) тепловой теории ЭКО;

- 2) теории износа;
- 3) качества поверхности;
- 4) технологических показателей процесса.

Это позволит производить в дальнейшем более качественное конструирование установок для электроконтактной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишницкий А.Л. и др. Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов. Л.: Машиностроение, 1971. 254 с.
2. Патент СССР №2776 от 16 марта 1925 г. Способ и устройство для электрической резки металлов. Грумпельт О.
3. Артамонов Б.А. и др. Электрофизические и электромеханические методы обработки материалов. М.: Высш. шк., 1988. 247 с.

УДК 621.9-529

М.Р. СИХИМБАЕВ

Определение параметров системы автоматического управления стабилизации положения формообразующей вершины резца

Известно [1, 2, 3], что для проектирования САУСВР необходимо иметь информацию о диапазоне амплитуд возмущающих воздействий и их частот. Эту информацию можно получить с помощью статистических исследований поверхностей деталей после обработки на операции, предшествующей растачиванию. Зная величины изменения припуска и характеристики податливости технологической системы, можно рассчитать величины отклонений текущего радиуса как функцию угла поворота заготовки, т.е. оценить амплитуды возмущающих воздействий, которые необходимо компенсировать при помощи САУСВР. Эта информация представляет собой главные исходные данные для разработки системы.

При определении погрешности обработки, связанной с упругими отжатыми технологической системы, расчетную схему сводят либо к рассмотрению деформаций инструмента [4], который представляют как консольно закрепленную балку или стержень постоянного сечения либо как систему с одной степенью свободы [5]. В некоторых случаях используют расчетную схему, рассматривая суппортную группу совместно с резцом. В первых двух случаях упругие деформации рассчитывают аналитическим путем по известным формулам сопротивления материалов [6]. Станки с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы имеют высокие жесткостные характеристики, сравнимы с жесткостью фрезерных станков, поэтому при рассмотрении упругих деформаций шпиндельного узла с инструментом при растачивании отверстий можно, с некоторыми допущениями, деформации шпиндельного узла не учитывать. С учетом того, что сила резания является функцией угла поворота шпинделя, расчет упругих деформаций резца сводится к определению прогиба консольно-закрепленной балки под действием пары сил P_X и P_Y . Поскольку погрешность формы и расположения отверстий в поперечном сечении образуется в результате отклонений вершины резца от номинальной траектории, которой является окружность, при известных отжатыях резца в каждой точке траектории можно определить погрешность обработки отверстия. Для активного воздействия на технологическую систему с целью повышения точности величина

отжатия резца в каждой точке траектории является величиной *требуемого управляющего воздействия*.

Рассматривая деформации технологической системы поэлементно, расточной резец можно представить в виде стержня, один конец которого зашпелен, а ко второму — свободному, приложена центрально-сжимающая сила P_X , вертикальная сила P_Y и внешний момент M_0 . Задача по определению амплитуд отклонений свободного конца стержня сводится к определению величины прогиба стержня в рассматриваемой точке. Расчетная схема представлена на рис. Реакции опор в защемлении равны:

$$R = P_Y; N = P_X; M = P_X \cdot r - P_Y \cdot l, \quad (1)$$

где r — радиус стержня;

l — длина стержня.

Величину прогиба определим из уравнения продольно-поперечного изгиба стержня, которое имеет вид [6]:

$$y'' + k^2 y = \frac{M}{EJ}, \quad (2)$$

где $y = y(x)$ — функция прогибов упругой линии стержня, $k^2 = P_X / EJ$;

M — изгибающий момент от поперечной нагрузки; EJ — жесткость в плоскости изгиба.

Продифференцировав (2) дважды по x с использованием теоремы Шведлера-Журавского, имеем:

$$y''' + k^2 y' = \frac{Q(x)}{EJ}, \quad (3)$$

$$y^{IV} + k^2 y'' = \frac{q(x)}{EJ}, \quad (4)$$

где $Q(x) = \frac{dM(x)}{dx}$ — поперечная сила;

$q(x) = \frac{dQ(x)}{dx}$ — интенсивность внешней нагрузки.

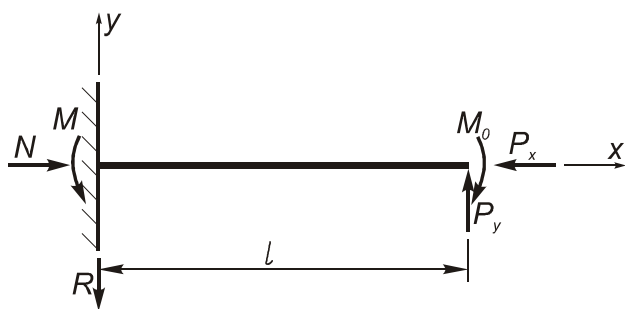


Схема для определения величины управляющих воздействий

Обозначим изображение функции $y(x)$ через $y(p)$, т.е. $y(x) \rightarrow y(p)$, а изображение интенсивности нагрузки $q(x) \rightarrow q(p)$. Подставим изображения производных и интенсивности нагрузки в уравнение (4), а также произведем некоторые замены (по Карсону-Лапласу), тогда дифференциальное уравнение (4) примет вид:

$$y(x) = y(0) + y'(0)x + \frac{y''(0)}{k^2}(1 - \cos kx) + \frac{y'''(0)}{k^3}(kx - \sin kx). \quad (5)$$

Граничные условия задаются в форме:

$$y(0) = 0; \quad y'(0) = 0; \quad EJy''(0) = M(0) = -P_x \cdot r + P_y \cdot l; \quad EJy'''(0) = Q(0) = -P_y. \quad (6)$$

С учетом граничных условий (6) преобразуем уравнение (5):

$$y(x) = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{-P_x r + P_y l}{EJ} (1 - \cos kx) - \frac{1}{k^3} \cdot \frac{P_y}{EJ} \times (kx - \sin kx) = \frac{P_y l + P_x r}{P_x} (1 - \cos kx) - \frac{P_y}{P_x k} \times (kx - \sin kx) = \left(\frac{P_y}{P_x} l + r \right) (1 - \cos kx) - \frac{P_y}{P_x k} \times (kx - \sin kx). \quad (7)$$

Уравнение (7) определяет относительные вертикальные смещения по длине балки при воздействии возмущающих усилий P_x и P_y , изменяющихся в зависимости от величины припуска в различных угловых положениях шпинделя. Эта информация может быть использована для формирования сигнала управляющего воздействия системой автоматического управления, работающей по заданной программе.

Величина смещения или упругого отжатия является входной характеристикой системы автоматического управления и при известных величинах упругих отжатий позволяет определить передаточную функцию системы управления для обеспечения заданных параметров процесса. Такими характеристиками технологического процесса являются: погрешность размера, расположения и формы обрабатываемых поверхностей, зависящие, в

частности, от величин упругих отжатий. Так, для случая растачивания входными характеристиками являются отклонения положения формообразующей вершины резца под действием переменного припуска, обусловленного геометрическими погрешностями заготовки. Выходными характеристиками являются величины отжатий резца от размера статической настройки при автоматическом управлении отжатыми. Таким образом, для прогнозирования ожидаемой точности обработки при известных величинах возмущающих воздействий необходимо определить передаточную функцию САУСВР, позволяющую определить частотные характеристики и характеристики переходного процесса системы автоматического управления, которые характеризуют технологические возможности системы по управлению точностью обработки. При обработке отверстий растачиванием необходимо обеспечить минимальную амплитуду упругих отжатий инструмента, которые являются причиной образования погрешности расположения и формы отверстия в поперечном сечении.

Теоретически при отсутствии геометрических погрешностей станка и неизменных возмущающих воздействиях $P = \text{const}$, обработка будет проведена с заданной точностью расположения и формы поверхности в поперечном сечении. В реальных условиях на систему действуют различные факторы, вызывающие погрешность обработки, причем изменение значений, например, силы резания — труднопредсказуемо, что приводит к необходимости рассматривать отклонение инструмента как случайные величины.

Обычная технологическая система с точки зрения теории автоматического регулирования является разомкнутой системой автоматического управления погрешностью размера, расположения и формы поверхности. Такая система характеризуется коэффициентом уточнения K_y или, в терминах теории автоматического управления, — передаточной функцией. Эффективность данной системы тем выше, чем меньше коэффициент уточнения K_y [7], который, как указывалось ранее, зависит от многих факторов, но более всего от жесткости технологической системы. Из-за наличия в технологической системе звеньев с ограниченной жесткостью, например инструмента, значительное повышение жесткости невозможно по объективным причинам, т.е. значение K_y в разомкнутой системе ограничено и, следовательно, ограничена достигаемая точность. Иными словами, отрицательной стороной разомкнутого управления является то, что алгоритм управления строится только на основе заданного алгоритма функционирования и не контролируется ни по значениям заданной величины, ни по величине возмущающих воздействий, что учитывается в системах с обратной связью (САУСВР).

Для САУСВР (для случая растачивания отверстий) переходный процесс определяется временем стабилизации положения вершины расточного резца относительно оси вращения шпинделя при изменениях силы резания.

Введем обозначения

$$T_1 \cdot T_2 = A; T_1 + T_2 + T_3 \cdot K \cdot K_{OC} = B; I + K \cdot K_{OC} = C, \quad (8)$$

где T_1 — постоянная времени исполнительного механизма;

T_2 — постоянная времени интегрирующего звена;

T_3 — постоянная времени дифференцирующего звена;

K — коэффициент передачи;

K_{OC} — коэффициент усиления цепи обратной связи.

Тогда выражение передаточной функции запишется в виде:

$$\hat{O}(\delta) = \frac{k(T_3 p + 1)}{Ap^2 + Bp + C}. \quad (9)$$

Используя преобразования Лапласа [8], находим выражение действительной функции переходного процесса системы регулирования при воздействии возмущения в виде скачка:

$$H_1(t) = (Ae^{p_1 t} + Be^{p_2 t} + C)kT_3 \frac{1}{A}. \quad (10)$$

Выражение (10) описывает переходный процесс системы автоматического управления в зависимости от ее параметров T_1, T_2, T_3, k, K_{OC} .

При расчете выходных параметров процесса управления в зависимости от величины возмущающих

воздействий, определяемых по формуле (7), производится подстановка параметров имеющейся системы регулирования в уравнение (10). В результате расчета получаем значение величины управляющего воздействия, которое должно быть равно величине возмущающего воздействия.

В случае получения ошибки менее 5% система управления используется для обработки деталей без изменения ее параметров. Если ошибка обработки управляющего воздействия больше допустимой, требуется изменение свойств системы, что осуществляется путем изменения величины коэффициента усиления цепи обратной связи K_{OC} и коэффициентов интегрирующего и дифференцирующего звеньев электронной части системы управления. Изменение параметров цепей электронной части системы осуществляется регулированием.

Таким образом, оценку технологических возможностей разрабатываемой САУСВР по повышению точности механической обработки производят по характеристикам переходного процесса и полосе пропускания частот, которые в конечном итоге влияют на стабилизацию положения формообразующей вершины резца от упругих отжатиых технологической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сихимбаев М.Р. Демпфирование колебаний резца при растачивании отверстий // Труды университета. Караганда: КарГТУ, 2000. №1. С. 6-7.
2. Сихимбаев М.Р. Экспериментальные исследования технологической оснастки для управления точностью обработки при растачивании отверстий // Там же. 2002. №3. С. 21-22.
3. Сихимбаев М.Р. Исследование системы автоматического управления для стабилизации формообразующей вершины металлорежущего инструмента // Там же. С. 13-14.
4. Симанчук Л.И. Технологическое обеспечение точности формы и расположения отверстий (на примере обработки заготовок на токарных станках с ЧПУ): Дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 233с.
5. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. Киев: Техника, 1989. 388с.
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1974. 560с.
7. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1977. 416с.
8. Воронов А.А., Титов В.К., Новоградов Б.Н. Основы теории автоматического регулирования. М.: Высш. шк., 1977. 519с.

УДК 621.744.5

С.Б. КУЗЕМБАЕВ

Рабочий процесс пневматической высокоскоростной прессовой головки

Высокоскоростное прессование формовочных смесей (часто называемое ВСП-процессом) ударом жесткой плоской плиты, движущейся со скоростью порядка 8...10 м/с, дает возможность получать качественные литейные формы с высокой поверхностной твердостью по ладу и равномерно распределенной по высоте опоки плотностью. Но достичь этого можно только при рациональном соотношении конструктивно-технологических параметров процесса и формовочного устройства. До настоящего времени наиболее распространенным способом подбора необходимого рабочего режима остается опытно-практический, посредством серии экспериментов. Недостатки такого подхода очевидны. Даже применяя методы планирования оптимального эксперимента, нельзя быть абсолютно уверенным, что

полученный результат действительно наилучший, поскольку выбор факторов, уровней и интервалов варьирования их в какой-то мере произволен. Требование же независимости факторов противоречит условию оптимального соотношения их. Более перспективным является аналитический подход. Изучение поршневых машин целесообразнее всего проводить с помощью индикаторных диаграмм. Данная работа посвящена способу построения индикаторной диаграммы и анализу рабочего процесса ВСП-головки на её основе.

На рис. 1 приведена упрощенная схема пневматической ВСП-головки в исходном положении. Основными частями устройства являются ресивер сжатого воздуха 1, ударная плита 3 с приводом 2 и фиксаторы 4, удерживающие плиту 3 в крайнем

верхнем положении. Модельно-опочная оснастка с формовочной смесью 5 располагается на рабочем столе 6 машины. Для уменьшения потерь на гидравлические сопротивления и т.п. пневмоцилиндр привода обычно выполняется без верхней крышки. Разгон ударной плиты происходит, в первую очередь, под воздействием давления сжатого воздуха в ресивере. Кроме того, некоторую роль играет и сила тяжести (общий вес) падающих частей ВСП-головки.

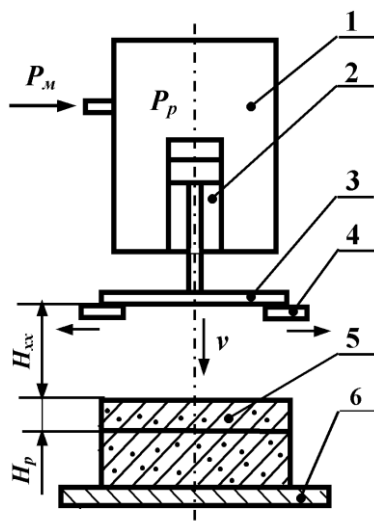


Рис. 1. Принципиальная схема высокоскоростной прессовой головки

Цикл формовки протекает следующим образом. Зафиксировав плиту в верхнем положении с помощью упоров, в ресивер подают сжатый воздух. Начальное давление в нем обычно не превышает магистрального давления, то есть 0,7 МПа. Фиксаторы открываются. Ударная плита падает вниз. Расстояние, которое она проходит до соприкосновения со свободной поверхностью формовочной смеси, называется холостым ходом H_{xx} . Холостой ход необходим для придания плите требуемой скорости в момент удара о смесь. Величина скорости определяет энергию удара и количество движения, передаваемое смеси. Расходуя свою кинетическую энергию на деформирование и уплотнение смеси, плита постепенно тормозится. Вытеснив всю смесь из наполнительной рамки в опоку, плита должна остановиться (практически это условие соблюдается не всегда). Таким образом, полный ход плиты H складывается из холостого хода H_{xx} и высоты наполнительной рамки H_p . Для завершения цикла под поршень привода подается давление. Ударная плита поднимается до предельного положения и жестко фиксируется. После этого давление под поршнем сбрасывается до атмосферного. Устройство готово к дальнейшей работе.

Индикаторная диаграмма разрабатывается на основе следующих предпосылок, обеспечивающих удобство построения и применения её. В соответствии с конструкцией ВСП-машины, ход ударной плиты целесообразно отмерять по вертикальной оси, причём сверху вниз. Тогда горизонтальная ось будет показывать давление в ресивере. Для каждой из

полостей пневмоцилиндра (штоковой и поршневой) лучше строить отдельный график, ибо наложение их друг на друга усложнит анализ процесса. Чтобы координаты точек обеих ветвей диаграммы при наложении соответствовали друг другу, толщина поршня не учитывается. Как повсеместно принято, диаграмма строится на единицу площади поршня.

На рис. 2 приведен образец типовой индикаторной диаграммы ВСП-машины. Левая часть диаграммы отражает процесс в поршневой полости пневмоцилиндра, правая часть — в штоковой. Точки 1 и 5 отвечают началу процесса. Координаты первой точки: абсцисса (давление над поршнем) равна начальному давлению в ресивере $P_1 = P_{p0}$, ордината (положение поршня в пространстве) численно равна приведенной высоте вредного пространства $S_1 = S_o$:

$$S_o = V_p / F_n, \quad (1)$$

где V_p — объем ресивера, m^3 ;

F_n — площадь поперечного сечения поршня, m^2 .

Очевидно, что под поршнем $S_5 = S_o$, а давление атмосферное: $P_5 = P_a$.

После открывания фиксаторов и начала движения поршня давление над ним постепенно понижается, а под ним — увеличивается согласно ходу поршня. Давление в точке 2 определяется соотношением объемов ресивера и надпоршневого пространства приводного пневмоцилиндра. Общепринято, что работа пневмопривода соответствует адиабатическому закону. Исходя из этого, можно дать оценку искомому давлению:

$$P_2 = P_{p0} \left(\frac{V_p}{V_p + \Delta V_{1-2}} \right)^k, \quad (2)$$

где k — показатель адиабаты;

ΔV_{1-2} — приращение объема за счет перемещения поршня, очевидно, что $\Delta V_{1-2} = F_n \cdot H_{xx}$

Ход поршня $S_{1-2} = H_{xx}$, следовательно, ордината точки 2: $S_2 = S_o + H_{xx}$.

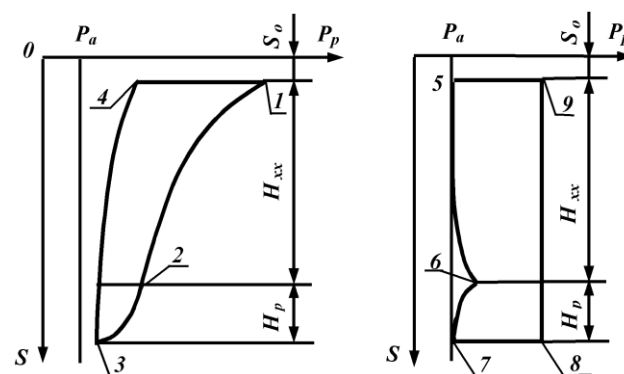


Рис. 2. Индикаторная диаграмма

Точка 6 характеризует максимальное противодействие воздуха, препятствующее свободному перемещению поршня. Очевидно, что $S_6 = S_2$. Давление P_6 зависит от условий истечения воздуха из подпоршневого пространства и скорости перемещения падающих частей.

Точка 2 определяет начало процесса уплотнения. Ударная плита приходит в соприкосновение со смесью и наносит удар по ней, после чего начинает резко тормозиться. При этом она проходит расстояние H_p (высоту наполнительной рамки), деформирует и вытесняет формовочную смесь из наполнительной рамки в опоку и уплотняет её. На диаграмме данному процессу соответствуют участок 2-3 надпоршневого пространства пневмоцилиндра и участок 6-7 подпоршневого. Поскольку ход поршня $S_{2,3} = S_{6,7} = H_p$, то $S_3 = S_7 = S_2 + H_p$.

Оценить предельное давление в ресивере машины на конечной стадии уплотнения можно также с помощью уравнения адиабаты (без учета сопротивления формовочной смеси деформированию):

$$P_3 = P_{p0} \left(\frac{V_p}{V_p + V_{i\delta}} \right)^k \leq \frac{Q + R}{F_n}, \quad (3)$$

где $V_{ni} = F_{ni} \cdot (H_{XX} + H_p)$ — объем рабочей полости пневмоцилиндра, м³;

Q — суммарный вес падающих частей привода, Н;

R — сила трения в поршневой паре, Н.

В штоковой полости условия истечения воздуха улучшаются, так как движение поршня замедляется. Давление здесь постепенно падает до атмосферного, что показывает участок 6-7 индикаторной диаграммы. Таким образом, $P_7 = P_a$.

Следующая стадия — подъем ударной плиты. В штоковую полость привода подается давление, но поршень продолжает оставаться на месте в соответствии с горизонтальной прямой 7-8. И лишь когда в точке 8 давление сжатого воздуха достигнет критического значения $P_8 = (Q + R) / F_n$, начнется подъем поршня вверх по прямой 8-9. При этом давление над поршнем немного возрастает из-за сжатия воздуха в ресивере. В левой части индикаторной диаграммы появится участок 3-4, причем должно соблюдаться условие $P_4 \leq P_8$. Ход поршня $S_{3,9} = S_{3,4} = H_{XX} + H_p$, то есть $S_9 = S_4 = S_0$.

В точке 9 поршень останавливается в крайнем верхнем положении. Фиксаторы закрываются. В полости под поршнем давление сбрасывается до атмосферного согласно линии 9-5. Над поршнем, в ресивере, давление поднимается до начального значения по линии 4-1. Обе ветви индикаторной диаграммы замыкаются. Машина готова к новому циклу формовки.

Недостатком вышеизложенной методики построения индикаторной диаграммы является оценочное, а не точное определение координаты точки 3 (точнее, давления в ресивере в конце процесса уплотнения). Как отмечено выше, положение точки 3

определяется свойствами смеси и конструктивно-технологическими показателями ВСП-процесса. В настоящий момент вряд ли возможно описать эту связь аналитически. В целом же приведенная методика вполне пригодна для инженерных расчетов. Она дает возможность оценить эффективность работы машины и выявить влияние основных факторов.

Как известно, площадь индикаторной диаграммы численно равна удельной работе сжатого воздуха, совершенной в течение всего цикла [1]. Нет сомнения, что удельная работа уплотнения смеси численно равна площади 1-2-3-4-1. Площадь 5-6-7-5 характеризует удельную работу противодействия воздуха опусканию поршня. Работу сжатого воздуха по перемещению вверх поршня с ударной плитой показывает площадь 5-7-8-9-5, работа противодействия при этом равна площади 5-7-3-4-5. Очевидно, что три последние площади должны быть, по возможности, меньше. В идеале площадь 5-6-7-5 вообще должна равняться нулю, что обеспечивается соответствующим подбором сечения выхлопных отверстий штоковой полости пневмоцилиндра. Полная удельная работа сжатого воздуха численно равна сумме всех вышеперечисленных площадей. Тогда КПД ВСП-головки примерно равен отношению площади 1-2-3-4-1 к сумме площадей 1-2-3-4-1, 5-6-7-5, 5-7-3-4-5 и 5-7-8-9-5.

Оценка влияния технологических и конструктивных факторов на ВСП-процесс:

1. Влияние начального давления в ресивере P_{p0} . Чем оно выше, тем правее точка 1, больше площадь 1'-2-3-4-1' и тем больше полезная работа (рис. 3,а).

2. Влияние конечного давления в ресивере. Чем оно меньше, тем левее точка 3, тем меньше работа противодействия подъему поршня, площадь 5-7-3'-4-5 (рис. 3,б).

3. Влияние массы ударной плиты (точнее, массы падающих частей ВСП-головки). Чем она больше, тем правее точка 8, больше площадь 5-7-8'-9'-5, тем больше работы затрачивается на подъем поршня. С другой стороны, чем больше масса плиты, тем больше её ускорение, круче идет кривая 1-2' и тем больше работа уплотнения (рис. 3,в).

4. Влияние холостого хода H_{XX} . Видно, что с его увеличением полезная работа (площадь 1-2'-3'-4-1) растет. Однако одновременно с этим растут и затраты на подъем ВСП-колодки и работа противодействия (остальные три площади: 5-7'-8'-9'-5, 5-6'-7'-5 и 5-7'-3'-4-5), причем в гораздо большей степени. Поэтому целесообразнее регулировать процесс за счет изменения начального давления в ресивере, чем за счет увеличения холостого хода (рис. 3,г).

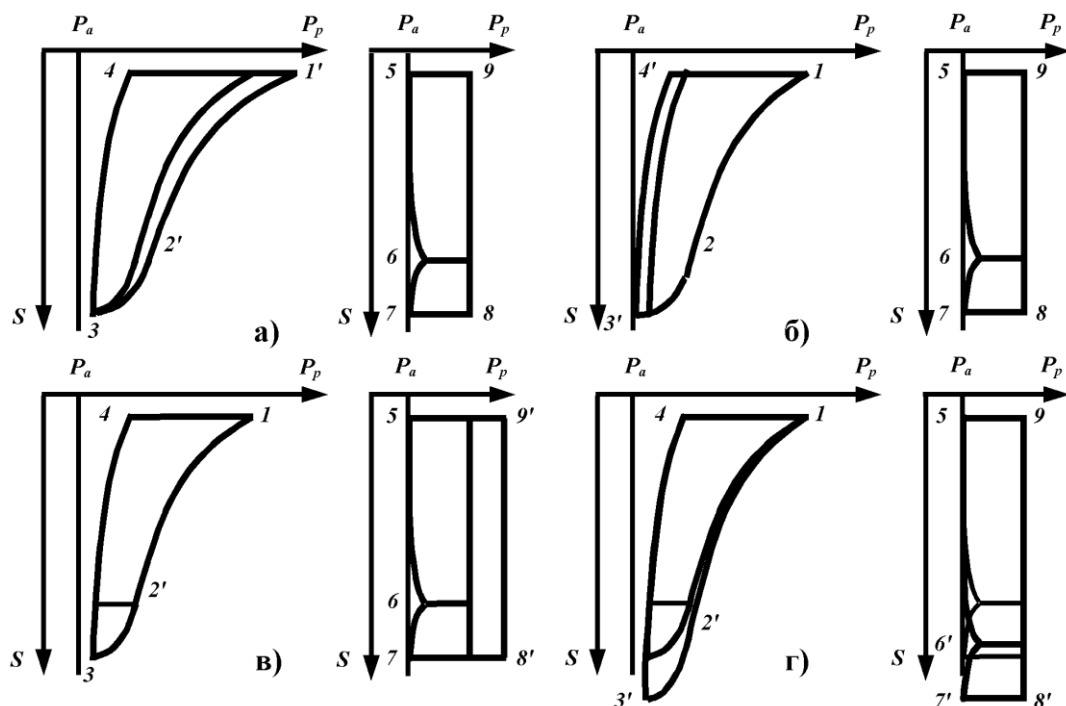


Рис. 3. Исследование влияния параметров на рабочий процесс ВСП-машины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. М., 1977.

УДК 343.37

М.Р. СИХИМБАЕВ

Д.А. ИСАГУЛОВ

Экспертиза в таможенном деле Республики Казахстан

При осуществлении таможенного дела решается целый комплекс общих задач фискального, контрольного, экономического, правоохранительного, статистического и защитного характера, требующих выполнения самых различных экспертиз [1-4].

Известно, что экспертиза является особым видом научно-практического исследования, проводимого экспертами с целью получения достоверного, квалифицированного, объективного и независимого заключения, необходимого для принятия обоснованного решения по проблемным или спорным вопросам, возникающим в разных сферах человеческой деятельности.

Проводимую в таможенных целях экспертизу в Республике Казахстан можно систематизировать и классифицировать по разным критериям [2, 3]:

- по цели экспертизы — судебные, носящие процессуальный характер, и несудебные (ведомственные);

- по отраслям науки или общественной практики (или общности научно-практических знаний).

По данным критериям выделяют такие классы экспертиз, как военные, политические, социологические, технические, экономические криминалистические, медицинские, искусствоведческие, товароведческие, экологические и др. Каждая отрасль знания, имея собственную теоретическую базу, формирует для экспертизы свой

специфический набор методических, технических и научно-правовых положений.

Каждый класс может включать экспертизы разного рода, которые характеризуются общими признаками: предметом, объектом, методикой и задачами экспертных исследований. В свою очередь, внутри одного рода экспертиз может происходить деление их на виды и подвиды, которые определяются изменением одного или нескольких характерных признаков рода. Например, если в технической экспертизе документов исследуются различные объекты, предметы, задаются разные задачи или применяются разные методики, то в этом случае имеют место разные виды и подвиды технической экспертизы документов.

В силу объективных причин наиболее перспективным в теоретическом, техническом и организационном плане в настоящее время является новый класс экспертизы — таможенная экспертиза. Это обусловлено тем, что их объектами являются материализованные источники информации: товары и предметы, перемещаемые через таможенную границу, а также их пробы, отобранные для исследования; объекты контрабанды и НТП; различного рода сопровождающие товар документы (таможенные, нормативно-правовые, финансовые и др.), используемые при таможенном оформлении и контроле.

Для обоснованного назначения экспертизы необходимо, чтобы сотрудник таможенного органа — инициатор ее проведения — обязательно знал основы теории и практики проведения соответствующей экспертизы (ее предметы, объекты, методы исследования, возможности и пр.).

К предмету таможенной экспертизы можно отнести как общие проблемы таможенного дела, так и конкретные факты и обстоятельства процедуры таможенного контроля. Наиболее важными среди них являются [2]:

- определение вида, состояния и назначения объекта таможенного контроля;
- классификация товара согласно ТН ВЭД;
- определение таможенной стоимости товаров;
- оценка рыночной стоимости товаров, исходя из их качественных показателей (марки, сорта, вида, натуральности материалов и т.д.);
- идентификация подлинности таможенных печатей, штампов и других знаков таможенного обеспечения товаров и документов;
- установление экологической и эксплуатационной безопасности товаров;
- определение химического состава и физической структуры товаров (веществ);
- определение характера товара (лицензионный, подакцизный, двойного назначения);
- идентификация наркотических и психотропных веществ;
- определение страны происхождения товара;
- определение нормы выхода готовой продукции и ее идентификация;
- идентификация озоноразрушающих веществ;
- диагностика драгоценностей, антиквариата, музейных ценностей и др.

Кроме того, предметом таможенной экспертизы могут стать отдельные вопросы, выдвигаемые оперативными работниками в процессе борьбы с контрабандой и НТП и являющиеся основными предметами других классов экспертиз: криминалистической, экономической, товароведческой, геммологической и др.

Для проведения таможенных экспертиз используются различные технические средства и методы экспертного исследования, часть которых была специально разработана для таможенных целей:

- а) органолептические методы;
- б) расчётные методы;
- в) инструментальные методы;
- г) экспертный способ.

Органолептические методы основаны на анализе ощущений или чувственных восприятий человеком характерных особенностей вещества (продукции), относящихся к его качественным и диагностическим признакам и показателям. Эти методы давно и с успехом применяют при оценке пищевых продуктов, ароматических веществ, некоторых потребительских товаров, а также драгоценных камней.

Расчётные методы основаны на установлении теоретических или эмпирических зависимостей между диагностическими или качественными признаками и некоторыми другими параметрами товара (материала). Например, установлена зависимость между диаметром

вставок ювелирных камней определённой массы и их плотностью, что позволяет проводить их оперативную диагностику с помощью обмера и последующих расчётов.

Инструментальные методы основаны на показаниях технических средств, с помощью которых определяются физико-химические свойства и различные признаки (диагностические, идентификационные и др.) материалов. В таможенной практике наибольшее применение нашли следующие методы:

- поляризационно-оптические;
- химические;
- спектральные (ультрафиолетовые — УФ, инфракрасные — ИК, видимая область — ВО-спектроскопия);
- методы использования индуцированного излучения (люминесценция, флюоресценция и др.);
- методы характеристического излучения (рентгеноспектральный флюоресцентный анализ — РСФА, рентгеноспектральный энергодисперсионный анализ — РСЭА, рентгеноспектральный анализ — РСА);
- электронно-микроскопические;
- рентгенофазовые;
- хроматомасс-спектрометрические;
- хроматографические;
- атомно-абсорбционные и др.

Экспертный способ состоит в том, что эксперты при исследовании товаров сами устанавливают номенклатуру качественных признаков и их балльную зависимость. Но к этому способу эксперты обращаются только в крайних случаях, когда на исследуемый товар не имеется соответствующих НТД.

Технологию таможенной экспертизы можно наглядно продемонстрировать на примере характерных для таможенной практики объектов — драгоценных материалов (геммологических объектов) [5]. На рис. 1 представлена технологическая схема проведения геммологической экспертизы. Многостадийный процесс экспертизы включает целый ряд операций, каждая из которых может являться самостоятельным видом экспертизы (например диагностика, сертификация и др.), состоять из одного или нескольких технологических приёмов (например пробоподготовка, очистка, взвешивание и т.д.).

Таможенную экспертизу драгоценностей не обязательно проводить по полному технологическому циклу. Количество и порядок технологических операций обуславливаются теми задачами, которые таможенники ставят перед экспертами.

Правом на проведение экспертизы могут обладать эксперты, работающие в экспертных учреждениях и имеющие специальные разрешения (лицензию) на экспертную деятельность. Обязательным условием для получения такого удостоверения является базовое образование соискателя (таможенное, юридическое, материаловедческое, товароведческое, искусствоведческое и др.), знание основ таможенного дела и экспертизы, знание рыночной конъюнктуры в отношении

исследуемых материалов и изделий, а также его высокая квалификация, которая зависит от его информационной активности и информированности — профессиональной, квалиметрической и культурной.

Информационная активность состоит в стремлении человека овладеть основами современной информатизации. Она зависит от желания, способностей и возможностей кандидата в эксперты. Профессиональная информированность включает объем знаний по истории развития и современному состоянию таможенного дела, а также отрасли знания, соответствующей определенному классу экспертизы, по объектам и предметам конкретных видов экспертизы.

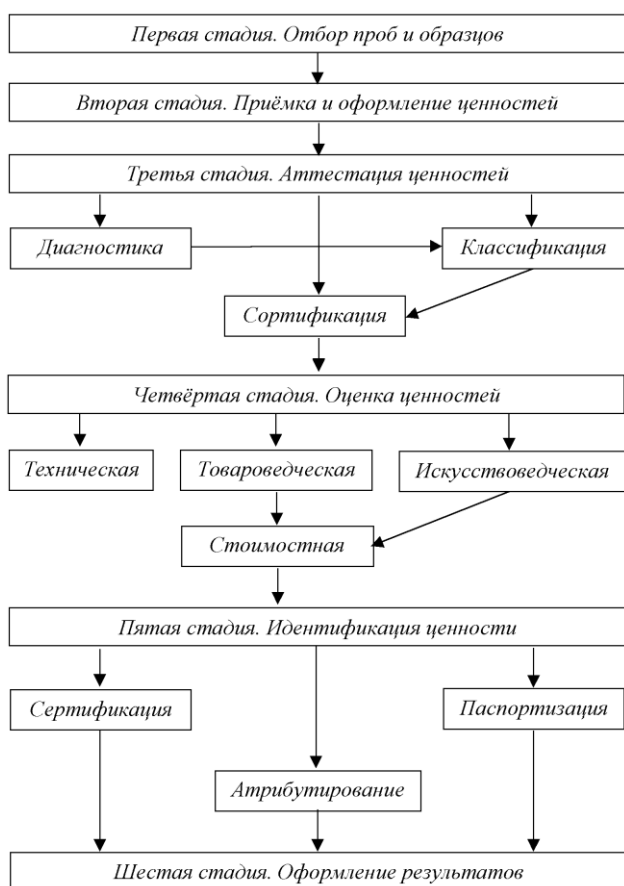


Рис. 1. Технологический цикл геммологической экспертизы

Таможенный эксперт должен быть профессионально информированным [2]:

- в существе требований национальных, межгосударственных и международных стандартов, а также регламентов, на соответствие которым проводится экспертиза;
- в методических, организационных, экономических и правовых вопросах (положениях)

проведения таможенной экспертной деятельности за рубежом.

Квалиметрическая информированность предусматривает знание экспертом основ квалиметрии. Культурная информированность основывается на широкой эрудиции и энциклопедичности знаний эксперта. Он должен владеть знаниями в области естественных, технических и гуманитарных наук.

Свою профессиональную и квалиметрическую компетентность таможенный эксперт может повышать путем:

- очного или заочного обучения в Казахстанской таможенной академии;
- регулярного участия в экспертизах и сертификации;
- самостоятельной работы в области теоретической и практической квалиметрии.

Личные качества эксперта обуславливаются его способностями, квалификацией, навыками, правильным отношением к труду (в том числе стремлением хорошо выполнять свою работу), контактностью (умением работать в сложной, а порой и конфликтной обстановке). Эксперт должен быть непредубежденным человеком, обладать здравым смыслом (суждением), умением анализировать, твердостью и способностью реалистично воспринимать ситуацию.

Экспертные организации, независимо от форм собственности (государственная, кооперативная, арендная), должны иметь статус юридического лица. Они обязаны быть независимыми настолько, чтобы их административная подчиненность и финансовое положение полностью исключали возможность какого-либо воздействия на персонал или результаты экспертизы со стороны администрации, коммерческих или правоохранительных организаций. К обязательным условиям, обеспечивающим их независимость, следует отнести:

- отсутствие совместных коммерческих интересов с поставщиками или потребителями исследуемой продукции;
- отсутствие хозяйственной деятельности в области разработки или изготовления исследуемой продукции;
- независимость экспертов от администрации, заинтересованной в проведении экспертизы.

Экспертным учреждениям необходимо иметь должностные инструкции для каждой категории экспертов и специалистов, устанавливающие их функциональные обязанности и ответственность, требования к уровню образования и профессиональной подготовке, научно-техническим знаниям и опыту.

Практика показывает, что необходимые для проведения экспертизы условия могут быть обеспечены лишь в специальных учреждениях: вузах, научно-исследовательских институтах, таможенных лабораториях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Государственного Таможенного комитета Республики Казахстан от 21 октября 1997 г. № 250-П «О порядке

назначения материаловедческой экспертизы товаров» (с изменениями, внесенными приказом ГТК РК от 12.12.97г. № 284-П).

2. Приказ Таможенного комитета Министерства государственных доходов Республики Казахстан от 22 мая 2000 г. № 162.
3. Положение «О центральной таможенной лаборатории» Таможенного комитета Министерства государственных доходов Республики Казахстан (утверждено председателем Таможенного комитета Министерства государственных доходов Республики Казахстан от 2 февраля 2001 г.).
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 6 апреля 2001 года № 453 «О мерах по осуществлению независимой экспертизы таможенной стоимости импортируемых товаров в Республику Казахстан».
5. Драганов В.Г. Основы таможенного дела: Учебн. пособие. М.: ОАО Изд-во «Экономика», 1998. 687 с.

УДК 621.9:658.512

В.Г. БОЯРСКИЙ
В.В. ЮРЧЕНКО

Методика создания системы автоматизированного проектирования штампов для холодной штамповки

Система автоматизированного проектирования штампов для холодной штамповки подготовлена для реализации в среде графического проектирования AUTOCAD при помощи среды программирования VBA [1] на основе рекомендаций по автоматизации конструкторских работ и технологической подготовке [2].

Решены некоторые расчетные задачи [3, 4], необходимые при проектировании штампов. При проектировании используется ограниченное количество деталей (матрица, пуансон, пуансонодержатель, съемник, верхняя и нижняя плита и т.д.). Выбор деталей, их размеров (которые рассчитываются вручную) производится на основе диалога при помощи графического изображения деталей и размеров.

В данной работе представлены алгоритмы процедур, которые формируют изображения деталей штампа и штампа в целом. Для создания изображений должны быть использованы средства графической системы, а именно средства формирования плоских изображений, состоящих из примитивов AUTOCAD, средства формирования трехмерных твердотельных поверхностей. Для реализации построений необходимо использовать средства привязки и механизм смены системы координат. Для упрощения построений рекомендуется использовать слои, т.е. вспомогательные построения, сечения деталей, сами детали, собственно изображение штампа строятся на отдельных слоях.

Алгоритм построен на основе рекомендаций для ручного проектирования штампов [3,4] и представляет собой последовательность процедур, каждая из которых является этапом проектирования отдельной детали штампа. При составлении алгоритма учитывались особенности проектирования в графической системе AUTOCAD. Также учитывалось то, что некоторые операции выполняются вручную, в частности, некоторые задачи по расчету отдельных размеров деталей, размеров, получаемых при компоновке, которые должны быть решены только на основе опыта проектировщика, а также некоторые задачи, которые выполняются в самой графической системе.

Для удобства проектирования все изображения деталей, а также контуры деталей необходимо создавать в отдельных слоях. Создание слоев в нижеприведенных алгоритмах не приводится.

Разберем методику проектирования на примерах расчета некоторых основных частей штампа. На рис. 1 представлен алгоритм процедуры формирования изображения матрицы.

В блоке 1 осуществляется вход в процедуру. Блок 2 представляет собой процедуру, в которой необходимо ответить на такие вопросы, как: есть ли нож, упор, матрица круглая или прямоугольная, наличие прижима, направляющие пластины и съемник сделаны как одно целое или нет, расположение колонок, наличие буфера и т.д.



Рис. 1. Алгоритм процедуры формирования изображения матрицы

В блоке 3 необходимо получить изображение вида сверху (в плане) с истинными размерами элементов рабочей зоны. Более подробно блок 3 описан ниже. В блоке 4 происходит формирование продольного сечения матрицы и ее трехмерное вычерчивание, методом выдавливания. В блоке 5 происходит выход из процедуры.

На рис. 2 представлен алгоритм процедуры формирования вида сверху.

В блоке 1 происходит вход в процедуру. Блок 2 предназначен для определения осей матрицы (центра давления) с целью ориентации элементов матрицы (вырубных окон). Данный блок выполняется в ручном режиме.

Блок 3 предназначен для рисования контуров вырубных окон матрицы. Для их вычерчивания определяются: ширина рабочей зоны матрицы (ширина между направляющими планками), шаг

между вырубными окнами, т.е. шаг при раскрое полосы, также определяются размеры ножа и упора (если они есть). Блок 3 выполняется в ручном режиме, т.к. получение раскроя полосы является отдельной и сложной задачей, но при создании автоматизированного решения раскроя полосы блок 3 может выполняться в автоматическом режиме.

Блок 4 предназначен для определения высоты матрицы.

В блоке 5 находятся размеры рабочей зоны матрицы, минимальные габаритные размеры прямоугольной матрицы, размеры и координаты под крепежные элементы (винты и штифты) на основе рекомендаций [3,4]. Для определения рабочей области (т.е. крайних характерных точек) необходимо указать область прямоугольником (во временном слое) либо указать крайние характерные точки с привязкой (графической системы AUTOCAD). Таким образом, определится размер рабочей области $a_r \times b_r$ и, исходя из этого, по таблицам определяются минимальные габаритные размеры $A \times B$ матрицы, затем определяются размеры винтов, штифтов и их координаты. Здесь необходимо создать механизм определения и пересчета координат для каждого отверстия для крепежного элемента.

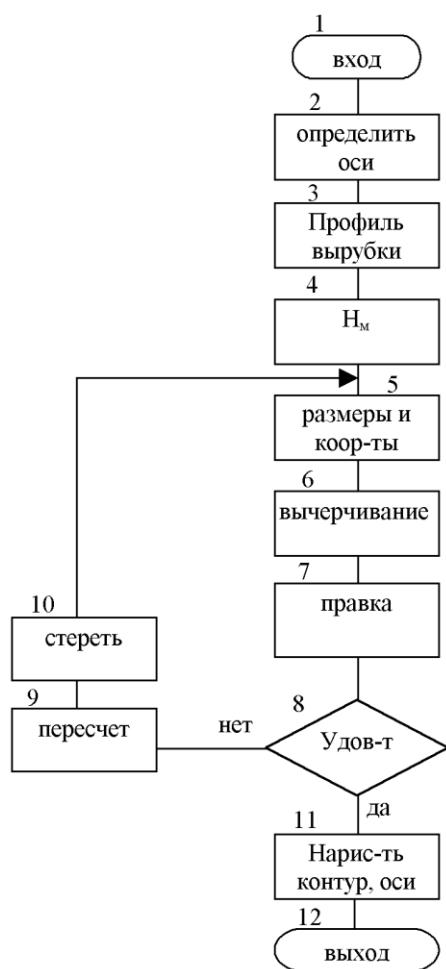


Рис. 2. Алгоритм процедуры формирования вида сверху

В блоке 6 вычерчиваются отверстия для крепежных элементов в соответствии с блоком 5.

В блоке 7 необходимо сделать проверку (вручную) для определения минимального расстояния между элементами матрицы в соответствии с рекомендациями [3,4].

Если в блоке 8 дается отрицательный ответ, то решение переходит в блок 9, в котором проводится перерасчет координат отверстий крепежных элементов вдоль осей X и Y вручную. В блоке 10 проводится стирание изображения отверстий, вычерченных блоком 6, и процесс движется к блоку 5.

Если в блоке 8 дан положительный ответ, то для трехмерного изображения рисуется прямоугольный контур матрицы (по блоку 5) и оси симметрии вдоль оси Z для каждого элемента матрицы — блок 11.

В блоке 12 происходит выход из процедуры.

Алгоритм процедуры формирования продольного сечения представлен на рис. 3.

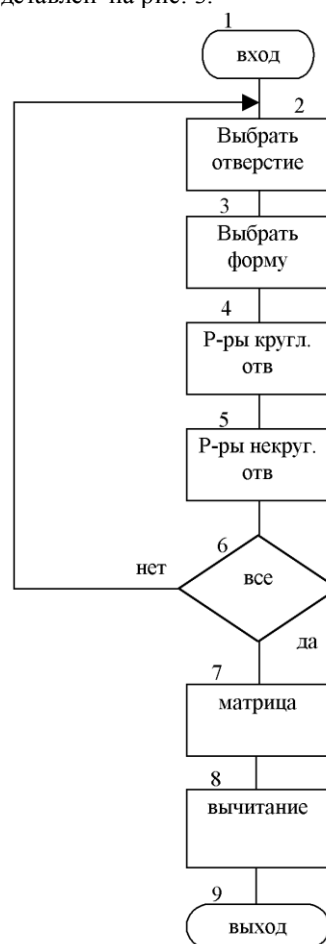


Рис. 3. Алгоритм процедуры формирования продольного сечения

В блоке 1 происходит вход в процедуру. Блок 2 предназначен для выбора тех окружностей отверстий, для которых необходимо сформировать продольное сечение (они были созданы в процедуре формирования профиля матрицы). В этом блоке осуществляется выбор отверстий методами графической системы.

В блоке 3 необходимо выбрать форму сечения отверстия по рекомендациям, изложенным в [2,3].

Блок 4 предназначен для внесения размеров поперечного сечения. Выбирается размер в

соответствии с картинкой поперечного сечения (блок 3), вносится значение размера, т.е. задаются размеры линий, дуг (к определенной картинке привязан программный код и значения размеров пересчитываются в координаты и присваиваются переменным, принадлежащим линиям, дугам). Внесенные значения размеров необходимо проверять (программно) с рассчитанной высотой матрицы. Затем необходимо из этих линий и дуг сформировать регион (команда графической системы), после чего производится формирование отверстия методом вращения на 360° относительно оси отверстия.

Привязка сечения к выбранной окружности отверстия с использованием точек привязки: для сечения — точка пересечения, лежащая на будущей оси отверстия, для окружности отверстия — точка центра окружности.

В блоке 5 вносятся размеры поперечного сечения в соответствии с блоком 3 и повторяются действия, описанные в блоке 4, за исключением самого формирования отверстия. Формирование отверстия производится методом выдавливания с внесением угла выдавливания, при этом угол выдавливания вносится со знаком (-), т.к. размер поперечного сечения должен возрастать.

Для создания всех профилей сечений отверстий и самих отверстий служит блок 6.

В блоке 7 производится формирование тела матрицы путем выдавливания прямоугольного контура (блок 11, рисунок 3) на величину, равную высоте матрицы со знаком (-), т.к. формирование производится вниз от уровня сечения.

В блоках 4 и 5 формируются не сами отверстия, а твердые тела такого же профиля, как и отверстия. Для того чтобы эти тела преобразовать в отверстия, принадлежащие телу матрицы, необходимо их сформировать методом вычитания. Для этого выбирается тело матрицы, а затем все элементы матрицы (механизм вычитания создан в самой графической системе) — блок 8.

В блоке 9 производится выход из процедуры.

Далее рассмотрим алгоритм процедуры формирования изображения нижней плиты, который представлен на рис. 4.

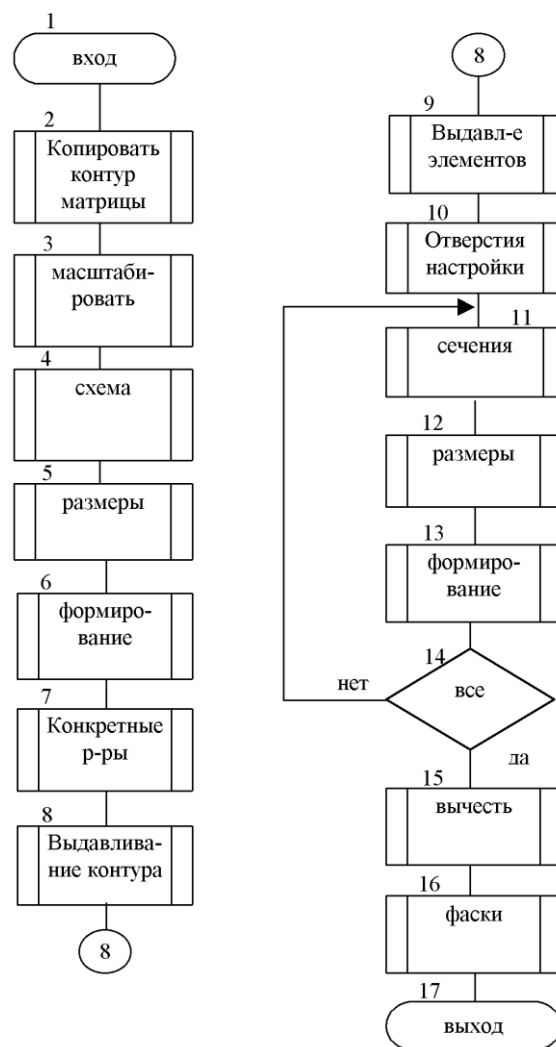


Рис. 4. Алгоритм процедуры формирования изображения нижней плиты

В блоке 1 осуществляется вход в процедуру.

В блоке 2 происходит копирование контура матрицы на расстояние, равное высоте матрицы со знаком минус, при этом прямоугольник матрицы не копируется.

В блоке 3 необходимо масштабировать окружности.

В блоке 4 следует выбрать контур нижней плиты на основе картинки.

В блоке 5 вносятся значения (приблизленно) размеров контура, указанных в блоке 4.

В блоке 6 происходит формирование изображения контура.

В блоке 7 вносятся значения размеров элементов нижней плиты и корректируются размеры контура нижней плиты.

В блоке 8 осуществляется формирование контура методом выдавливания на высоту, равную толщине нижней плиты со знаком минус.

В блоке 9 выдавливаются элементы нижней плиты (каждый на собственную высоту).

В блоке 10 указывается расположение отверстий для настройки нижней плиты с привязкой, при этом возможен вывод относительных координат для удобства слежения.

В блоке 11 необходимо выбрать отверстия со сложным продольным сечением и выбрать само сечение.

В блоке 12 вносятся значения размеров продольных сечений (блок 11).

В блоке 13 формируются тела вращения с целью получения отверстий.

В блоке 14 проверяется, все ли отверстия были сформированы.

В блоке 15 происходит формирование отверстий и других элементов нижней плиты методом вычитания.

В блоке 16 необходимо, где это требуется, снять фаски.

В блоке 17 происходит выход из процедуры.

Программное обеспечение строится на модульном принципе и организуется в виде библиотек: библиотека основных функциональных модулей, решающих отдельные законченные задачи конструирования (расчет и выбор габаритных размеров деталей, выбор места установки шаговых ножей или упоров, компоновка системы выталкивания, конструирование отдельных деталей, упоров, боковых прижимов и пр.) и библиотека модулей общего применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Е.М. AutoLISP Программирование в AutoCAD 14. М.: ДМК, 1999. 368 с.: ил.
2. Автоматизация конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении / Под ред. О.И. Семшакова. В 2 т. Минск: Вышайшая школа, 1977. Т 2. 334 с.
3. Романовский В.Г. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
4. Справочник конструктора штампов / Под общ. ред. Л.И. Рудмах М.: Машиностроение, 1988.

Раздел 2

Металлургия

УДК 541.1+669.168

С.Т. ГАБДУЛЛИН
Т.Д. ТАКЕНОВ
М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ
Л.В. ОСИПОВА

К термодинамике процессов испарения марганца, свинца и цинка в условиях электротермии ферромарганца

Современное специальное машиностроение и производство качественной металлопродукции черной металлургии предъявляют все более высокие и жесткие требования к чистоте стали и чугуна по вредным примесям, в том числе по цветным металлам (Pb, Zn, Cu, As и др.), поскольку они, вносимые ферросплавами в сталь или чугун, трудно удаляются из металлической ванны и отрицательно влияют на качество металлопродукции, резко снижая ее физико-механические и эксплуатационные свойства. Первичные и окисленные марганцевые руды месторождения Ушкатын III, по сравнению с рудами других месторождений Казахстана, содержат свинец и цинк в повышенных количествах (0,23-0,33% и 0,19-0,34% соответственно). Примеси цветных металлов в марганцевых рудах присутствуют в виде оксидных соединений. В этой связи нами изучена термодинамика процессов термической диссоциации оксидов марганца, свинца и цинка и их взаимодействия с монооксидом углерода с целью прогнозирования возможности удаления свинца и цинка и их оксидов в возгоны в условиях электротермии, а также потерь марганца в газовую фазу. При этом были рассчитаны термодинамические параметры следующих взаимодействий (см. табл.):

- (1) $2\text{PbO(тв)} = \text{Pb}_2(\text{г}) + \text{O}_2$
- (2) $2\text{PbO(тв)} + 2\text{CO} = \text{Pb}_2(\text{г}) + 2\text{CO}_2$
- (3) $\text{PbO(тв)} = \text{PbO(г)}$
- (4) $\text{PbO(тв)} = \text{Pb(г)} + 1/2\text{O}_2$
- (5) $\text{PbO(тв)} + \text{CO} = \text{Pb(г)} + \text{CO}_2$

- (6) $\text{ZnO(тв)} = \text{Zn(г)} + 1/2\text{O}_2$
- (7) $\text{ZnO(тв)} + \text{CO} = \text{Zn(г)} + 1/2\text{O}_2$
- (8) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) + \text{CO} = 2\text{MnO(г)} + \text{CO}_2$
- (9) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) + 3\text{CO} = \text{Mn}_2(\text{г}) + 3\text{CO}_2$
- (10) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) + 3\text{CO} = 2\text{Mn(г)} + 3\text{CO}_2$
- (11) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) = 2\text{MnO(г)} + 1/2\text{O}_2$
- (12) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) = \text{Mn}_2(\text{г}) + 3/2\text{O}_2$
- (13) $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{тв}) = 2\text{Mn(г)} + 3/2\text{O}_2$
- (14) $\text{MnO}_2(\text{тв}) = \text{MnO(г)} + 1/2\text{O}_2$
- (15) $2\text{MnO}_2(\text{тв}) = \text{Mn}_2(\text{г}) + 2\text{O}_2$
- (16) $\text{MnO}_2(\text{тв}) = \text{Mn(г)} + \text{O}_2$
- (17) $\text{MnO}_2(\text{тв}) + \text{CO} = \text{MnO(г)} + \text{CO}_2$
- (18) $2\text{MnO}_2(\text{тв}) + 4\text{CO} = \text{Mn}_2(\text{г}) + 4\text{CO}_2$
- (19) $\text{MnO}_2(\text{тв}) + 2\text{CO} = \text{Mn(г)} + 2\text{CO}_2$
- (20) $\text{MnO(тв)} = \text{MnO(г)}$
- (21) $\text{MnO(тв)} + \text{CO} = \text{Mn(г)} + \text{CO}_2$
- (22) $2\text{MnO(тв)} + 2\text{CO} = \text{Mn}_2(\text{г}) + 2\text{CO}_2$

ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ГИББСА, КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ И РАВНОВЕСНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ 1-22

Вещество	Энтальпия, ккал/моль	Энтропия, Е.У.	$C_p = A + B \cdot 10^{-3}T + C \cdot 10^{-5}T^{-2}$		
			A	B	C
1	2	3	4	5	6
PbO(тв)	-52,4	16,1	9,05	6,40	—
PbO(г)	10,1	57,34	8,57	0,24	-0,79
Pb(г)	46,8	41,89	4,79	—	—
Pb ₂ (г)	70,6	65,0	8,94	—	-3,88
ZnO(тв)	-83,2	10,4	11,71	1,22	-2,18
Zn(г)	31,18	38,45	4,97	—	—

Mn ₂ O ₃ (ТВ)	-228,7	26,4	24,73	8,38	-3,23
Окончание таблицы					
1	2	3	4	5	6
MnO ₂ (ТВ)	-124,3	12,7	16,60	2,44	-3,88
MnO(ТВ)	-92,0	14,3	11,11	1,94	-0,88
MnO(г)	42,42	56,5	8,45	0,33	-0,87
Mn ₂ (г)	-102,6	56,34	9,0	—	—
Mn(г)	67,2	41,49	4,97	—	—
O ₂	0	49,0	7,16	1,0	-0,40
CO ₂	-94,05	51,1	10,55	2,16	-2,04
CO	-26,4	47,3	6,79	0,98	-0,11

Значения ΔH₂₉₈, ΔS₂₉₈ и C_p взяты из данных Bureau of Mines, USA (горного ведомства США) и других сборников, апробированных в прикладных разработках термодинамических данных [1, 7].

Исходя из табличных значений ΔH₂₉₈, ΔS₂₉₈ и C_p, по уравнению свободной энергии Гиббса были определены для реакций (1-22):

$$\Delta G^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_T - T \cdot \Delta S^{\circ}_T, \quad (23)$$

подстановкой выражений:

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT, \quad (24)$$

$$\Delta S^{\circ}_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^T (\Delta C_p / T) dT \quad (25)$$

в (23) получено для свободной энергии Гиббса уравнение:

$$\Delta G^{\circ}_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \Delta S_{298} + T \int_{298}^T (\Delta C_p / T) dT. \quad (26)$$

Полученные нами зависимости свободной энергии представлены графически на рисунке 1.

Константа равновесия реакции K_p как функция от ΔG_T зависит от приращения свободной энергии в следующем виде:

$$K_p = e^{-\Delta G^{\circ}_T / (RT)}, \quad (27)$$

$$\text{Log} K_p = -\Delta G^{\circ}_T / (4,574T). \quad (28)$$

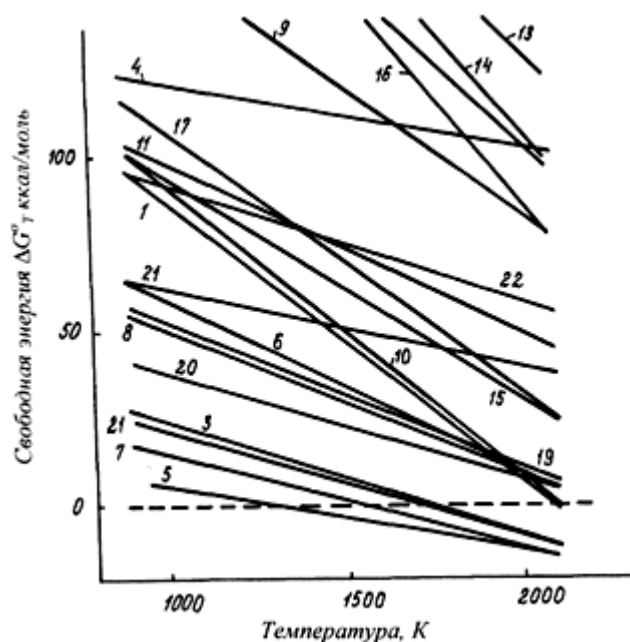


Рис. 1. Зависимости изменения свободных энергий Гиббса взаимодействий (1-22) от температуры

Исходя из указанного выше, применительно к взаимодействию (10) имеем

$$K_p = P^2_{Mn(r)} \cdot P^3_{CO_2} / P^3_{CO} \quad (29)$$

$$3P_{CO} + P_{Mn(r)} + 2P_{CO_2} = 1 \quad (30)$$

$$P_{CO} + P_{Mn(r)} + P_{CO_2} = 1 \quad (31)$$

Из (29-31) следует:

$$3,375 P^5_{Mn(r)} / P^3_{CO} - K_p = 0. \quad (32)$$

$$\text{Так как } P_{CO} = (1 - P_{Mn(r)} - P_{CO_2}) = 1 - 2,5 P_{Mn(r)}, \quad (33)$$

то

$$[3,375 P^5_{Mn(r)} / (1 - 2,5 P_{Mn(r)})^3] - K_p = 0 \quad (34)$$

$$3,375 P^5_{Mn(r)} + 15,625 K_p P^3_{Mn(r)} - 18,75 \times K_p P^2_{Mn(r)} + 7,50 K_p P_{Mn(r)} - K_p = 0 \quad (35)$$

Равновесное давление марганца применительно к взаимодействию (10) в интервале 700-2000 К было вычислено с последовательным использованием уравнений (28, 35) (рис. 2). Таким же образом константы равновесия K_p соответствующих продуктов реакций (1-9, 11-22) определяли по уравнению (28) и устанавливали значения их равновесных давлений по расчетным выражениям, аналогичным (35) (рис. 3, 4).

Результаты теоретических расчетов по термодинамике процессов термической диссоциации оксидов марганца, свинца и цинка и их взаимодействия с монооксидом углерода в условиях электротермии сводятся к следующим обобщениям по равновесным давлениям свинца, цинка, марганца и их оксидов (рис. 2-4):

1. Свинец (рис. 3). До 1000 К существенно взаимодействие (2), согласно которому равновесное давление свинца в газовой фазе достигает 0,1 атм. (1 атм = 98066,5 Па) при 1000 К. С 1300 К резко возрастает значимость реакции (3): уже при 1600-1700 К давление свинца в газовой фазе перекрывает значение P_{Pb(г)} для других взаимодействий.

2. Цинк (рис. 4). Испарение цинка начинается практически с 1000 К и по реакции (7) достигает 0,1 атм при 1200 К. При температурах выше 1700 К равновесное давление Zn(г) стабилизируется в интервале 0,5-0,7 атм. В то же время равновесное давление ZnO при температурах до 2000 К незначительно по величине.

3. Марганец (рис. 2). Улет марганца в газовую фазу протекает, в основном, в виде металлических паров Mn(г). Потери в виде MnO значительно меньше и только по взаимодействию (17). До 1000 К практически потери отсутствуют, а далее прогнозируются в виде паров Mn(г), Mn₂(г). При 1300 К P_{Mn(г)} равно 0,1 атм. Потери марганца при электротермии умеренны. Свинец и цинк, в основном, удаляются из минерального сырья в газовую фазу.

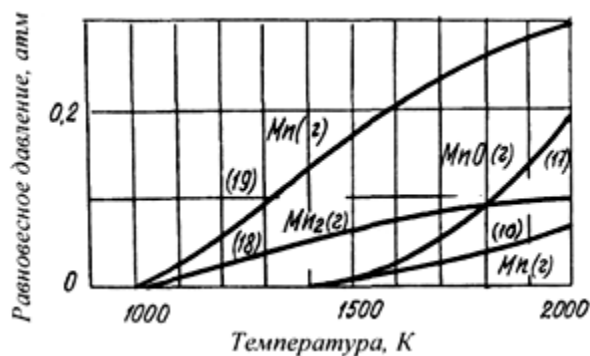


Рис. 2. Температурные зависимости равновесного давления марганца (реакции 10, 18, 19) и монооксида марганца (17)

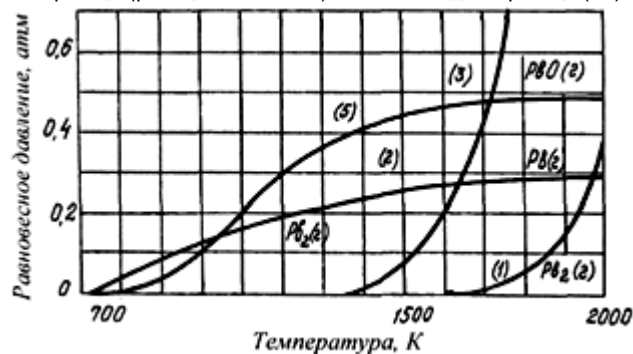


Рис. 3. Зависимости равновесного давления свинца (реакции 1, 2, 5) и оксида свинца (3) от температуры

4. Дана оценка улета свинца, цинка и марганца при электротермии в атмосфере монооксида углерода. Рассчитаны значения равновесного давления $Pb(g)$, $Pb_2(g)$, $Zn(g)$, обусловленного диссоциацией $PbO(тв)$, $ZnO(тв)$ в атмосфере CO , которые являются решающими для процессов испарения свинца и цинка в условиях электроплавки. Для свинца следует учесть $Pb_2O(g)$, особенно при горячем ходе плавки. Таким об-

разом, при электротермии марганцевого сырья с содержанием примесей свинца и цинка роль процессов испарения их существенна: согласно данным термодинамических расчетов прогнозируется удаление в возгоны основной массы свинца и цинка из марганцевых руд месторождения Ушкатын III при выплавке сплавов марганца, например, высокоуглеродистого ферромарганца.

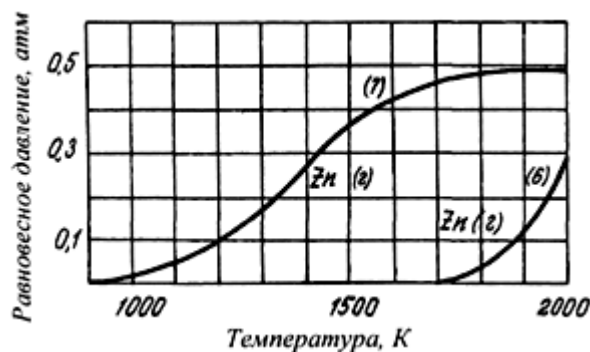


Рис. 4. Зависимости равновесного давления цинка (реакции 6, 7) от температуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lewis G.N. Thermodynamics. N.Y.: McGraw Hill, 1961. 324 p.
2. Drowart I. Condensation and Evaporation of Solids. London: Gordon and Breach Science Pub., 1964. 186 p.
3. Elliot J.F. Thermochemistry for steelmaking. London: Addison Wesley Pub., 1960. 252 p.
4. Kubaschewski O. Metallurgical Thermochemistry. London: Pergamon Press, 1967. 392 p.
5. Coughlin J.P. - Bulletin 542. Bureau of Mines, USA, 1954. P. 102-114.
6. Kelley K.K. - Bulletin 584. Bureau of Mines, USA, 1960. P. 232-249.
7. Kelley K.K., King E.G. - Bulletin 592. Bureau of Mines, USA, 1961. P. 149-163.

УДК 621.74:669.15.194

А.А. СМОЛЬКИН
А.З. ИСАГУЛОВ
О.А. ШАРАЯ

Разработка и исследование способа предотвращения поверхностного науглероживания коррозионно-стойких отливок из хромоникелевых сталей

Оборудование, выпускаемое химическим машиностроением, изготавливается с применением большого количества арматуры из различных коррозионно-стойких литейных сплавов. Краны, вентили, клапаны, затворы, задвижки и трубопроводы устанавливаются в самых ответственных узлах химического оборудования. Важнейшими показателями качества этих изделий является коррозионная стойкость в различных агрессивных средах [1].

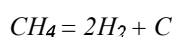
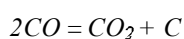
Благодаря высоким антикоррозионным и другим свойствам большое распространение получили арматурные отливки из хромоникелевых сталей аустенитного класса (например 10X18H9ТЛ).

Высокие антикоррозионные свойства хромоникелевых сталей зависят от многих факторов и в первую очередь объясняются свойствами однофазной структуры твердого раствора аустенита, легированного хромом (18%) и никелем (9%). Большую роль в формировании и сохранении этой

структуры играет углерод, содержание которого не должно превышать определенного количества. Повышенное содержание углерода вызывает образование карбидов хрома, т.е. образуется вторая фаза, поверхность зерен аустенита при этом обедняется хромом [2].

Наивысшими антикоррозионными свойствами обладают стали, содержащие минимальные количества углерода (не свыше 0,10-0,12%). С целью удержания углерода в твердом растворе и предупреждения выделения карбидов хрома может применяться легирование стали малыми добавками элементов, имеющих большое сродство к углероду, чем у хрома (*Ti, Ta, Nb*). Однако введение малых добавок значительно усложняет технологический процесс и сопровождается ухудшением литейных и механических свойств стали. Таким образом, углерод можно рассматривать как нежелательную примесь, которая обуславливает низкие антикоррозионные свойства изделий. Снижение содержания углерода рассматривается как основное средство повышения стойкости отливок к межкристаллитной коррозии.

В настоящее время прогрессивные методы изготовления стержней на искусственных смолах по холодной и горячей оснастке не могут применяться при производстве отливок из хромоникелевых сталей, т.к. наличие смол в стержневых смесях приводит к интенсивному науглероживанию (до 0,3%) поверхностных слоев отливок и, следовательно, к снижению коррозионной стойкости. Образующаяся при разложении смолы газовая среда имеет высокую науглероживающую способность. Отмечается, что *CO* и *CH₄*, которые образуются при разложении смол, диффундируют от поверхности раздела стержень — газовая среда к поверхности раздела газовая среда — металл и диссоциируют:



Образующийся углерод переходит в поверхностные слои отливки (растворяется или образует карбиды).

Использование покрытий на таких связующих материалах, как бентонит, декстрин, жидкое стекло и гидролизованый раствор этилсиликата, не дало заметного снижения науглероживания.

В отношении свойств различных синтетических смол, с точки зрения их науглероживающей способности, в литературе нет систематизированных данных. Не приводятся также какие-либо достаточно надежные технологические решения и рекомендации, позволяющие использовать процесс изготовления стержней по холодной и горячей оснастке при изготовлении отливок арматуры из хромоникелевых сталей.

Исследования газовой атмосферы, процессов смачивания и проникновения металла в поры формы при использовании фосфатных покрытий показали, что одновременно создается окислительная газовая атмосфера на границе металл — стержень и образуется прочный, высокоогнеупорный слой покрытия, предотвращающий взаимодействие металла

с компонентами формы, т.е. создаются благоприятные условия для уменьшения или предотвращения процессов поверхностного науглероживания коррозионно-стойких покрытий.

Науглероживание изучали на технологических пробах (рис. 1), которые представляли собой кольца с внутренним диаметром 100 мм, толщиной стенки 25 мм и шириной 70 мм. Рабочими поверхностями коррозионно-стойких отливок являются, как правило, их внутренние части, получаемые стержнями.

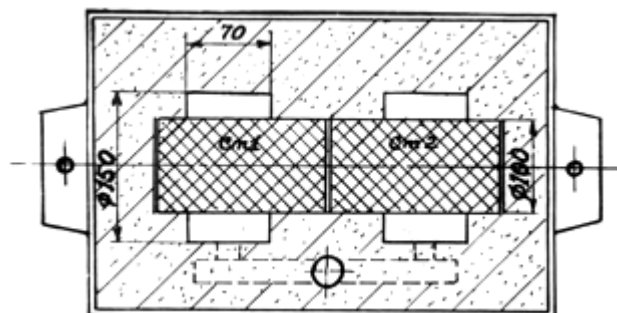


Рис. 1. Раскрытая нижняя полуформа

Для исследования процессов предотвращения поверхностного науглероживания при использовании алюмофосфатных и алюмохромфосфатных покрытий выбраны стержни, получаемые по холодным и горячим ящикам с использованием смол с различной науглероживающей способностью (табл.1).

Таблица 1

НАУГЛЕРОЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

№ пп	Марка связующего	Тип связующего материала	Катализатор отверждения	Способ изготовления стержней	Науглероживающая способность связующего
1	ВРБ	фенол-формальдегид	без катализатора	по горячим ящикам	слабая
2	ФФ-1 СМ	фенол-фурановый	соляная кислота	по горячим ящикам	сильная
3	ПК-104	фенол-формальдегид	уротропин	по горячим ящикам	сильная
4	БС-40	карбамидно-фурановый	ортофосфорная кислота	по холодным ящикам	средняя
5	ОФ-1	фенол-формальдегид	бензолсульфокислота	по холодным ящикам	сильная

Стержневая смесь состояла из 96% (вес.) песка Люберецкого марки ИКО2Б и 4% связующего. С помощью стержней получали внутреннюю полость технологической пробы.

Окрашивание стержней, изготовленных по горячим и холодным ящикам алюмофосфатными (АФ) и алюмохромфосфатными (АХФ) суспензиями не возможно, т.к. водные АФ и АХФ связующие плохо смачивают материал стержня, в результате чего суспензия не впитывается в поры, остается на поверхности стержня и стекает. Слой покрытия, если не принять дополнительных мероприятий, не

формируется (за исключением стержней на связующем БС-40) [3,4].

Как показали проведенные исследования, кроющая способность резко улучшается при добавке в составы АФ и АХФ суспензий поверхностно-активных веществ — алкамона и ДС-РАС в количестве 0,05-0,15% вес. Учитывая дефицитность ПАВ алкамон, дальнейшие исследования проводили с использованием в составе АФ и АХФ суспензий ПАВ ДС-РАС, который длительное время сохраняет пенообразующую способность.

Химический состав стали 10Х18Н9ТЛ, которая использовалась для получения технологических проб, приведен в таблице 2 (ГОСТ 2176-67).

Таблица 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛИ 10Х18Н9ТЛ

Cr	Ni	C	Si	Mn	Cu	P	S	Ti	Fe
17-20	8-11	не более 0,12	0,2-1,0	1-2	0,3	0,35	0,03	до 0,6	остальное

Для определения содержания углерода в поверхностном слое отливки (со стороны стержня) проводился послойный химический анализ, для чего с внутренней стороны отливки последовательно снимались 6-7 слоев стружки. Толщина снимаемых слоев была одинаковой и составляла 0,5 мм. Таким образом, исследованию подвергался поверхностный слой отливки толщиной 3,0 ÷ 3,5 мм. По результатам химического анализа каждого слоя оценивались глубина науглероживания, распределение углерода в поверхностном слое отливки.

Карбюризирующую способность газовой атмосферы в контактной зоне оценивали через соотношение концентрации окиси углерода (CO) к двуокиси углерода (CO₂) $\frac{CO}{CO_2}$ в период от момента заливки

форм до формирования поверхностного слоя отливки. Газовые пробы отбирали с границы контакта металл — покрытие (стержень) из технологической пробы, показанной на рис. 1. Отбор газовых проб и их анализ проводили на хроматографической установке.

Распределение углерода в поверхностном слое отливок, изготовленных с применением стержней на различных смолах без покрытий, приведено на рис. 2. Из рисунка видно, что содержание углерода в поверхностном слое отливок значительно превышает его содержание в центре. Науглероживание поверхности отливок можно оценить в данном случае двумя показателями: абсолютным увеличением углерода (ΔC) и глубиной науглероживанного слоя (h).

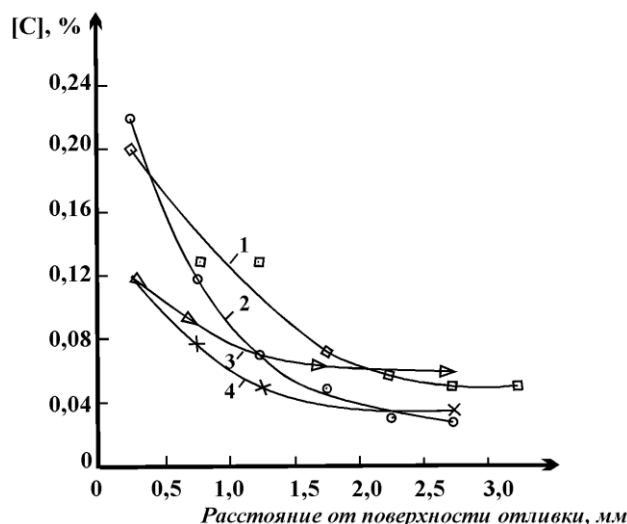


Рис. 2. Науглероживание поверхностного слоя отливок при использовании стержней на различных смолах, без покрытий: 1 — ОФ; 2 — ФФ-ИСМ; 3 — БС-40; 4 — ВРБ

Величину ΔC определим из выражения:

$$\Delta C = C_{i \text{ дѣл.}} - \tilde{N}_{i \text{ дѣл.}}, \%$$

где $C_{\text{макс.}}$ — максимальное содержание углерода в поверхностном слое отливки;

$C_{\text{мет.}}$ — содержание углерода в основном металле (содержание углерода в последнем слое).

Для отливок, изготовленных с использованием стержней на смолах ФФ-ИСМ, ОФ, ВРБ и БС-40, ΔC соответственно составляет 0,19; 0,15% 0,09 и 0,05%.

Окрашивание стержней, приготовленных на различных искусственных смолах, алюмофосфатными и алюмохромфосфатными покрытиями сопровождалось уменьшением или же полным предотвращением поверхностного науглероживания отливок, а также улучшением качества их поверхности, получением отливок без пригара.

Распределение углерода в поверхностных слоях отливок, полученных с применением стержней на различных связующих с нанесенными покрытиями, показано на рис. 3.

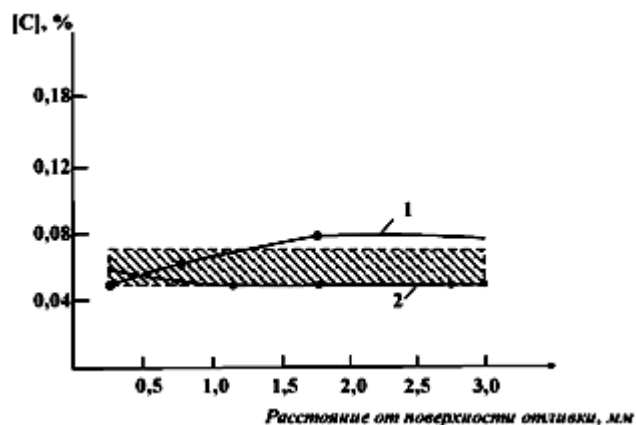


Рис. 3. Распределение углерода в поверхностном слое

отливок при использовании окрашенных стержней:
1 — VRB; 2 — ПК-104

На отливках, полученных с использованием стержней на смолах ПК-104, ФФ-ИСМ, ОФ и VRB, содержание углерода в поверхностных слоях практически не отличается от содержания в отливке и находится в пределах 0,05-0,07 % (заштрихованная область), т.е. $C=0$. Однако в зависимости от науглероживающей способности различных смол, распределение углерода в поверхностных слоях отливки на глубину до 1,0 мм неодинаково. На смолах, обладающих сильной науглероживающей способностью (ПК-104), происходит незначительное науглероживание ($\Delta C = +0,01$ %), что находится в пределах ошибки химического анализа. А на смолах, имеющих невысокую науглероживающую способность, достигается даже незначительное обезуглероживание (рис. 3, кривая 1, $\Delta C = -0,01$ %).

Таким образом, при использовании алюмофосфатных и алюмохромфосфатных покрытий для стержней с искусственными смолами наблюдается полное предотвращение поверхностного науглероживания отливок из хромоникелевых сталей, что позволяет получать отливки с однородной структурой по всему сечению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев Ф.И. Эффективные технологии — в литейном производстве // Литейное производство. 2002. №3.
2. Юкалов И.Н. Отливки из химически стойких сплавов. М.: Машиностроение, 1974.
3. Леушин И.О., Бурмистров А.О. Противопригарные покрытия на основе металлофосфатных связующих // Литейное производство. 2002. №2.
4. Леушин И.О., Грачев А.Н. Разработка эффективных противопригарных покрытий на основе алюмошламовых наполнителей // Там же. №4.

УДК 621.785.9:669.13

О.А. ШАРЯЯ
А.А. СМОЛЬКИН
Л.А. ДАХНО
В.И. ШАРЫЙ

Применение карбонитрации для упрочнения чугуна

Работоспособность деталей, подвергающихся при эксплуатации изнашиванию, зависит от физических и механических свойств рабочих поверхностей, которые в первую очередь определяются их микроструктурой. В связи с этим важное значение имеет широкое внедрение методов поверхностного упрочнения деталей.

В последние годы в промышленности широко используются методы низкотемпературной химико-термической обработки (ХТО), в том числе и в жидких средах.

Процесс карбонитрации [1] представляет собой ХТО, при которой происходит одновременное насыщение поверхности изделий азотом и углеродом из неядовитых расплавов цианово-кислых солей. Этот процесс широко применяется для повышения износостойкости деталей из различных марок сталей в автомобильной промышленности, а также инструментов [2, 3].

Целью данной работы является исследование процесса карбонитрации чугуна, применительно к изделиям, работающим в условиях трения и износа.

Материалом исследования служили образцы и изделия из серого и высокопрочного чугуна марок СЧ25; ВЧ60; а также серого специального для изготовления поршневых колец легковых автомобилей. Карбонитрацию проводили в расплаве цианово-кислого калия KCN (85-90 %) и поташа K_2CO_3 (10-15 %) в титановом тигле с продувкой воздухом. Температура обработки 823-843К, выдержка в расплаве 1-7 часов.

В результате карбонитрации на поверхности образцов указанных марок чугуна образуется темная зона, за которой следует нетравящийся в 2%-м спиртовом растворе HNO_3 слой, отделенный видимой границей от матрицы. Включения графита, пронизывая весь слой, выходят на поверхность (рис. 1).

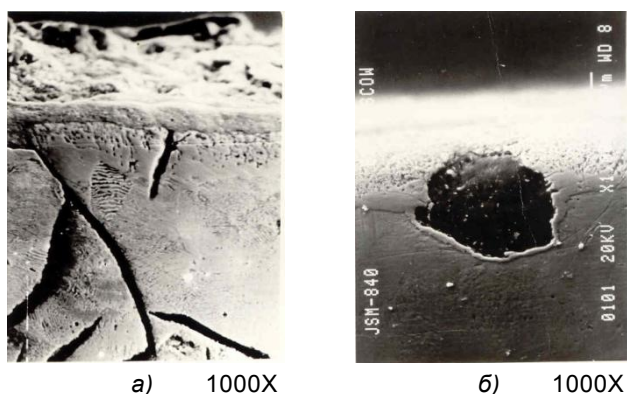


Рис. 1. Микроструктура чугуна после карбонитрации: а — марки СЧ25; б — марки ВЧ60

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре «Дрон 2» с последовательным снятием шлифованных поверхностных слоев глубиной $4 \cdot 10^{-6}$ (м) до исходной структуры чугуна.

Визуальная оценка линий по интенсивности показала, что очень сильные линии на рентгенограммах, снятых с поверхности, принадлежат оксидам Fe_3O_4 (решетка типа шпинели $a = 8,5 \text{ \AA}$), которые после удаления слоя $4 \cdot 10^{-6}$ м полностью исчезают на всех исследованных марках чугуна. Сильные линии, принадлежащие нитриду Fe_4N (γ' -фаза; ГЦК — решетка $a = 3,79 \text{ \AA}$ и карбонитриду Fe_3N, C (ϵ -фаза)), исчезают только после снятия слоя глубиной $12 \cdot 10^{-6}$ м на сером чугуне и слоя глубиной $16 \cdot 10^{-6}$ м — на чугуне марки ВЧ60. Однако последовательность расположения γ' - и ϵ -фаз в карбонитридном слое рентгеноструктурным методом не удалось установить. По-видимому, карбонитридный слой состоит из их дисперсной смеси.

Технологические режимы процесса карбонитрации влияют, в основном, на количественное соотношение фаз в поверхностном слое без изменения его фазового состава (табл. 1).

Таблица 1

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА КАРБОНИТРАЦИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 843К НА ГЛУБИНУ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СООТНОШЕНИЕ ФАЗ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

Марка чугуна	Продолжительность карбонитрации, ч	Расчетная толщина карбонитридных фаз, мкм	Относительное содержание фаз, %		
			Fe_3O_4	Fe_4N	$Fe_3(N,C)$
ВЧ60	3	12,4	7	46	47
	7	20,3	34	26	40
СЧ25	3	10,9	18	18	64
	7	14,0	48	22	30
Серый специальный	3	8,18	19	46,5	34,5
	7	10,6	62,5	10,5	27

Образование на образцах исследованных марок чугуна сложных карбонитридов приводит и к изменению свойств поверхности. Микродорометрический анализ показал повышение микротвердости в поверхностном слое в 2-4 раза на

серых чугунах СЧ25 и сером специальном и в 3-6 раз на высокопрочном чугуне ВЧ60.

При увеличении температуры карбонитрации микротвердость всех исследованных образцов повышалась. Однако высокая микротвердость на поверхности может стать причиной скалывания упрочненного слоя в процессе эксплуатации изделий, поэтому важно, чтобы наряду с высокой твердостью карбонитридный слой был также достаточно пластичным и хорошо сцепленным с матрицей чугуна.

Оценку пластичности карбонитрированного слоя проводили на приборе Роквелл вдавливанием индентора при нагрузке 600Н. В хрупких слоях вокруг отпечатков видны радиальные и тангенциальные микротрещины, по расположению, количеству и протяженности которых характеризуют хрупкость слоя. Отсутствие микротрещин вокруг отпечатков (рис. 2), полученных на поверхности карбонитрированных образцов из чугуна марок СЧ25 и ВЧ60, свидетельствует о пластичности слоя.

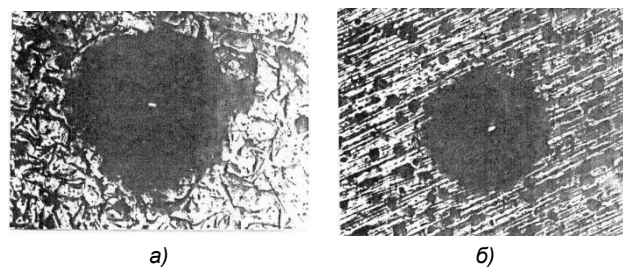


Рис. 2. Отпечатки Роквелла на поверхности образцов из чугуна после карбонитрации: а — марки СЧ25; б — марки ВЧ60

Высокая микротвердость в сочетании с хорошей пластичностью являются необходимым условием для обеспечения высокой износостойкости чугуна.

Испытания образцов на износостойкость проводили на машине трения конструкции НИИТАвтопрома, имитирующей работу пары трения «гильза цилиндра — поршневое кольцо» автомобильного двигателя. В этом виде испытания образцы из различных марок чугуна ВЧ60; серого специального (поршневое кольцо) неподвижно закрепляются, а контртело из чугуна марки СЧ25 (гильза цилиндра) совершает возвратно-поступательные движения со скоростью $V = 0,132 \text{ м/с}$.

В процессе испытания пары трения осуществляли непрерывную смазку трущихся поверхностей, используя масло «Индустриальное-20». На первой стадии испытания проводили притирку рабочих поверхностей в течение одного часа при нагрузке 25 МПа. В дальнейшем нагрузку дискретно увеличивали на 25 МПа через каждый час работы до максимального значения 250 МПа. За основную характеристику принимали линейный износ. Точность измерения $\pm 2 \text{ мкм}$.

Результаты испытаний на износостойкость приведены на рис. 3.

Скорость установившегося износа литых образцов (рис. 3, кривая 1) составила около $0,01 \text{ мм/ч}$, а через восемь часов испытания на их поверхности

наблюдалось интенсивное выкрашивание материала (рис. 4, а).

Наличие на поверхности образцов карбонитрированного диффузионного слоя приводит к существенному уменьшению износа. Период приработки для карбонитрированного чугуна (рис. 3, кривые 2-4) облегчается вследствие наличия оксидного слоя (Fe_3O_4) на трущейся поверхности. Уменьшение установившегося износа достигается за счет твердого карбонитридного слоя (Fe_4N , $(FeMe)_3$ (N, C), сохраняющего прочное сцепление с матрицей и невыкрашивающегося в процессе испытания в течение 4-5 часов. Далее наблюдается постепенное нарастание пластической деформации с последующим отделением частиц мате

риала с тончайших поверхностных слоев, приводящей к некоторому увеличению износа (до 0,04-0,06 мм за 10 часов испытания). Однако разрушение поверхности образцов незначительно (рис. 4, б). В связи с тем, что включения графита сохраняются в карбонитрированном слое и выполняют роль дополнительной смазки, не происходит схватывания исследуемых образцов с контртелом и налипания частиц материала на поверхность контакта. Наилучшую износостойкость из всех исследованных образцов имела пара трения, карбонитрированная при температуре 833К в течение 3 часов, при этом глубина слоя составляла 10-12 мкм.

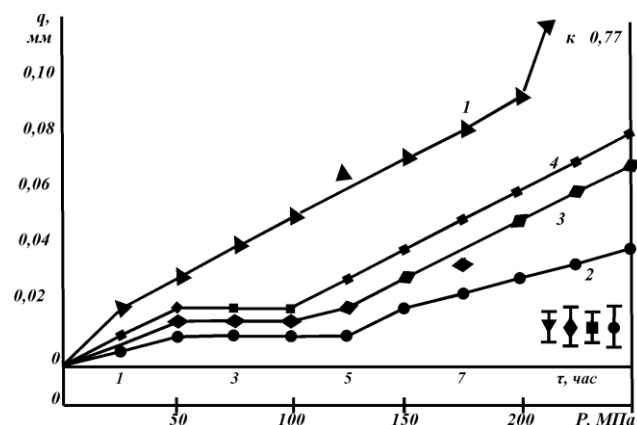


Рис. 3. Зависимость линейного износа q трущейся пары от времени испытаний при дискретно возрастающей нагрузке P . 1 — исходное состояние; 2 — карбонитрация 833К, 3 час.; 3 — карбонитрация 833К, 5 час.; 4 — карбонитрация 833К, 7 час.

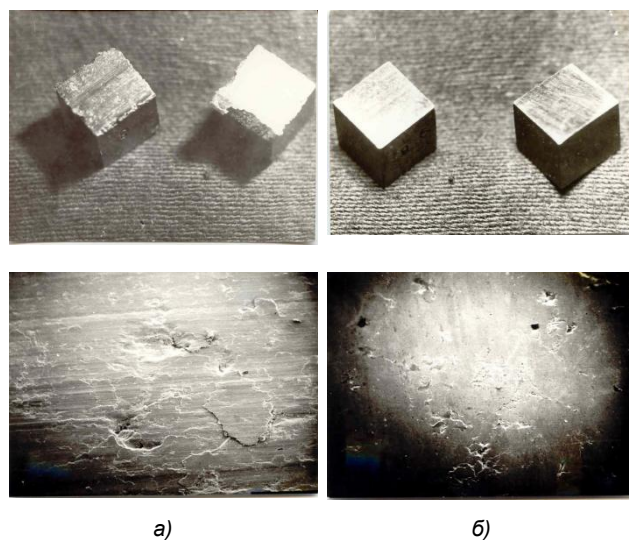


Рис. 4. Внешний вид и морфология поверхности после испытаний на износостойкость: а — литых образцов; б — карбонитрированных образцов

Дорожные испытания автомобиля ЗАЗ 968М показали, что износостойкость поршневых колец, карбонитрированных по приведенному выше режиму, из серого специального чугуна повысилась в 1,5 раза, а из чугуна марки ВЧ60 — в 2,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М.: Metallurgy; Машиностроение, 1984. 240с.
2. Кальнер В.Д., Юрасов С.А., Седунов В.К., Евсеев Ю.К. Структура и свойства окисленных карбонитридных покрытий // М и ТОМ. 1990. №3. С. 54-58.
3. Чочаева Т.И., Модель М.С., Кривоногов В.А. Фазовый состав карбонитрированного слоя стали 3Х3М3С // Защитные покрытия на металлах. Киев: Наукова думка, 1985. Вып.19. С. 72-74.

УДК 669.168

М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ

Изучение особенностей режимов работы рудно-термических печей при выплавке карбида кальция и углеродистого ферромарганца

Геометрические размеры печи и электрические параметры при различных процессах изменяются в широких пределах в зависимости от физических свойств и химического состава шихты, соотношения оксидной части шихты к восстановителю, электропроводности шихты, кратности шлака и др.

При изучении параметров карбидной печи с целью оценки возможности перевода ее на выплавку углеродистого ферромарганца был проведен сопоставительный анализ работы тепловых режимов работы двух процессов.

В связи с особенностями каждого процесса в первую очередь необходим выбор оптимальных геометрических и электрических параметров печи, которые являются взаимосвязанными. Такая взаимосвязь устанавливается в процессе проектирования новых печей или при реконструкции действующих. Если перевод печи с одного процесса на другой будет осуществляться без проведения реконструкции действующего агрегата, то геометрические параметры печи не будут взаимосвязаны с электрическими. В этом случае такие параметры, как размер электрода, распад электродов, длина, ширина и глубина ванны, будут независимыми и постоянными, и оптимизация процесса будет достигаться путем подбора шихтовых материалов за счет изменения их физических свойств, таких как температуры размягчения и плавления, электропроводность и т.д.

Внутреннее строение ванны, размер полостей реакционных зон и тиглей, распределение мощности между шихтой, дугой и расплавом зависят от электрического режима печи и являются взаимосвязанными параметрами. Это объясняется тем, что для каждого конкретного процесса существует оптимальный режим плавки, позволяющий выбрать взаимосвязь между строением рабочего пространства и электрическим режимом печи. Это прежде всего ток и напряжение на ванне, удельные значения мощности: плотность мощности в сечении ванны; плотность мощности в сечении, ограниченном распадом электродов; объемная плотность мощности и объемная плотность мощности в фактическом объеме ванны; глубина погружения электрода в проводящую среду; сопротивление ванны; длина столба дуги и высота расплава с учетом кратности шлака, а также высота столба шихты.

При анализе работы шлаковых и бесшлаковых процессов необходимо отметить, что во всех ваннах,

работающих с погруженными электродами, вокруг электродов образуются реакционные зоны, в которых электрическая энергия превращается в тепловую, за счет чего нагревается и плавится загруженная шихта с протеканием химических реакций и превращений. Поступление тепла в зоны происходит теплоизлучением от дуг в результате электрического сопротивления шихты и потенциальной энергии восстановителя. Данные зоны более характерны для бесшлаковых процессов и выражены более отчетливо при энергоемких технологических процессах, по сравнению со шлаковыми процессами, где эти зоны имеют слабовыраженные границы.

Исходя из того, что основной задачей данного анализа является изучение возможности перевода карбидной печи на процесс выплавки углеродистого ферромарганца, в первую очередь необходимо изучить специфические свойства процесса выплавки карбида кальция и углеродистого ферромарганца в зависимости от изменения электрических режимов процесса и геометрических параметров печи.

При выплавке карбида кальция расход сырья, извести на 1 т составляет около 1,6 т, а расход электроэнергии 2600-2800 кВт·ч/т сплава. Температура плавления основного компонента шихты (оксида кальция) равна 2600°C, температура испарения 2800°C. Температура карбида кальция во время выпуска составляет 1900-2000°C. При понижении температуры сплав быстро застывает из-за высокой вязкости и стенки тигля печи должны обладать повышенной устойчивостью. Как известно, основные физико-химические процессы образования сплава протекают в тигле. В рудно-термических печах для производства карбида кальция и углеродистого ферромарганца строение тиглей различно. В карбидной печи дуга закрыта сводом из шихты и горит между торцом электрода и жидким карбидом кальция, который располагается на подине ванны [1]. При этом дуга является центром тигля и окружена значительным газовым пузырем (рис. 1). Основная часть энергии дуги передается внутренним стенкам тигля, где происходят химические реакции взаимодействия шихтовых материалов и образования сплава, что является реакционной зоной. При удалении от дуги (область наивысших температур) температурный градиент снижается. Диссоциированные частицы попадают в газообразную сферу тигля, и часть энергии дуги передается газом. Она расходуется на

эндотермические процессы, протекающие в газах, или на их нагрев с передачей тепла шихте. За реакционной зоной, состоящей из полужидкой спекшейся шихтовой массы, находится более толстый слой стенок тигля [2].

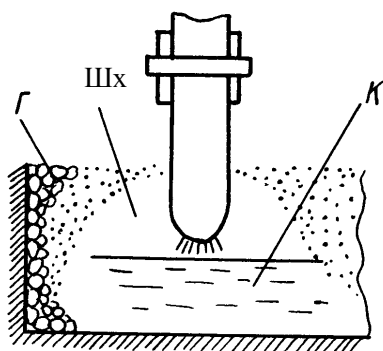


Рис. 1. Строение тигля карбидной печи: К — карбид кальция; Шх — шихта; Г — гарниссаж

Данный слой различен для процесса карбида кальция и углеродистого ферромарганца, где шихтовые материалы находятся в разном агрегатном состоянии в зависимости от температуры их плавления. Углеродистые материалы остаются в твердом состоянии, а железомарганецсодержащие материалы могут находиться в размягченном, полужидком состоянии из-за относительно низкой температуры плавления по сравнению с известью. По мере удаления от данной зоны агрегатное состояние шихтовых материалов меньше подвержено изменению, и наружные стенки тигля переходят в слой нормально прогретой шихты.

Представление о форме тигля трехфазной карбидной печи можно получить из формы тигля однофазной печи. Из-за высокого электрического сопротивления карбида кальция и его шихты при температуре ниже 1600°C и высокой вязкости карбидного расплава при низких температурах под каждым электродом образуется свой тигель (рис. 2). Вследствие этого относительная величина тока по схеме «треугольник» (от электрода к электроду) невелика. Ток протекает главным образом по схеме «звезда» и основная часть энергии выделяется в дуге. Благодаря этому возникает высокая концентрация мощности в самом тигле.

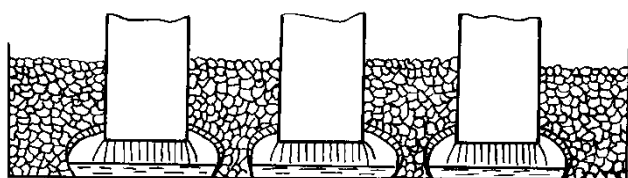


Рис. 2. Строение тигля трехэлектродной карбидной печи

Оптимальный режим достигается при учете электрических, геометрических и технологических параметров, где при оптимальных соотношениях напряжения и тока достигаются наилучшие показатели по использованию подведенной мощности

к соответствующему наименьшему удельному расходу шихтовых материалов и электроэнергии на единицу массы сплава и в наибольшем его выходе на единицу активной мощности.

Выплавка углеродистого ферромарганца сопровождается, в отличие от карбида кальция, другими электрическими режимами, и технологический процесс производства этого сплава характеризуется специфическими свойствами.

Углеродистый ферромарганец имеет в своем составе два основных компонента: марганец и железо и выплавляется из более легкоплавкого сырья — марганцевой руды. Процесс шлаковый, с кратностью шлака более 1. Оксиды марганца легковосстановимые: начиная с 500°C идет восстановление пиролюзита MnO_2 (окисленные типы руд) до Mn_3O_4 и, следовательно, химические процессы протекают в самой толще колошника с размягчением части шихты, поступающей в нижние зоны в виде расплавленной магмы. Процесс сопровождается высокой скоростью схода шихты, что влияет на электрические характеристики печи. В процессе выплавки, по мере накопления в тиглях значительного количества металла и шлака, для поддержания мощности и длины дуги требуется постоянное регулирование посадки электродов. Из-за высокой скорости схода шихты происходит частая деформация тиглей по сравнению с процессом выплавки карбида кальция. Снижается стойкость и прочность тиглей. Все эти причины приводят к тому, что температурный режим тигля при выплавке углеродистого ферромарганца нарушается чаще и дуга горит при менее благоприятных условиях, чем при выплавке карбида кальция.

В шлаковых процессах, работающих непрерывно и с погруженными электродами, строение ванны более сложное, в них над шлаком появляется слой магмы, значительный по глубине. Магма, в отличие от металла и шлака, представляет собой конгломерат из размягченных полурасплавившихся кусочков руды, шлака и пропитанного шлаком коксика. В этом слое проходят все основные реакции диссоциации оксидов с образованием жидких продуктов плавки, температура в этом слое практически не отличается от температуры шлака.

При составлении шихтовых материалов восстановитель всегда задается с некоторым избытком (не более 10% от стехиометрически необходимого количества), с учетом его потерь вследствие сгорания на колошнике, уноса из-за неполноты проходящих реакций. Избыток восстановителя, по мере осаждения колошника и накопления шлака, образует между шлаком и магмой слой кокса — «постель», которая служит своего рода фильтром для жидких продуктов плавки. При этом над магмой располагается слой сухой раскаленной шихты, покрытой свежей шихтой.

Электрический режим при выплавке сплавов марганца определяется свойствами шихтовых материалов, подводимая мощность распределяется на ток дуги и ток шихты. Работа печной ванны в «режиме сопротивления плюс дуговой режим» характерна для многих рудовосстановительных процессов. На рис. 3 приведена печь, служащая для выплавки углеродистого ферромарганца [3]. Ванна,

которая работает с открытым колошником, и поверхность колошника охлаждаются потоком холодного воздуха, объем которого примерно в 100 раз превышает объем газов, выделяемых в процессе восстановления, тем не менее, колошник разогревается до 500°C за счет тепла отходящих из реакционной зоны газов. На глубине 0,3-0,4 м от поверхности температура шихты достигает 1200°C, это является температурной границей начала реакционной зоны, простирающейся в глубину до поверхности подины. Марганцово-рудные материалы плавятся в интервале температур 1200-1400°C и превращаются в раскаленную магму, содержащую частицы кокса. В магме происходят эндотермические реакции восстановления марганца и железа, которые заканчиваются на поверхности шлака и в его слое. На шлаке скапливается не прореагировавший в магме коксик с образованием куполообразного слоя значительной толщины с вершиной у электрода и основанием на поверхности расплава. Через коксовый слой просачивается жидкий расплав с окончательным довосстановлением ведущих элементов. Под этим слоем происходит сегрегация расплава на металл и шлак. Слой коксика играет важную роль в электрическом режиме процесса, так как нагрев магмы и коксового слоя происходит за счет электросопротивления коксика пропитанного шлаком.

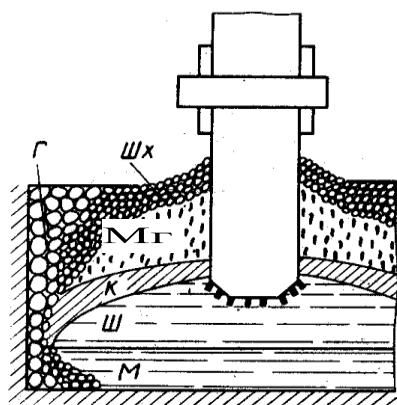


Рис. 3. Ванна печи для выплавки углеродистого ферромарганца: М — металл; Ш — шлак; К — слой кокса; Мг — магма; Шх — шихта; Г — гарниссаж

При нормальной толщине магмы печь, работая в режиме сопротивления, одновременно работает в дуговом режиме с образованием небольших дуг, т.к. плотность тока на торце электрода, погруженного в шлак, достаточно высокая, что и обеспечивает образование дуг.

При этом в шлаковых процессах дуга горит под шлаком, и сплав марганца находится под шлаком на подине (рис. 4). В шлаке выделяется $\approx 25\%$ всех энергий. Строение тигля трехфазной печи, в которой электроды расположены в ряд, имеет иную форму, чем при выплавке карбида кальция [2]. Тигли всех трех фаз сливаются в общий тигель (рис. 5), где основанием служит зеркало сплава, общее для всех трех фаз. Все три дуги опираются на это общее основание, которое и служит нулевой точкой звезды

токов дуг. Как видно из рис. 5, верхние стенки межфазного перекрытия тигля имеют сводчатое строение со спуском посередине и перегородки между фазами отсутствуют. Такое строение тигля происходит из-за высокой электропроводности шихтовых материалов и их низкой температуры плавления. Высокая электропроводность шихты приводит к тому, что значительная часть тока замыкается по схеме «треугольник» — от электрода к электроду, и энергия, выделяющаяся вне тигля, составляет, соответственно, значительную часть всей подводимой к печи энергии. Исходя из этого, шихта подогревается в верхних горизонтах печи, и так как температура плавления материалов не высокая, то размягчение, проплавление и восстановление шихты начинается на значительном расстоянии от дуги. Вследствие этого тигли под отдельными электродами получаются большими и сливаются в один общий для всех трех фаз тигель. Из-за большего рассеивания тепла и меньшей его концентрации в тигле печи колошник ферромарганцевых печей значительно горячее, чем у карбидных.

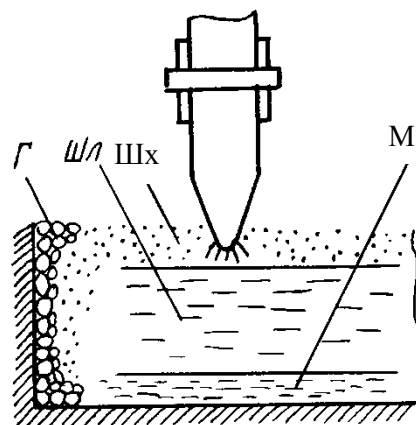


Рис. 4. Строение тигля печи для выплавки углеродистого ферромарганца: М — металл; Шл — шлак; Шх — шихта; Г — гарниссаж

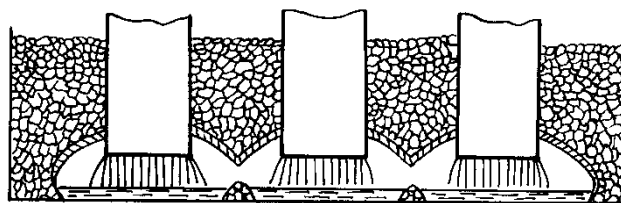


Рис. 5. Строение тигля трехэлектродной печи для выплавки углеродистого ферромарганца

Таким образом, проведенный анализ технологического и электрического режимов работы печи при выплавке карбида кальция и углеродистого ферромарганца показал, что тепловой и электрический режимы процессов отличаются и перевод печи с одного процесса в другой невозможен без проведения реконструкции, т.к. приводит к ухудшению показателей работы печи. Для проведения реконструкции ванны необходимо изучение электрических и геометрических параметров рудно-

термической печи с целью выбора и рекомендаций | оптимальных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максименко М.С. Основы электротермии М.: ГОНТИ. 1937.
2. Сисоян Г.А. Электрическая дуга в электрической печи. 3-е изд. М.: Metallургия. 1974. 304 с.
3. Струнский Б.М. Расчеты рудно-термических печей. М.: Metallургия, 1982. 192 с.

УДК 622.7(6)

Св.С. КВОН

Роль кристаллохимического строения магнетита в процессе его окисления

Окисление магнетита в ходе обжига железорудных материалов является одним из важнейших факторов, определяющих металлургические свойства готовой продукции. Анализ исследований закономерностей окисления указывает на различия в протекании процесса для магнетитов различного состава [1, 2]. Это различие наиболее ярко проявляется у изоморфно-замещенных концентратов, где часть ионов двухвалентного железа заменена ионами магния или кальция.

Как отмечалось ранее [3, 4], скорость химической реакции в системе пористое тело — газовый агент, в основном, определяется физическими параметрами пористой структуры. Железорудные окатыши, агломераты, природные магнетиты и т.д. — это ярко выраженные пористые тела, следовательно, скорость химической реакции взаимодействия с газовой фазой будет в первую очередь определяться их физической структурой. При этом предполагается, что константа скорости химической реакции k_c для всех магнетитов одинакова. На самом деле это не так. Если в решетке магнетита часть ионов Fe^{2+} заменена другими ионами (Mg^{2+} , Ca^{2+} и т.д.), то термодинамическая активность такого изоморфно-замещенного магнетита будет отлична от 1 и, следовательно, изменится величина k_c . Таким образом, скорость окисления в целом будет определяться двумя факторами: параметрами физического строения S и константой скорости химической реакции k_c :

$$W = f(S, k_c).$$

Помимо влияния кристаллохимического строения магнетита на кинетику окисления, очевидно, что и качественная природа процесса также будет меняться. Задача сравнения поведения магнетитов различного кристаллохимического строения обусловила выбор исходных материалов. Магнетиты Лебединского ГОКа (Россия) и Соколовско-Сарбайского ГОКа (Казахстан) практически свободны от примесей, в то время как концентраты Тейского месторождения (Россия) и Н.Сланы (Словакия) являются сильно изоморфно-замещенными (большая часть Mg входит в решетку магнетита), так называемыми магнемагнетитами [5]. Исследовали концентраты следующего химического состава:

Концентрат	$Fe_{общ.}$	FeO	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3
ССГОК	66,9	29,7	0,24	0,9	3,9	1,23
Лебединский	68,6	26,5	0,9	0,4	4,5	0,2
Тейский	54,5	23,05	1,24	7,1	7,2	3,1
Н.Слана	50,4	20,2	2,13	7,6	8,4	1,4

Образцы, изготовленные из этих концентратов, окисляли в тоне воздуха при температуре 900°C в течение 30 мин. Конечную степень окисления рассчитывали по изменению массы образца и данным химического анализа. Были получены следующие результаты (табл. 1):

Таблица 1

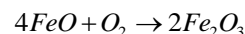
СТЕПЕНЬ ОКИСЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАГНЕТИТОВ

Концентрат	Степень окисленности концентрата, %	Конечная степень окисления	
		по массе	по данным хим. анализа
ССГОК	1,7	87,4	89,3
Лебединский	9,8	89,03	87,34
	1,31	73,66	74,44
Тейский	6,48	70,66	71,12
Н.Слана			

Надо отметить, что при сравнении данных различных анализов об окисленности образцов необходимо учитывать также исходную окисленность самого магнетита.

Как показывает расчет, проведенный с учетом химического состава концентратов, все исследуемые образцы являются частично окисленными еще до процесса окисления и содержат избыточную, по сравнению со стехиометрической, концентрацию ионов Fe^{3+} .

Тогда с учетом реакции окисления



и окисленности самого концентрата формулы для расчета конечной степени окисления будут иметь вид:

$$\beta = \left[\frac{\Delta P}{FeO_T \cdot P_S} + \left(1 - \frac{FeO_{вн}}{FeO_T} \right) \right] \cdot 100\%$$

$$\beta = \left[1 - \frac{FeO_{т\acute{e}}}{FeO_T} \right] \cdot 100\%,$$

где β — степень окисления образца, %;
 ΔP — изменение массы образца за счет окисления, г;
 P_S — начальная масса образца, г;
 $FeO_{вн}$ — содержание FeO в концентрате, доли по массе;
 $FeO_{ок}$ — содержание FeO в окисленных образцах, доли по массе;
 FeO_T — содержание FeO в концентрате при степени окисленности концентрата, равной 0.

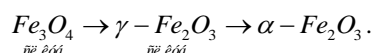
$$FeO_T = \frac{3}{7} Fe_{\text{св}}.$$

Результаты сравнения данных различного вида анализов показывают, что при выбранных условиях эксперимента образцы из Соколовско-Сарбайского и Лебединского концентратов хорошо окисляются ($\beta > 93\%$). Петрографический и рентгенофазовый анализы подтверждают эти выводы, свидетельствуя о наличии небольших количеств магнетита и в качестве основной фазы — гематита.

Результаты исследований окисленных окатышей из магномагнетитовых концентратов носят противоречивый характер.

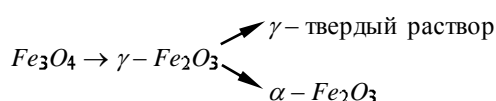
Данные химического и гравиметрического анализов свидетельствуют о высокой степени окисления и, следовательно, основной фазой составляющей должен быть гематит. Между тем, данные рентгеноструктурного анализа образцов из Тейского и Н.Сланы концентратов указывают на присутствие значительных количеств шпинели (тип решетки магнетита). Кроме того, дополнительные анализы, проведенные на аншлифах этих образцов показали наличие фазы, имеющей отражательную способность, близкую к отражательной способности магнетита.

В связи с этим было сделано следующее предположение. Процесс окисления магнетита протекает по схеме [5].



Как известно, $\gamma - Fe_2O_3$ — нестабильная форма и при комнатной температуре не фиксируется. Нестабильность $\gamma - Fe_2O_3$ связана с тем, что $\frac{2}{3}$ атомов кислорода имеют крайне неустойчивую в кристаллоэнергетическом отношении координацию — тетраэдр без вершины (к.ч. = 3), при этом пара электронов остается неподеленной (характеризуется комплексом типа $[(O^{6+})_2e]$).

Нестабильность $\gamma - Fe_2O_3$ доказана сравнением величин эффективных зарядов Q , рассчитанных с помощью остовно-электронного метода [5, 6]. Эти расчеты относятся к окислению свободного от примесей магнетита и, следовательно, «чистой» $\gamma - Fe_2O_3$. Логично предположить, что в случае окисления магномагнетита, ионы Mg^{2+} , наследуемые из магнетита, занимают «свободную» вершину тетраэдра, при этом все валентные электроны кислорода участвуют в химической связи, стабилизируя тем самым часть $\gamma - Fe_2O_3$ и образуя твердый раствор Mg в $\gamma - Fe_2O_3$. Другая часть $\gamma - Fe_2O_3$ претерпевает дальнейшие превращения. То есть схему окисления можно представить:



Исходя из этого предположения, легко объяснить противоречие между данными об окисленности различных методов анализа. $\gamma -$ твердый раствор (или легированный магнетит) имеет рентгеноструктурные

параметры и отражательную способность, близкие к соответствующим характеристикам Fe_3O_4 . В то же время содержание кислорода и степень окисленности железа такие же, как и для Fe_2O_3 .

Для подтверждения этого предположения фазовый состав окисленных образцов был изучен с помощью метода ЯГР. Анализ мессбауэрограмм показал в образцах из магномагнетитовых концентратов наличие трех фазовых составляющих: твердый раствор магния в $\gamma - Fe_2O_3$, Fe_2O_3 и небольшое количество Fe_3O_4 . Фазовый состав Лебединских и Соколовско-Сарбайских концентратов после окисления характеризуется наличием только двух фазовых составляющих: Fe_2O_3 и остаточный Fe_3O_4 .

Измерение микротвердости фазовых составляющих (табл. 2) окисленных образцов из магномагнетитов показал наличие фазы, имеющей значение микротвердости, близкое к микротвердости $\gamma - Fe_2O_3$ [6], что косвенно подтверждает наличие $\gamma -$ твердого раствора.

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ, KPA/MM^2
ОСНОВНЫХ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Концентрат	До окисления	После окисления
ССГОК	689	1098
Лебединский	592	1095
Тейский	689	1019/1099
Н.Слана	643	1002/1103

Примечание: в числителе: микротвердость γ — твердого раствора; в знаменателе: микротвердость гематита.

Для уточнения влияния кристаллохимического строения магнетита на кинетику его окисления все исследуемые концентраты были приведены к равному гранулометрическому составу, а образцы из них изготовлены в одинаковых условиях. Таким образом, была получена одинаковая пористая структура для разных магнетитов. Исследования этих структур, проведенные с помощью метода ртутной порометрии, показали, что они характеризуются близкими параметрами (табл. 3).

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ОКИСЛЕНИЯ РАЗНЫХ МАГНЕТИТОВ ПОСЛЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Концентрат	Содержание фракций			$\frac{V_{\text{п}} \cdot \bar{r}^2 / \bar{a}}{S \cdot i^2 / \bar{a}}$	Средняя скорость окисления, %/мин
	+45 мкм	-45 мкм	-25 мкм		
ССГОК	7,0	93,0	67,7	$\frac{0,1012}{1,4163}$	3,32
Лебединский	3,17	96,83	76,76	$\frac{0,0897}{1,4673}$	3,31
Тейский	9,11	90,89	71,03	$\frac{0,0869}{1,6718}$	3,22
Н.Слана	6,8	93,2	65,02	$\frac{0,1301}{1,6621}$	3,2

Как видно из данных таблицы 3, разница в скоростях окисления в образцах с равной пористой структурой, но с разной кристаллохимией магнетита приблизительно одинакова. Следовательно, можно утверждать, что на кинетику процесса значительно большее влияние оказывает физическая структура магнетита, чем его кристаллохимическая природа.

Между тем, хотя влияние кристаллохимического строения магнетита на кинетику окисления невелико,

оно качественным образом изменяет картину процесса, т.к. оказывает влияние на конечный фазовый состав окисленного продукта.

Конечный фазовый состав окисленного магномагнетита характеризуется Fe_3O_4 и твердым раствором магния в $\gamma - Fe_2O_3$ (легированным магнетитом). Присутствие γ — твердого раствора, очевидно, окажет влияние на металлургические свойства окисленного продукта, особенно на прочность при восстановлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенова Г.Я., Зуев В.В., Берман Ю.А. Окисление магнетита // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. №9.
2. Меламуд С.Г., Авдонина М.П. К вопросу об окислении магнетита при обжиге железорудных окатышей // Изв. РАН. Металлы. 1982. №6.
3. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М.: Химия, 1992. 320 с.
4. Квон Св.С., Буканов Ж.У. Моделирование процесса химической реакции в системе пористое тело — газовый агент // Труды университета / КарГТУ. Караганда, 2002. №1.
5. Щека С.А., Пятков А.Г., Вржосек А.А. Парагенезис микроэлементов магнетита. М.: Наука, 1980. 158 с.
6. Овчинников А.Н. О магнетите. Свердловск: Недрa, 1983.

УДК 669.018.44

С.Г. КАНУННИКОВА
Т.Ж. ЖУКЕБАЕВА
Д. ТОРБАЕВА

Образование сетки разгара на отливках из серого чугуна в условиях термоциклирования

Основной причиной образования и развития сетки разгара являются температурные напряжения, возникающие на поверхности отливок.

Опыт эксплуатации изложниц показывает, что момент появления, характер и интенсивность развития трещин обусловлены не только напряжениями, но и изменениями механических свойств чугуна, и в первую очередь пластичности, которая резко снижается в процессе роста чугуна [1, 2].

В соответствии с известной схемой Д.К. Чернова [3] основное значение имеют напряжения, возникающие в процессе сокращения отдельных призматических элементов* в направлениях, параллельных плоскости стенки изложницы.

По схеме Д.К. Чернова при нагревании поверхности CC (рис. 1, а) наружные слои прогреваются до значительно более высоких температур, чем глубинные (в плоскости ff). Призматический элемент должен принять $ff'c'$. Но поскольку ему мешают соседние объёмы (К и М), то он расширится по профилю $ff''c''$, претерпевая уплотнение, как бы путём механической обработки давлением. При охлаждении больше всего сокращаются наружные слои. Поэтому каждый элемент принимает форму $ffc'''c'''$ (рис. 1, б), стремясь оторваться от соседних, что и приводит к образованию сетки трещин (рис. 1, в).

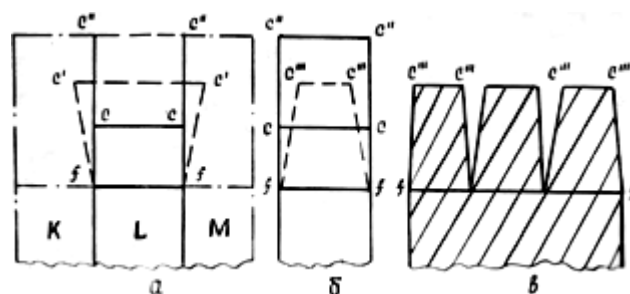


Рис. 1. Схема образования сетки разгара по Д.К. Чернову

Известно, что после удаления слитков, температура глубинных слоёв выше, чем поверхностных. В связи с этим на внутренней поверхности изложницы возникают растягивающие напряжения, вызванные торможением быстрее охлаждающихся поверхностных слоёв глубинными. Эти напряжения приводят к образованию трещин второго рода.

Для уточнения роли этих напряжений при образовании и развитии сетки разгара методом направленных секущих С.А. Салтыкова определена ориентация ячеек в продольном и поперечном направлениях изложницы. Подсчёт количества пересечений секущих с трещинами сетки разгара вели на пяти изложницах типа К-8 после 30, 40 и 50 наливов. В каждом сеансе сделано по 10 подсчётов в продольном и поперечном направлениях изложницы. В качестве секущих использованы линии сетки с ячейкой 100×100 , натянутой на квадратную рамку со стороной 500 мм.

Располагая двумя средними числами пересечений на параллельных и перпендикулярных секущих по

* По мнению А.А.Горшкова [1], можно представить стенку, состоящую из определенных объемов металла, отделенных друг от друга плоскостями слабины. В чугуне такими плоскостями могут быть графитовые включения.

графитовых включений берут своё начало трещины. Характерно, что даже в половинчатом чугуна трещины начинают развиваться от графитовых включений, а не от цементита. Хотя после нескольких термоциклов в цементите и образуются микротрещины, они прекращают развитие, не выходя за пределы цементитных участков, и не являются причиной появления макротрещин.

Рост чугуна при распаде карбидов составляет 0,4-0,5%. Такое увеличение объема чугуна, применяемого для отливки изложниц, ввиду его большой пористости (не менее 1,2%), не приводит к понижению механических свойств. Наоборот, они даже повышаются, и уменьшается вероятность образования сетки разгара.

Известно, что изложницы из ферритно-перлитного чугуна хуже противостоят образованию сетки разгара, чем из перлитного, хотя перлитный чугун обладает пониженной пластичностью по сравнению с ферритным.

Установлено, что время контакта образца с жидкой сталью, от 0,5 до 5 с, не играло заметной роли для отожженных образцов, а на отожженных образцах сетка разгара образовывалась скорее при увеличении времени контакта. Характерно, что ростоустойчивость отожженных образцов ниже, чем неотожженных.

О существенном влиянии роста чугуна на его разгароустойчивость свидетельствует и тот факт, что с увеличением продолжительности выдержки слитков в изложницах сетка разгара образуется раньше и развивается более интенсивно.

Заметим, что при этом градиент температур будет меньше, чем в случае непродолжительной выдержки.

Окислительные процессы в феррите протекают значительно быстрее, чем в перлите. При испытании образцов из перлитоферритного чугуна на разгароустойчивость установлено, что пограничное окисление феррита наблюдается после 10-20 циклов, в первую очередь вокруг графита. При увеличении количества циклов окисление продвигается от графитовых включений в глубь матрицы в основном по ферритным полям, огибая перлитные участки, и только при значительном количестве циклов (150-200) может проходить и по перлиту. По границам перлитных колоний тонкая сетка окисления появляется после 40-60 циклов.



Рис. 4. Вид сетки разгара на стенке изложницы №478 после наливов ($\times 0,5$): а) контрольный участок; б) участок, легированный феррохромом, фракцией до 1 мм.

Феррит более склонен и к межкристаллитной коррозии по сравнению с перлитом.

Известно также, что трещины коррозионной усталости распространяются в основном по зернам феррита, что объясняется меньшей механической прочностью и более отрицательным электродным потенциалом феррита относительно перлита.

Поэтому изложницы из чугуна с перлитной структурой лучше противостоят образованию сетки разгара, чем с перлитоферритной, с другой стороны, разгароустойчивость ферритного чугуна с мелкими включениями графита, полученного нами в поверхностном слое изложниц при использовании стержней из материалов с высокой теплоаккумулирующей способностью, выше перлитоферритного.

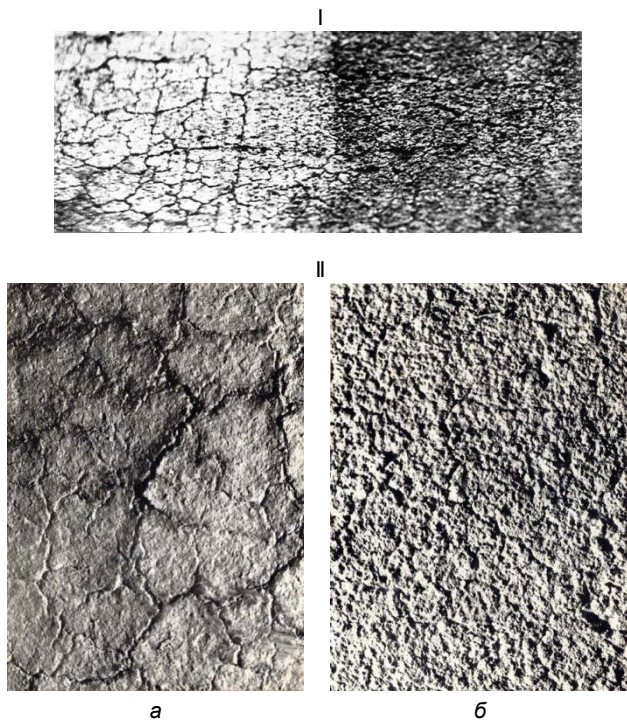


Рис. 5. Сетка разгара на стенке изложницы после 30 наливов:
 I — общий вид; II — участки, сфотографированные перпендикулярно плоскости стенки ($\times 0,5$): а — контрольный, б — опытный, легированный феррохром фракций 2-3 мм

Следовательно, для замедления развития сетки разгара на изложницах необходимо повышать либо пластичность (в условиях умеренного окисления), либо ростоустойчивость, даже в ущерб пластичности.

Следует отметить, что сетка разгара является браковочным дефектом только при использовании изложниц для разливки ответственных марок сталей. В большинстве же случаев изложницы эксплуатируют до полного их износа, то есть до образования выгаров. Таким образом, важен не момент появления трещин, а интенсивность их развития, определяемая глубиной и шириной трещин и величиной ячеек сетки.

Наши наблюдения свидетельствуют о том, что глубина трещин не является решающим фактором при срыве рабочего слоя. При эксплуатации изложниц из обычного серого чугуна и из чугуна, легированного хромом, оказалось, что на первых глубина трещин составляла 40-45 мм, а на вторых — 60-70. Но на обычных изложницах после 43-45 наливов наблюдались случаи срыва рабочего слоя, а на опытных — после 53 наливов были только узкие, не полностью замкнутые в ячейки трещины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.А. Отливки для металлургического оборудования. М.: Свердловск: Машгиз, 1975.
2. Могилев В.К. Исследование причин образования и способов предотвращения эксплуатационных дефектов на рабочей поверхности изложниц: Автор. дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1978.
3. Чернов Д.К. Наука о металлах. М.: Металлургиздат, 1950.

Раздел 3

Геотехнологии

УДК 550.838.08

В.С. ПОРТНОВ

Магнитное поле в скважине конечных размеров.
III. Однородно намагниченный пласт

Известно [1], что результаты измерения магнитной восприимчивости и компонент магнитного поля зависят от изменений диаметра скважины. Одним из способов учета этого влияния является приведение результатов измерений в скважинах различного диаметра к единым условиям, т.е. к «стандартному» диаметру, за который принят наиболее часто встречающийся в практике геологоразведочных работ на магнетитовых месторождениях диаметр 76 мм.

В настоящей работе мы рассмотрим этот вопрос теоретически. В работе [2] нами получено общее аналитическое решение задачи о магнитном поле в скважине конечных размеров с произвольными граничными условиями. Рассмотрим однородно намагниченный пласт и соответствующую задачу с граничными условиями вида:

$$\left. \begin{aligned} U(r, z, t) /_{t=0} &= 0; \\ U(r, z, t) /_{r=R} &= U_1 = const; \\ U(r, z, t) /_{z=0} &= U_2 = const; \\ U(r, z, t) /_{z=\beta(t)} &= U_3 = const. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тогда общее решение задачи примет вид:

$$\begin{aligned} U(r, z, t) = \sum_{\xi=0}^{\infty} I_0(\lambda_{0\xi} r) \left\{ \ell^{a^2 t} \left[\frac{RI_1(\lambda_{0\xi} R)}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{U_1}{\sqrt{t-\tau}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \ell^{-a^2 \tau} \ell^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} d\xi + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} \ell^{-\frac{z^2}{4a^2(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} \ell^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a^2(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau \right] \right\}. \quad (2) \end{aligned}$$

Нам нужно вычислить интегралы:

$$I_1 = \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{U_1}{\sqrt{t-\tau}} \ell^{-a^2 \tau} \ell^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} d\xi, \quad (3)$$

$$I_2 = \int_0^t \frac{z}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} \ell^{-\frac{z^2}{4a^2(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau, \quad (4)$$

$$I_3 = \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a^2(t-\tau)]^{3/2}} \ell^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a^2(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau. \quad (5)$$

При больших временах измерения t интегралы I_2 и I_3 пренебрежимо малы и $\ell^{a^2 t} \rightarrow 1$. Тогда задача сводится к вычислению интеграла I_1 :

$$I_1 = \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{\gamma(\xi, \tau)}{\sqrt{t-\tau}} \ell^{-a^2 \tau} \ell^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}} d\xi = U_1 \int_0^t \frac{\ell^{-a^2 \tau}}{\sqrt{t-\tau}} I_1'(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Чтобы вычислить $I_1'(\tau)$, в (6) сделаем замену

переменных $y = \frac{z-\xi}{\sqrt{4a^2(t-\tau)}}$, тогда получим

$$I_1'(\tau) = \sqrt{4a^2(t-\tau)} \left[\int_0^{z_2} \ell^{-y^2} dy - \int_0^{z_1} \ell^{-y^2} dy \right], \quad (7)$$

где $z_1 = \frac{z}{\sqrt{4a^2(t-\tau)}}$, $z_2 = \frac{z-H}{\sqrt{4a^2(t-\tau)}}$.

Интегралы в квадратных скобках представляют собой функцию

$$\operatorname{erfz} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \ell^{-y^2} dy. \quad (8)$$

Используя (8) и ее разложение в ряд, после несложных вычислений получим

$$I_1'(\tau) = \left[z \ell^{-\frac{z^2}{4a^2(r-\tau)}} - (z-H) \ell^{-\frac{(z-H)^2}{4a^2(r-\tau)}} \right]. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (6) и вычисляя, получим

$$I_1 = \frac{2a}{z} \cdot U_1. \quad (10)$$

Ограничиваясь первым членом в сумме (2), для стационарного магнитного потенциала имеем следующее выражение:

$$U(r, z) = \frac{U_1 R}{\sqrt{\pi z}} I_0\left(\frac{2r}{R}\right). \quad (11)$$

При получении (11) мы учли, что из уравнения $I_0(\lambda_0 r) = 0$ следует $\lambda_0 = 2r/R$ и $I_1(2) = 1$.

Радиальная и осевая составляющие напряженности магнитного поля, учитывая (11), будут равны:

$$H_r = -\frac{\partial U}{\partial r} = -\frac{2}{z} \frac{U_1}{\sqrt{\pi}} I_1\left(\frac{2r}{R}\right), \quad (12)$$

$$H_z = -\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{R U_1}{\sqrt{\pi z^2}} I_0\left(\frac{2r}{R}\right). \quad (13)$$

Используя разложение в ряд функций Бесселя и ограничиваясь существенными членами, окончательно получим:

$$H_r = -\frac{U_1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{r}{z}\right) \cdot \frac{1}{R}, \quad (14)$$

$$H_z = -\frac{2U_1}{\sqrt{\pi}} \frac{r}{z^2}. \quad (15)$$

Обратимся к анализу полученных результатов. H_r и H_z будем рассматривать как значения компонент магнитного поля в скважине, регистрируемые феррозондом. Из (14) следует, что с увеличением диаметра (радиуса R) скважины, сигнал от датчика будет уменьшаться. Поскольку H_r пропорциональна магнитной проводимости среды, то аналогичное поведение будет и в этом случае. Сказанное иллюстрирует таблицу, где приведены полученные нами ранее экспериментальные результаты.

МАГНИТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ СРЕДЫ, М/ГН

μ	Диаметр скважины, мм						
	59	76	89	100	110	120	140
2	273,7	195,3	135,4	95,6	70,3	53,4	36,3
3	388,9	276,0	193,6	130,8	95,6	73,0	48,7
5	492,5	346,8	232,0	158,2	116,5	88,8	59,6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магниторазведка: Справочник геофизика / Под ред. В.Е.Никитского и Ю.С.Глебовского. М.: Недра, 1990. 470 с.
2. Портнов В.С. Магнитное поле в скважине конечных размеров. I. Общая задача // Труды университета. Вып.4. Караганда, 2002. С.34-36.
3. Портнов В.С., Воронкова Л.С., Кусонский О.А. Учет влияния изменений диаметра скважины на результаты каротажа магнитной восприимчивости // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений: Сб. науч. тр. Свердловск, 1987. С.80-84.

УДК 622.232.8.001.41:622.33.012

В.Ф. ДЕМИН

Влияние горно-геологических факторов на эффективную эксплуатацию механизированных комплексов

Успешное и эффективное применение комплексов с механизированными крепями зависит от целого ряда горно-геологических условий залегания угольных пластов, которые можно разделить на две большие группы: основные и дополнительные.

Основными условиями, определяющими тип и типоразмер механизированного комплекса или агрегата, его силовые характеристики (параметры) и возможность применения рассматриваемого комплекса в конкретных горно-геологических условиях, являются: мощность пласта, угол его падения, глубина залегания, тяжесть кровли, устойчивость ее нижних слоев, прочность почвы на

вдавливание, сопротивляемость пласта резанию, тектоническая нарушенность шахтного поля.

Дополнительные показатели оказывают влияние на эффективность эксплуатации механизированных комплексов или агрегатов, их отрицательное влияние можно снизить путем проведения дополнительных мероприятий, например, дегазацией, осушением выемочного участка или путем применения других типов и типоразмеров комплексов. К числу этих параметров относятся колебания геологической мощности пласта, его газообильность, выбросоопасность, опасность по горным ударам, обводненность.

В настоящее время имеются механизированные комплексы различных типов, которые в совокупности обеспечивают выемку угольных пластов мощностью от 0,7 до 5 м. Для пластов мощностью менее 0,7 м комплексы еще не созданы. Пласты мощностью более 5 м, можно обрабатывать существующими типами и типоразмерами, разделяя их на слои соответствующей мощности.

Глубина разработки на выбор типа комплекса оказывает косвенное влияние. По мере ее увеличения наблюдается повышение прочности однотипных горных пород. Это может привести к тому, что легкие по нагрузочным свойствам кровли могут перейти в ряд тяжелых. С другой стороны, с ростом глубины повышается напряженное состояние пород. В зонах ведения очистных и подготовительных работ оно усиливается. Это отрицательно сказывается на устойчивости кровли, вызывает большую склонность к пучению почвы, выбросо- и удароопасности месторождения. Кроме того, повышается газообильность пластов.

Нагрузочные свойства пород, залегающих в кровле, оказывают основное влияние на силовые параметры механизированной крепи. Номинальное сопротивление механизированной крепи при отработке пластов с тяжелыми кровлями должно значительно превышать таковое в случае отработки пластов с легкими по нагрузочным свойствам кровлями. В противном случае механизированная крепь при очистной выемке угля будет зажата и выведена из строя. Поэтому очень важно уметь классифицировать кровли пластов по нагрузочным свойствам, чтобы затем обоснованно выбирать комплексы для конкретно рассматриваемых условий. Эффективность эксплуатации тех или иных комплексов с механизированными крепями во многом зависит от устойчивости нижних слоев непосредственной кровли.

В соответствии с технической характеристикой одни типы комплексов могут успешно применяться только на пластах с устойчивыми кровлями, другие могут охватывать некоторый диапазон шахтопластов с неустойчивыми нижними слоями. Целесообразность применения или неприменения механизированного комплекса для отработки пластов с неустойчивыми нижними слоями кровли зависит от конструктивных особенностей комплекса, способности его обеспечивать наименьшие площади обнажения кровли в районе выемки угля комбайном, на концевых участках лавы и в зоне, прилегающей к линии очистного забоя.

Прочность почвы на вдавливание в случае, если абсолютное значение ее невелико, является определяющей при выборе типа механизированного комплекса. При наборе сопротивления, основание механизированной крепи комплекса начинает вдавливаться в почву. Сама крепь не может по этой причине развить необходимого для поддержания кровли сопротивления.

Сопротивляемость пласта резанию оказывает существенное влияние на эффективность работы выемочных машин, входящих в состав механизированных комплексов. При наличии в пласте твердых породных прослоек, включений пирита, пачек вязкого угля сопротивление пласта резанию может превысить 3 кН/см. В этом случае применение механизированных комплексов для отработки таких пластов становится проблематичным, так как все современные отечественные выемочные машины успешно эксплуатируются при сопротивлении пласта резанию, не превышающем 3кН/см.

При большой нарушенности месторождения длина выемочного столба сокращается, что в свою очередь вызывает необходимость более частого перемонтажа оборудования очистного комплекса.

Колебание мощности пласта влияет на выбор типа и типоразмера крепи. Выпускаемые в настоящее время механизированные крепи комплексов обеспечивают довольно широкий диапазон охвата изменения пласта по мощности от 9 до 35 %. Это зависит от конструктивных особенностей межкрепей, вынимаемой мощности пласта, наличия или отсутствия стоек с двойной гидравлической подвижностью.

Фактическое колебание мощности пласта (отклонение минимальных и максимальных значений геологической мощности пласта от среднего на рассматриваемом участке шахтного поля, выраженное в процентах) может превышать приведенные диапазоны, что потребует для отработки участка применения не одного, а двух или более типоразмеров механизированных комплексов.

Газообильность угольных пластов на глубинах 600-800 м достигает 20-25 м³/т; при поступлении газа из спутников и сближенных пластов составляет не менее 30-40 м³/т. Для достижения высоких нагрузок на очистные забои эффективность дегазации должна быть не менее 0,80-0,85.

Результаты проведенных исследований показали необходимость дифференцированного подхода к вопросу эффективной отработки пластов с учетом вынимаемой мощности, характеристик пород кровли и почвы, свойств пласта вмещающих пород для выбора средств выемки, крепления и управления кровлей. При этом в качестве критерия оценки принято предельно допустимое значение функции всех влияющих параметров, позволяющее эффективным образом выполнить производственные программы.

$$F \geq f([m \pm \Delta m], [\alpha \pm \Delta \alpha], \dots [t_i \pm \Delta t_i]),$$

где $[m \pm \Delta m], [\alpha \pm \Delta \alpha], \dots [t_i \pm \Delta t_i]$ — диапазон изменения мощности угла падения и других влияющих факторов.

Влияние всех этих факторов резко возрастает как каждого в отдельности, так и в совокупности при создании и внедрении интенсивных технологий, связанных с внедрением на шахтах технологий отработки угольных пластов по схеме «шахта-лава» или «шахта-пласт». Создание и внедрение высокопроизводительных технологий требует одновременного решения приоритетных задач

УДК 622.26.002

П.П. ПАЛЕВ
Т.С. ФИЛИПОВА**Модель высокочастотной составляющей усилия резания на режце исполнительного органа горных комбайнов. I часть**

Усилие резания на режце исполнительного органа горных машин представляется в виде суммы двух составляющих

$$P_{Z\Sigma}(t) = P_Z(t) + \Delta P_Z(t), \quad (1)$$

где $P_Z(t)$ — составляющая, формируемая вследствие изменения сопротивляемости угля резанию в пространстве горного массива;

$\Delta P_Z(t)$ — составляющая, формируемая вследствие циклического характера процесса разрушения угля резовым инструментом.

Составляющая $P_Z(t)$ была рассмотрена в [1]. Здесь рассматривается построение модели составляющей $\Delta P_Z(t)$, вероятностные характеристики которой задаются исходя из закономерностей разрушения массива и анализа данных экспериментальных исследований.

При исследовании механизма разрушения угля резовым инструментом [2-10] было установлено, что на последней стадии развития процесса резания, в момент отделения крупного элемента среза, происходит резкое уменьшение силы резания, т.е. разрушаемый массив следует рассматривать как динамическое звено, проявляющее нелинейные свойства вследствие наличия падающего участка в изменении силы сопротивления по мере движения режущего инструмента. Совокупность нелинейного звена (разрушаемого массива) и колебательной системы привода исполнительного органа образуют замкнутую динамическую систему, в которой устанавливаются автоколебания. В силу стохастического характера изменения сопротивляемости угля резанию изменение амплитудного значения силы резания и частоты сколов носят случайный характер.

Автоколебательный характер процесса разрушения угля резовым инструментом был подтвержден в ряде работ. В [11] установлено, что автоколебания струга возникают вследствие нелинейной зависимости сил сопротивления на исполнительном органе. Механизм возбуждения автоколебаний в роторных экскаваторах был исследован в работе [12]. В [13] рассмотрены два вида автоколебаний в горных машинах (выемочных и проходческих комбайнах и струговых установках) — разрывные и неразрывные. Отмечается, что автоколебания порождаются нелинейным характером зависимости сил сопротивления и изменением скорости. В [14] указывается на наличие в системе «горная машина — забой» свойств, присущих

автоколебательным системам. В [15] автоколебательный процесс при разрушении угля (горной породы) режущим инструментом объясняется изменением силы и скорости резания вследствие последовательности элементарных сколов.

В [16, 17] установлено, что в автоколебательных системах, подверженных случайному воздействию, выходные параметры изменяются по закону узкополосного случайного процесса. Вероятностный процесс называется узкополосным, если ширина полосы $\Delta\omega$ той области частот, где спектральная плотность имеет значительную величину, мала по сравнению со средней частотой этой области [17]. Типичная спектральная плотность узкополосного случайного процесса показана на рис. 1, а. Если посмотреть выборочную реализацию такого процесса на экране осциллографа, то она будет иметь вид синусоиды с медленно (по сравнению с частотой ω_0) изменяющейся огибающей (амплитудой) и фазой. В качестве примера на рис. 1, б показан отрезок осциллограммы [16], полученной путем моделирования на АВМ осциллятора Ван-дер-Поля. Визуально осциллограмма очень похожа на синусоидальный сигнал с медленно изменяющейся амплитудой и фазой.

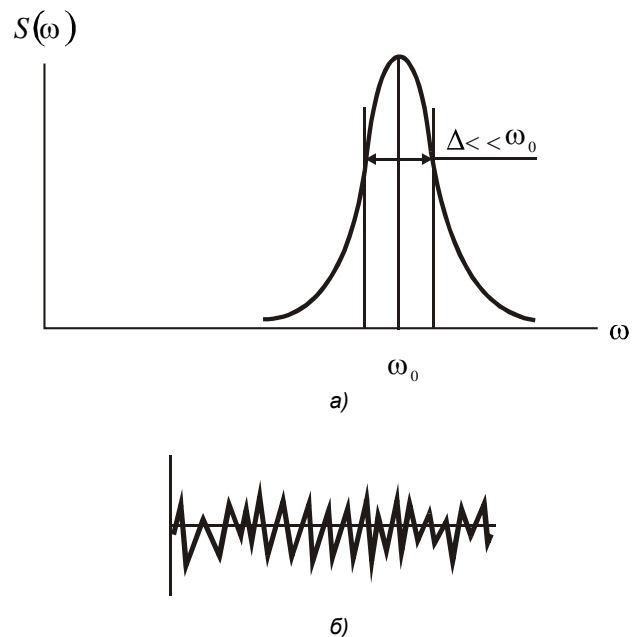


Рис. 1. Типичная спектральная плотность узкополосного случайного процесса (а) и отрезок осциллограммы

моделирования осциллятора Ван-дер-Поля (б)

Теперь обратимся к экспериментальным данным изучения составляющей ΔP_Z . На рис. 2, а показан отрезок осциллограммы высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа шнекобуровой машины ШБ — 1*. Из рис. 2, а видно, что реализация ΔP_Z схожа с реализацией, изображенной на рисунке 1б и заимствованной из книги [16]. На рис. 2, б изображены два графика оценки спектральной плотности $S_{\Delta P_Z}(\omega)$ и $G_{\Delta P_Z}(\omega)$, рассчитанные по реализации ΔP_Z .

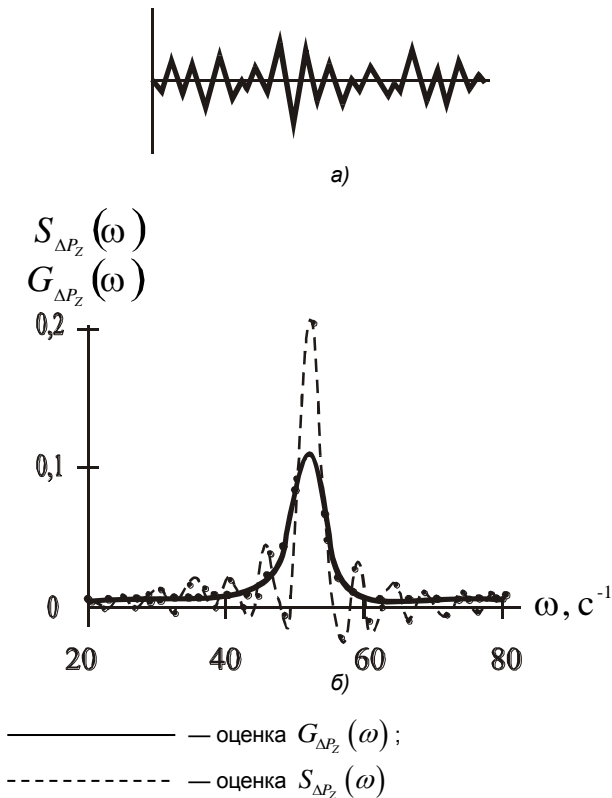


Рис. 2. Отрезок осциллограммы усилия резания на резце исполнительного органа шнекобуровой машины ШБ-1 (а) и оценка его спектральной плотности (б)

Оценка $S_{\Delta P_Z}(\omega)$ была рассчитана по формуле

$$S_{\Delta P_Z}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} k_{\Delta P_Z \Delta P_Z}(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

где $k_{\Delta P_Z \Delta P_Z}(\tau)$ — оценка корреляционной функции ΔP_Z :

$$k_{\Delta P_Z \Delta P_Z}(\tau) = \frac{1}{L-\tau} \int_0^{L-\tau} \Delta P_Z(t) \Delta P_Z(t+\tau) dt.$$

График оценки корреляционной функции показан на рис. 3. Оценка $G_{\Delta P_Z}(\omega)$ является смещенной и имеет значительную дисперсию. С целью повышения эффективности оценки спектральной плотности ее

определение производилось с введением весовой функции $\omega(\tau)$

$$G_{\Delta P_Z}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \omega(\tau) k_{\Delta P_Z \Delta P_Z}^*(\tau) \cos \omega \tau d\tau.$$

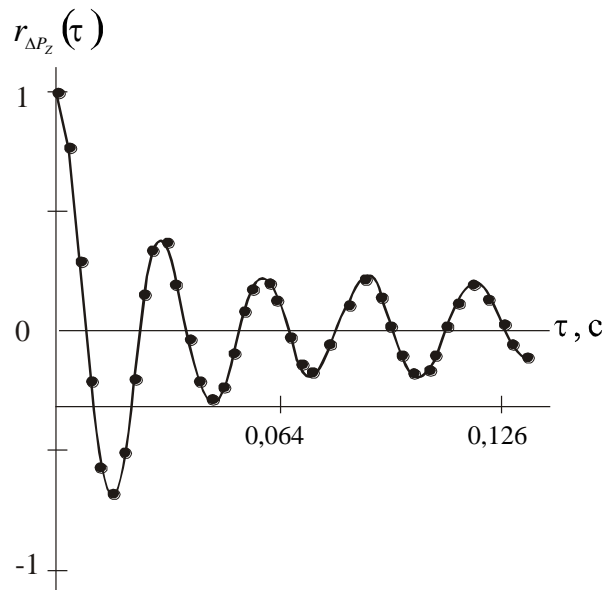


Рис. 3. Оценка корреляционной функции усилия резания на резце исполнительного органа шнекобуровой машины ШБ-1

В качестве весовой функции была принята функция Хемминга

$$\omega(\tau) = \begin{cases} 0,54 + 0,46 \cos \frac{\pi \tau}{\tau_0}; & |\tau| \leq \tau_0; \\ 0; & |\tau| > \tau_0. \end{cases}$$

Из рис. 2, б видно, что оценка спектральной плотности $G_{\Delta P_Z}(\omega)$ также схожа с типичной спектральной плотностью узкополосного случайного процесса (рис. 1, а). Исходя из изложенного примем в качестве вероятностной модели составляющей ΔP_Z узкополосный случайный процесс. Построение модели выполняется во II-й части настоящей статьи.

* Исследование нагруженности и динамических свойств шнекобуровой машины ШБ-1: Отчет о научно-исследовательской работе № гос. рег. 71014849 / Институт Гипроуглегормаш; Составители отчета - Палев П.П., Каралюс А.А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палев П.П., Филиппова Т.С. Модель усилия резания угля одиночным резцом в виде элементарной случайной функции / КарГТУ // Научные труды. Вып. 4. Караганда, 1999. С. 101-104.
2. Солод В.И. Некоторые вопросы эффективности разрушения угля исполнительными органами машин, работающих по принципу крупного скола: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1954.
3. Ягодкин Г.И. Исследование основных закономерностей процесса разрушения углей одиночным зубком: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1952.
4. Логунцов Б.М. Определение усилий при резании горных пород // Горные машины. 1958. №2. С. 59-67.
5. Протодьяконов М.М. Состояние и пути развития теории отделения горных пород от массива // Разрушение углей и пород. М.: Углетехиздат, 1958.
6. Берон А.И., Казанский А.С., Лейбов Б.М., Позин Е.З. Резание угля. М.: Госгортехиздат, 1962. 439 с.
7. Берон А.И. Основные закономерности разрушения углей исполнительными органами добычных машин // Сопротивляемость горных пород разрушению при добычании. М.: Изд. АН СССР, 1962. С. 29-53.
8. Берон А.И. Резание угля исполнительными органами резового типа в режиме крупного скола: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1956.
9. Гетопанов В.Н., Казак Ю.Н., Солод В.И. Механизм разрушения горных пород инструментами выемочных машин / МГИ // Научные труды: Сб. №17. М., 1956.
10. Берон А. И. О физических особенностях процесса разрушения угля и горных пород / ЦИТИ угля // Горные машины 1959. №5.
11. Красников Ю.Д. Об автоколебаниях, возникающих при работе по углям, машин крупного скола (стругов) / ИГД АН СССР // Горная механика. М.: Гос. науч.-техн. изд-во литерат. по горному делу, 1961.
12. Чудновский В.Ю. О механизме возбуждения автоколебаний в роторных экскаваторах // Изв. вузов. Горный журнал. 1969. №1.
13. Картавий Н.Г. Статистическая динамика горных машин: Учеб. пособие. Часть 1. М.: МГИ, 1973.
14. Исследования и оптимизация гидропередаточных горных машин / А.В. Докукин, В.М. Берман, А.Я. Рогов и др. М.: Наука, 1978.
15. Берман В.М., Верескунов В.Н., Цетнарский И.А. Системы гидропривода выемочных и проходческих машин. М.: Недра, 1982.
16. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний. М.: Наука, 1980.
17. Малахов А.Н. Флуктуация в автоколебательных системах. М.: Наука, 1967.

УДК 550.83/84(574.243)

Б.Д. БИЛЯЛОВ

Размещение промышленных сортов руд Лисаковского месторождения

По заданию геологической службы Лисаковского горно-обогатительного комбината, параллельно с Джетыгаринской экспедицией, осуществлявшей подсчет запасов бурожелезняковых руд одноименного месторождения по результатам доразведки, нами была разработана матрица программ и проведено геолого-технологическое картирование промышленных сортов

руд с помощью ЭВМ в соответствии с количественно-качественными критериями (табл.1). Для отладки программы нами одновременно по указанным выше количественно-качественным критериям произведена геометризация промышленных (технологических) сортов руд [1].

Таблица 1

КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РУД ЛИСАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПО КЕРНОВЫМ ПРОБАМ) (ПО УКЧЕРМЕТГЕОЛОГИИ, МЕХАНОБРУ И ЛИСАКОВСКОМУ ГОКУ)

Промышленный тип руды	Промышленный сорт руды	Содержание, %		Выход классов, содержание в них железа, %							
		железа общего	суммы оолитов	-10+1,6мм		-0,6+0,3мм		-0,3+0,15мм		-0,15мм	
				Выход	Содерж. железа	Выход	Содерж. железа	Выход	Содерж. железа	Выход	Содерж. железа
Руды, пригодные для гравитационно-магнитной, магнитной, обжиг-магнитной схем обогащения*											
I	I	>42	>60	<7	>40	>45	<20	>40	<30	<45	
	II	40-42	>55	<10	>30	>43	<20	>38	<35	<45	
Руды, пригодные для магнитной подшихтовки к рудам I сорта для гравитационно-магнитной, обжиг-магнитной схем											
II	III	38-40	>50	<10	>25	>35	не огр.	>36	>39	не огр.	
	IV	34-38	>40	<10	>25	>35	не огр.	>36	>40	не огр.	

	VII'	30-34	>30	<10	>20	>30	не огр.	>20	>40	не огр.
Руды, пригодные для магнитной, обжиг-магнитной, после снятия класса +1,6 мм- для гравитационно-магнитной схем обогащения при подготовке их к рудам I сорта										
III	V	>38	не огр.	10-40(50)	20-50	>35	-	-	<40	не огр.
	VI	34-38	не огр.	10-40(50)	20-50	>35	-	-	<40	не огр.
	VII''	30-34	не огр.	10-40(50)	20-50	>30(25)	-	-	<40	не огр.
Руды, пригодные для обжиг-магнитной (магнитной) схемы обогащения (уточняются при выделении на месторождении значительных запасов)										
IV	VIII	>30	не огр.	>40(50)	<20	>30(25)	-	-	<40	не огр.
	IX (забаланс овые руды)	20-30	-	-	-	-	-	-	-	-
*Схемы обогащения рекомендуемые (возможные)										

При картировании промышленных сортов руд на ЭВМ указанные выше количественно-качественные критерии для временной промышленной классификации руд скорректированы [2], сняты ограничения (от — до) для отдельных параметров (характеристик) руды и заменены знаками больше или меньше определенных значений этих параметров. Картирование проведено по намеченным к отработке горизонтам 5 участков в контуре скважин доразведки, результаты которого сведены в табл.2, где показаны величины количества промышленных сортов в целом по участкам месторождения без распределения их по горизонтам.

Из табл.2 видно, что запасы руд, пригодных для гравитационно-магнитной (магнитной), обжиг-магнитной схем обогащения, т.е. наиболее богатых руд I и II промышленных сортов, малы (17,08%), не достигают даже одной пятой общих запасов в контуре

скважин доразведки. Промышленные сорта (кроме I и VIII) балансовых руд встречаются на месторождении в примерно одинаковых количествах (от 10,99 до 18,50%). Основные запасы руд сосредоточены на 3 и 5 участках, где их доля составляет соответственно 42, 12 и 29,28%. Следует отметить, что программа картирования на ЭВМ, разработанная нами для Лисаковского месторождения, может выдавать:

- план распределения промышленных сортов руд;
- план распределения показателей обогащения (выход концентрата, содержание железа в концентрате) в зависимости от состава исходной руды в заданном контуре, т.к. в программу включены прогнозные уравнения многофакторной зависимости показателей обогащения от состава обогащаемой руды;

- значения средневзвешенных на объем параметров состава руды в виде таблиц в пределах заданных (сутки, неделя, месяц и т.д.) блоков отработки.

Таблица 2

Промышленный сорт руд	Запасы руд (тыс.т) по участкам месторождения					Всего по месторождению	В % общих балансовых запасов
	1	2	3	4	5		
I	971,88	722,63	8345,96	-	551,09	10591,56	3,80
II	3151,85	7307,44	22916,99	-	3669,56	37045,84	13,28
III	5389,48	8077,46	10607,02	-	16716,27	40790,23	14,61
IV	5162,64	8200,53	9141,65	-	8154,05	30658,87	10,99
VII'	2716,54	8042,88	13020,90	3286,80	9480,09	36547,21	13,02
V	1,16	1869,34	30974,87	21,86	18772,61	51639,84	18,50
VI	-	5381,05	15487,15	2655,52	12285,44	35809,16	12,83
VII''	0,26	6855,38	6597,53	9999,58	12092,39	35545,14	12,74

VIII	9,98	4,95	519,29	42,16	33,64	610,02	0,23
Запасы балансовых руд	17403,79	46461,66	117611,30	16005,92	81755,15	279237,90	100,0
В % от общих запасов по месторождению	6,23	16,64	42,12	5,73	29,28	100,0	
Запасы забалансовых руд	3635,54	20304,40	11464,02	7773,24	6759,38	49936,58	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билялов Б.Д., Москаленко А.И., Беркалиев Н.А., Сулейменова Л.К. Опыт геометризации технологических сортов бурожелезняковых руд Лисаковского месторождения // Совершенствование маркшейдерской службы на горных предприятиях: Темат. сб. Караганда, 1982. С.142-148.
2. Билялов Б.Д. Геолого-технологическое картирование бурожелезняковых руд Лисаковского месторождения // Труды университета. Вып. 2 / КарГТУ. Караганда, 1997. С.254-256.

УДК 622.26.002

П.П. ПАЛЕВ
Т.С. ФИЛИППОВА

Модель высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа горных комбайнов. II часть

Для аналитического представления ΔP_Z воспользуемся неканоническим спектральным разложением стационарных случайных функций, предложенным в [1]. В этой книге сформулирована теорема, на основании которой случайную функцию можно представить в форме неканонического разложения.

На основании этой теоремы представим ΔP_Z в виде

$$\Delta P_Z(t) = C \cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где C , ω — независимые случайные величины, причем C играет роль случайной амплитуды, ω — случайной частоты.

Запишем (1) в виде

$$\Delta P_Z(t) = C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t, \quad (2)$$

где C_1 , C_2 — некоррелированные центрированные случайные величины, не зависящие от случайной величины ω .

Дисперсии случайных величин C_1 и C_2 при этом должны удовлетворять соотношению

$$D[C_1] = D[C_2] = \sigma_{\Delta P_Z}^2.$$

Корреляционная функция разложения (2) [2]

$$K_{\Delta P_Z}(t_1, t_2) = \sigma_{\Delta P_Z}^2 M[\cos \omega(t_2 - t_1)]$$

или, положив $t_2 - t_1 = \tau$, получим

$$K_{\Delta P_Z}(\tau) = \sigma_{\Delta P_Z}^2 M[\cos \omega \tau], \quad (3)$$

где M — оператор математического ожидания.

Пусть плотность распределения случайной величины $\omega = \varphi(\omega)$, тогда

$$M[\cos \omega \tau] = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) \cos \omega \tau dt$$

и, следовательно,

$$K_{\Delta P_Z}(\tau) = \sigma_{\Delta P_Z}^2 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) \cos \omega \tau dt$$

или, перейдя к нормированной корреляционной функции, получим интегральное уравнение для определения плотности распределения случайной величины ω

$$r_{\Delta P_Z}(\tau) = \frac{K_{\Delta P_Z}(\tau)}{K_{\Delta P_Z}(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) \cos \omega \tau dt. \quad (4)$$

На рис. 1 показана оценка нормированной корреляционной функции усилия резания на резце режущей коронки комбайна ПК-3М*. По виду оценки корреляционной функции она может быть аппроксимирована выражением вида

$$r_{\Delta P_Z}(\tau) = e^{-C_0|\tau|} \cos b\tau. \quad (5)$$

* Исследование нагруженности трансмиссии ПК-3М при работе его в действующем забое: Отчет о научно-исследовательской работе № гос. рег. 69043605 / Институт Гипроуглегормаш; Составители отчета - Палев П.П., Костецкий В.К.

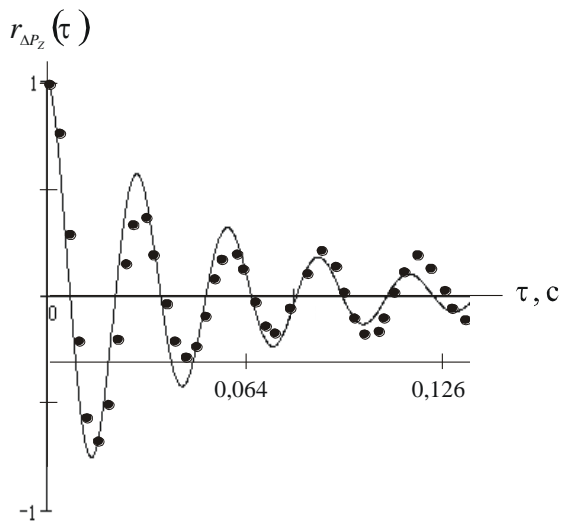


Рис. 1. Оценка корреляционной функции усилия резания на резце режущей коронки комбайна ПК-3М и ее аппроксимация

Заметим, что такое выражение использовалось для аппроксимации корреляционных функций нагрузок на исполнительном органе струговых установок и кольцевых исполнительных органов выемочных машин [3].

Для определения коэффициентов в (5) воспользуемся методом подбора подходящих значений [4]. В соответствии с этим методом

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{k_0 \pi}{T_k}, \\ C_0 &= \frac{b}{\pi} \ln \left| \frac{1}{r_{\Delta P_z}(\tau_1)} \right|, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где T_k — точка, в которой корреляционная функция k -й раз пересекает ось абсцисс ($r_{\Delta P_z}(T_k) = 0$);

$r_{\Delta P_z}(\tau_{1k})$ — значение первого отрицательного максимума корреляционной функции.

Если в формулу (4) добавить слагаемое $-j \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) \sin \omega \tau d\tau$, то уравнение примет вид

$$r_{\Delta P_z}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) e^{j\omega\tau} dt = M [e^{j\omega\tau}], \quad (7)$$

из чего следует, что нормированная корреляционная функция $r_{\Delta P_z}(\tau)$ является характеристической функцией распределения $\varphi(\omega)$ случайной величины ω . Тогда неизвестная плотность распределения $\varphi(\omega)$, на основании свойства характеристической функции, может быть найдена по формуле

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r_{\Delta P_z}(\tau) e^{-j\omega\tau} dt. \quad (8)$$

Используя аппроксимирующее выражение для $r_{\Delta P_z}(\tau)$ в виде (5), получим

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r_{\Delta P_z}(\tau) e^{-c_0|\tau|} \cos \beta\tau e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (9)$$

Интеграл в (9) табличный [4]. Выписав его значение, найдем $\varphi(\omega)$

$$\varphi(\omega) = \frac{C_0}{2\pi} \left[\frac{1}{C_0^2 + (\beta + \omega)^2} + \frac{1}{C_0^2 + (\beta - \omega)^2} \right]. \quad (10)$$

Определим далее закон распределения вероятностей случайной величины C , играющей роль амплитуды в модели (1). Из построения неканонического разложения следует, что одномерная характеристическая функция $\Delta P_z(t)$ может быть представлена в виде

$$\theta_1(x, S) = \int_{\Omega_C} J_0(x, S) \varphi_C(S) dS, \quad (11)$$

где Ω_C — область существования величины C ;

$J_0(x, S)$ — функция Бесселя нулевого порядка.

Будем полагать, что случайная величина C распределена на интервале $(0, \infty)$ и введем в подынтегральное выражение в (11) множитель $S/S=1$

$$\theta_1(x, S) = \int_0^{\infty} J_0(x, S) \frac{\varphi_C(S)}{S} S dS. \quad (12)$$

Формула (11) представляет собой преобразование Ганкеля нулевого порядка [5] для функции $\frac{\varphi_C(S)}{S}$.

На основании формулы обращения [5] из (12) получаем

$$\frac{\varphi_C(S)}{S} = \int_0^{\infty} \theta_1(x, S) x J_0(x, S) dx. \quad (13)$$

Найдем характеристическую функцию $\theta_1(x, S)$. По определению характеристическая функция

$$\theta_1(x, S) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{jxS} \varphi_{\Delta P_z}(x) dx, \quad (14)$$

где $\varphi_{\Delta P_z}(x)$ — плотность распределения

вероятностей составляющей усилия резания ΔP_z .

Распределение вероятностей $\varphi_{\Delta P_z}(x)$ примем в виде

$$\varphi_{\Delta P_z}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\Delta P_z}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2_{\Delta P_z}}}. \quad (15)$$

На рис. 2 показана оценка плотности распределения усилия резания на резце шнекобуровой машины ШБ-1* и ее аппроксимация формулой (15). Из рисунка видно, что (15) вполне удовлетворительно описывает эмпирическое распределение.

* Исследование нагруженности и динамических свойств шнекобуровой машины ШБ-1: Отчет о научно-исследовательской работе № гос. рег. 71014849 / Институт Гипроуглегормаш; Составители отчета - Палев П.П., Каралюс А.А.

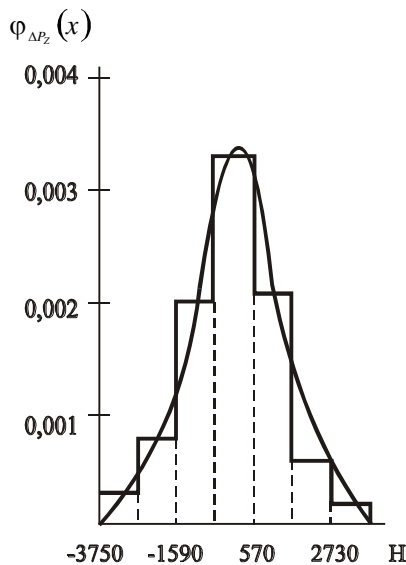


Рис. 2. Оценка плотности распределения усилия резания на резце шнекобуровой машины ШБ-1 и ее аппроксимация

Используя (15), определим характеристическую функцию $\theta_1(S)$

$$\theta_1(S) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{jxS} \varphi_{\Delta Pz}(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_{\Delta Pz}(x) \cos xS dx + j \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_{\Delta Pz}(x) \sin xS dx.$$

Поскольку $\varphi_{\Delta Pz}(x)$ функция симметричная, то

$$\theta_1(S) = 2 \int_0^{\infty} \varphi_{\Delta Pz}(x) \cos xS dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta Pz}} \times \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{\Delta Pz}^2}} \cos xS dx = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta Pz}} \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} \cos xS dx, \quad (16)$$

где $k = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_{\Delta Pz}}$.

Заметим, что в подынтегральном выражении S играет роль параметра. Интеграл в (16) равномерно сходится в интервале $-\infty < S < \infty$, так как он является мажорируемым:

$$\left| e^{-k^2 x^2} \cos xS \right| \leq e^{-k^2 x^2},$$

$$\int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2|k|}.$$

Продифференцируем интеграл по параметру S :

$$J' = - \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} x \sin xS dx. \quad (17)$$

Отметим, что дифференцирование возможно, так как вновь полученный интеграл также является мажорируемым:

$$\left| e^{-k^2 x^2} x \sin xS \right| \leq e^{-k^2 x^2} x.$$

Интегрируя (17) по частям, получим

$$J' = - \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} x \sin xS dx = \left[- \frac{e^{-k^2 x^2}}{2k^2} \sin xS \right]_0^{\infty} + \frac{S}{2k^2} \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} \cos xS dx = \frac{S}{2k^2} \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} \cos xS dx.$$

Следовательно,

$$J'(S) = - \frac{S}{2k^2} \theta_1(S) \quad \text{è} \quad \frac{J'(S)}{J(S)} = - \frac{S}{2k^2}.$$

Откуда

$$\int_0^S \frac{J'(S)}{J(S)} dS = - \frac{S^2}{4k^2} \quad \text{è} \quad \ln J(S) - \ln J(0) = - \frac{S^2}{4k^2}$$

и $J(S) = J(0) e^{-\frac{S^2}{4k^2}}$.

Так как

$$J(0) = \int_0^{\infty} e^{-k^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2|k|},$$

то окончательно получим

$$J(S) = \frac{\sqrt{\pi}}{2k} e^{-\frac{S^2}{4k^2}}.$$

И характеристическая функция будет иметь вид

$$\theta_1(S) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta Pz}} \frac{\sqrt{\pi}}{2k} e^{-\frac{S^2}{4k^2}} = e^{-\frac{S^2 \sigma_{\Delta Pz}^2}{2}}. \quad (18)$$

Зная характеристическую функцию по формуле обращения преобразования Ганкеля [5], определим плотность распределения вероятностей величины C

$$\frac{\varphi_C(S)}{S} = \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2 \sigma_{\Delta Pz}^2}{2}} x J_0(x, S) dx.$$

Представим функцию Бесселя разложением в ряд [6]

$$J_0(x, S) = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\left(\frac{xS}{2}\right)^{2m}}{(m!)^2}.$$

Тогда

$$\frac{\varphi_C(S)}{S} = \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2 \sigma_{\Delta Pz}^2}{2}} x \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\left(\frac{xS}{2}\right)^{2m}}{(m!)^2} dx$$

или

$$\frac{\varphi_C(S)}{S} = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{(S)^{2m}}{2^{2m} (m!)^2} \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2 \sigma_{\Delta Pz}^2}{2}} x^{2m+1} dx.$$

Полученный интеграл выражается через гамма-функцию [4]

$$\int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2 \sigma_{\Delta Pz}^2}{2}} x^{2m+1} dx = \frac{r \left[\frac{2m+2}{2} \right]}{2 \left(\frac{\sigma_{\Delta Pz}}{\sqrt{2}} \right)^{2m+2}}.$$

Далее на основании свойств гамма-функции [4]

$$r(m+1) = m!$$

Учитывая это, получим

$$\frac{r\left[\frac{2m+2}{2}\right]}{2\left(\frac{\sigma_{\Delta P_z}}{\sqrt{2}}\right)^{2m+2}} = \frac{m!2^m}{\sigma_{\Delta P_z}^{2m+2}} = \frac{1}{\sigma_{\Delta P_z}^2} \frac{m!2^m}{\sigma_{\Delta P_z}^{2m}}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_C(S)}{S} &= \frac{1}{\sigma_{\Delta P_z}^2} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{S^{2m}}{2^{2m} (m!)^2} \frac{m!2^m}{\sigma_{\Delta P_z}^{2m}} = \\ &= \frac{1}{\sigma_{\Delta P_z}^2} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\left(\frac{S}{\sigma_{\Delta P_z}^2}\right)^m}{m!} \frac{2^m}{2^{2m}} = \frac{1}{\sigma_{\Delta P_z}^2} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\left(\frac{S^2}{2\sigma_{\Delta P_z}^2}\right)^m}{m!} \end{aligned}$$

или, учитывая, что

$$\sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{\left(\frac{S^2}{2\sigma_{\Delta P_z}^2}\right)^m}{m!} = e^{-\frac{S^2}{2\sigma_{\Delta P_z}^2}},$$

приходим к распределению Релея

$$\varphi_C(S) = \begin{cases} 0 & \text{и } \forall S < 0; \\ \frac{S}{\sigma_{\Delta P_z}^2} e^{-\frac{S^2}{2\sigma_{\Delta P_z}^2}} & \text{и } \forall S \geq 0. \end{cases} \quad (19)$$

Таким образом, плотность распределения случайной величины ω (10) и плотность распределения случайной величины S (19) дают полное вероятностное описание разложения (2), позволяющее реализовать модель составляющей $\Delta P_z(t)$ на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернецкий В.И. Анализ точности нелинейных систем управления. М.: Машиностроение, 1968.
2. Докукин А.В., Красников Ю.Д., Хургин З.Я. Аналитические основы динамики выемочных машин. М.: Наука, 1966.
3. Роткин Л.Л. Статистические методы исследования на электронных моделях. М.: Энергия, 1967.
4. Рыжик К.М., Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 4-е изд., перераб. / При участии Ю.В. Горенимуса и М.Ю. Цейтлина. М.: Физматгиз, 1962.
5. Бункин Ф.В., Гудзенко Л.И. Об одномерных распределениях амплитуды и фазы стационарного процесса // Радиотехника и электроника. 1958. №7.
6. Джексон Л. Ряды Фурье, ортогональные полиномы. М.: ИЛ, 1948.

УДК 550.838.08

В.С. ПОРТНОВ
В.М. ЮРОВ

Термодинамические аспекты в магнитометрии

При изучении магнитных свойств горных пород и руд магнетитовых месторождений основными методами являются магнитометрический и индукционные. Индукционные методы основаны на измерении отношения величины вторичного поля к первичному, которая зависит от магнитной восприимчивости, глубины залегания пород и их формы [1]. К этим методам относится и метод искусственного подмагничивания, позволяющий определять магнитную восприимчивость горных пород и руд в естественном залегании и в сравнительно большом объеме [2].

На практике определяется вертикальная составляющая вторичного магнитного поля, создаваемого подмагниченными породами, и устанавливается корреляционная зависимость между содержанием железа в рудах и коэффициентом отображения K , представляющим собой отношение вертикальной составляющей вторичного Z_2 к вертикальной составляющей первичного поля Z_1 ($K=Z_2/Z_1$).

В настоящей работе мы применим принципы статистической термодинамики [3] к вычислению коэффициента отображения K . Рассмотрим железо, связанное с магнетитом, как систему невзаимодействующих магнитных диполей,

погруженную в термостат, представляющий собой рудовмещающие породы. Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием магнитных диполей с термостатом, будут диссипативными (с вероятностью P) в отличие от взаимодействия с внешним магнитным полем (с вероятностью F). Диссипативные процессы приводят к тому, что вторичное поле Z_2 всегда меньше первичного Z_1 .

Поскольку подсистема магнитных диполей обменивается с термостатом только энергией, то соответствующий им ансамбль частиц будет каноническим [3]. В этом случае выражение для статистической энтропии имеет вид:

$$S = -k \sum_i f_i \ln f_i, \quad (1)$$

где f_i — функция распределения;

k — постоянная Больцмана.

Дифференцируя (1) по времени и проводя ряд преобразований, получим

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k}{2} \sum_{i,j} (lf_i - \ln f_j) (P_{ij}f_i - P_{ji}f_j), \quad (2)$$

где P_{ij} — вероятность перехода из начального i (с энергией E_i) в возбужденное состояние j (с энергией E_j). Для диссипативных процессов принцип детального равновесия имеет вид [3]:

$$\frac{g_i P_{ij}}{g_j P_{ji}} = \ell^{\frac{E_j - E_i}{kT}}, \quad (3)$$

где g_i, g_j — статистические веса для уровней E_i и E_j .
Тогда (2) примет вид

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k}{2} P_{ij} (\ln f_i - \ln f_j) \left(f_i - \frac{g_i}{g_j} f_j \ell^{\frac{E_i - E_j}{kT}} \right). \quad (4)$$

Каноническая функция распределения

$$f_{ij} = \frac{1}{Z} \ell^{-E_{ij}/kT}, \quad (5)$$

где статистическая сумма

$$Z = \ell^{-G/kT}, \quad (6)$$

здесь G — потенциал (свободная энергия) Гиббса системы «термостат + система магнитных диполей». Положим, что неконфигурационная часть потенциала Гиббса линейно зависит от концентрации N магнитных диполей (для задач, подобных нашей, это приближение можно обосновать строго [2, 3]):

$$\ell^{-G/kT} = \sum_N h(N), \quad (7)$$

где $h(N) = \omega(N) \ell^{-G/kT}$, (8)

$\omega(N)$ — статистический вес.

После громоздких, но простых вычислений нетрудно показать, что функция $h(N)$ представляет собой распределение Гаусса около равновесного значения \bar{N} с малой дисперсией, т.е.

$$h(N) = h(\bar{N}) \ell^{-\Delta N^2/\bar{N}}. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (7), имеем:

$$\ell^{-G/kT} = h(\bar{N}) \sum_{\Delta N} \ell^{-\Delta N^2/\bar{N}}. \quad (10)$$

Для оценки суммы в (10) заменим ее интегралом

$$\sum_{\Delta N} \ell^{-\Delta N^2/\bar{N}} = \int_{-\infty}^{+\infty} \ell^{-x^2/\bar{N}} dx = \sqrt{\pi \bar{N}}.$$

Тогда (10) принимает вид:

$$\ell^{-G/kT} = h(\bar{N}) (\pi \bar{N})^{1/2}. \quad (11)$$

Воспользовавшись (8) и взяв логарифм от (11), находим

$$G/kT = -\ln \omega(\bar{N}) + \frac{G\{N\}}{kT} + \frac{1}{2} \ln(\pi \bar{N}). \quad (12)$$

Из оценки первого логарифмического члена следует:

$$\ln \omega(\bar{N}) = N \ln \left(1 + \frac{\bar{N}}{N} \right) + \bar{N} \ln \frac{N + \bar{N}}{N}. \quad (13)$$

Аппроксимируя логарифм в первом слагаемом правой части (13) первым членом его разложения в ряд, а второе слагаемое выражая через потенциал Гиббса системы магнитных диполей, получим

$$\ln \omega(\bar{N}) = \bar{N} + \bar{N} G^f / kT. \quad (14)$$

Подставляя (14) в (12) и пренебрегая членом $1/2 \ln(\pi \bar{N})$ по сравнению с \bar{N} , получаем

$$G = G(\bar{N}) - \bar{N} G^f - \bar{N} kT. \quad (15)$$

Как и выше, считая, что термодинамический потенциал $G(\bar{N})$ зависит от равновесного числа магнитных диполей линейным образом, т.е.

$$G = G^0 + \bar{N} G^f, \quad (16)$$

где G^0 — термодинамический потенциал термостата, находим

$$G = G^0 - \bar{N} kT. \quad (17)$$

С помощью (17) выражение (6) преобразуется к виду:

$$Z = \ell^{-G^0/kT} \ell^{\bar{N}}. \quad (18)$$

Подставляя (18) в (4), находим

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k}{2} \sum_{i,j} P_{ij} \ell^{G^0/kT} \ell^{-\bar{N}} \ell^{-E_i/kT} \left(\frac{E_j - E_i}{kT} \right) \left(1 - \frac{g_i}{g_j} \ell^{\frac{E_i - E_j}{kT}} \right). \quad (19)$$

Пренебрегая малыми членами и заменяя в (19) сумму интегралом (что справедливо для сплошного спектра значений энергии магнитных диполей), получим

$$P = \frac{2\Delta S}{k\tau} \exp \left\{ -\frac{E_m - G^0/\bar{N}}{kT} \right\}, \quad (20)$$

где ΔS — изменение энтропии в диссипативном процессе;

E_m — среднее значение энергии основного состояния магнитных диполей;

τ — время релаксации.

Из физического смысла коэффициента отображения следует, что (с точностью до постоянного множителя)

$$K = \frac{F}{F + P}, \quad (21)$$

где F — вероятность квантового перехода, индуцирующего вторичное магнитное поле, причем $F = 1/\tau_p$;

τ_p — «радиационное» время жизни системы магнитных диполей в возбужденном состоянии, тогда с учетом (20), имеем:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{\tau_p}{\tau} \frac{2\Delta S}{k} \exp \left\{ -(E_m - G^0/\bar{N})/kT \right\}}. \quad (22)$$

Обозначая в (22) предэкспоненциальный множитель через C , учитывая, что $E_m \ll G^0/\bar{N}$ и разлагая экспоненту в ряд, ограничиваясь первыми двумя членами, имеем

$$\frac{G^0}{\bar{N}kT} = \frac{1 - C^2 K - CK}{CK}. \quad (23)$$

Оценка CK дает $CK \ll 1$ и окончательно

$$K = \bar{N} \frac{kT}{CG^0} = C_1 \bar{N}. \quad (24)$$

Итак, при фиксированных параметрах, в частности, температуры T , мы имеем линейную зависимость коэффициента отображения K от

концентрации железа, связанного с магнетитом. Сказанное иллюстрируют полученные нами результаты на магнетитовых месторождениях Казахстана (Куржункульского, Кентобе и др.) (рис.1).

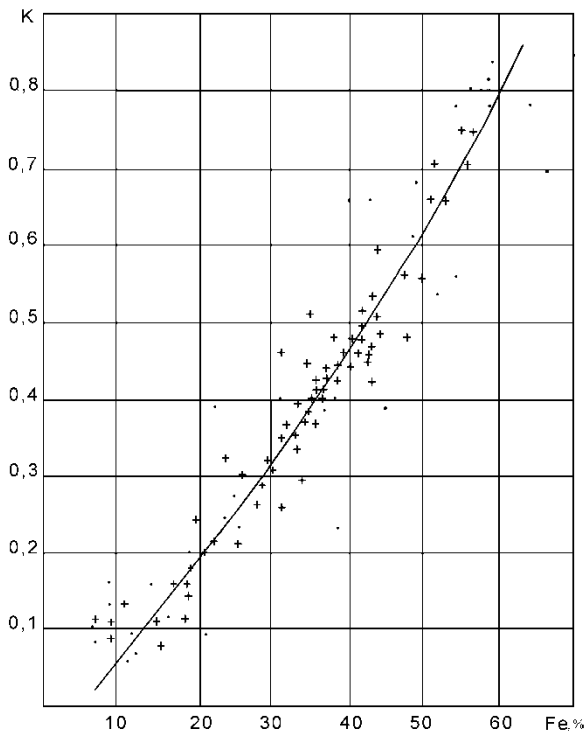


Рис. 1. Поле корреляции и графики зависимости коэффициента отображения от содержания железа, связанного с магнетитом месторождения Кентобе (Казахстан)

- — результаты измерений 1985 г.;
- + — результаты измерений 2000-2001 гг.

Отметим следующее обстоятельство. Анализ соотношения (24) показывает, что по наклону графика функции $K(N)$ можно решать и обратную задачу об определении энергии Гиббса методом МИП, которая играет важную роль при формировании магнитных характеристик магнетитовых месторождений.

Расчет по экспериментальным данным рис.1 дал значение для $\Delta G^0 = -1,254$ кДж/моль, в то время как табличное значение, полученное калориметрическим методом, равно $\Delta G_{\text{о.а.а.}}^0 = -1,014$ кДж/моль [4], что дает относительную погрешность, равную 11%. Это неплохой результат, учитывая, что корреляционная зависимость на рис.1 строилась по результатам химических анализов, имеющих погрешность до 10%.

Известно [5], что температура Кюри магнитных руд зависит от минерального состава, свойств входящих в состав ионов, занимаемых ими положений, их концентрации и т.д. Наличие многих факторов часто затрудняет интерпретацию получаемых по термомагнитным измерениям экспериментальных результатов.

В настоящей работе мы получим простую связь температуры Кюри с энергией Гиббса рудовмещающих пород. Несколько изменяя (за счет обозначений) формулу (24), запишем:

$$K = C_{Fe}^{i'} \frac{kT}{AG_T^0}, \quad (25)$$

где $C_{Fe}^{i'}$ — концентрация железа в руде;

A — константа, характерная для данного типа железа;

k — постоянная Больцмана;

T — температура;

G_T^0 — энергия Гиббса термостата

(рудовмещающих пород).

При индукционных методах измерения намагниченности и магнитной восприимчивости отклик системы магнитных диполей на внешнее поле $K \sim \Delta \mathcal{E} \varepsilon \sim I \cdot \mathfrak{a}$, где $\Delta \mathcal{E}$ — приращение ЭДС индукции из-за намагничивания пород; ε — ЭДС индукции измерительной катушки; I — индуцированная намагниченность; \mathfrak{a} — магнитная восприимчивость.

Используя коэффициент пропорциональности из (25), находим

$$I = B \cdot T / G_T^0, \quad (26)$$

где B — постоянная, слабо зависящая от температуры.

Исследование зависимости $I = f(T)$ является основой метода термомагнитного анализа [5]. Соотношение (26) позволяет вычислять энергию Гиббса G_T^0 по термомагнитным измерениям и сравнивать полученные значения с результатами калориметрического анализа.

Так как $\Delta \mathcal{E} \varepsilon = \mathfrak{a} / (1 + \mathfrak{a})$, то из (25) следует

$$\frac{\mathfrak{a}}{1 + \mathfrak{a}} = C_{Fe}^{i'} \frac{kT}{AG_T^0}. \quad (27)$$

Учитывая, что для магнетитовых руд наблюдается линейная зависимость $\mathfrak{a} \sim C_{Fe}^{i'}$, из (27) следует

$$1 + \mathfrak{a} = A_1 G_T^0 / T, \quad A_1 = \frac{k}{A}. \quad (28)$$

При температуре Кюри $\theta = T$, $\mathfrak{a} = 0$ и из (28) следует

$$\theta = A_1 G_\theta^0. \quad (29)$$

Согласно теории Льюиса и Рэндала, работа, которую необходимо произвести для обратимого и изотермического образования одного моля твердого раствора из X_1 молей чистого компонента 1 и $1 - X_1$ молей чистого компонента 2, характеризует интегральную свободную энергию смешения:

$$G^0 = X_1 G_1^0 + (1 - X_1) G_2^0. \quad (30)$$

Тогда уравнение (29) для бинарной смеси имеет вид:

$$\theta = A_1 [X_1 G_1^0 + (1 - X_1) G_2^0] = A_1 [X_1 (G_1^0 - G_2^0) + G_2^0]. \quad (31)$$

Из (31) следует, что температура Кюри линейно зависит от содержания в бинарной смеси одного из компонентов. Это подтверждается экспериментами

Т.Нагаты (рис.2) для изоморфной смеси ильменит-гематит.

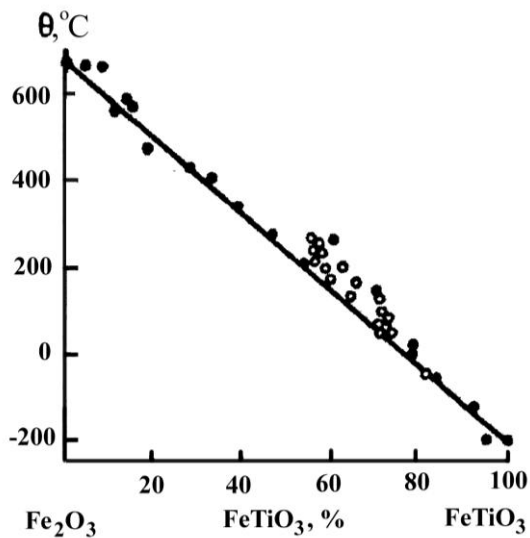


Рис. 2. Зависимость температуры Кюри от концентрации компонента в бинарной системе ильменит-гематит (по Т.Нагата [5])

В заключение отметим, что, вычисляя энергию Гиббса по термомагнитным данным в соответствии с (26), мы можем определить и другие термодинамические потенциалы.

Развитие изложенного подхода и его дальнейшее экспериментальное исследование, по нашему мнению, представляют интерес, так как термомагнитный анализ обладает большей чувствительностью и информативностью по сравнению с методом калориметрического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Ю.И. Индукционные методы измерения магнитной восприимчивости горных пород и руд в естественных условиях. Л.: Недра, 1978. 240 с.
2. Стадучин В.Д., Гуранов В.Н., Шабанова К.Н. и др. Метод искусственного подмагничивания при поисках магнетитовых месторождений: Методические рекомендации. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. 106 с.
3. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977. 336 с.
4. Булах А.Г., Булах К.Г. Физико-химические свойства минералов и компонентов гидротермальных растворов. Л.: Недра, 1978. 167 с.
5. Nagata T. Rock Magnetism. Tokyo, Maruzen, 1961. 217 p.

УДК 622.454.3:622.831.325.3.016.
62:622.33.012.2(477.61/.62)

В.Ф. ДЕМИН

Эффективность схем проветривания и дегазации выемочных участков

Проблема выбора рациональной технологии и оптимальных параметров разработки маломощных и сложноструктурных пластов представляет сложную технологическую, экономическую, геомеханическую и экологическую задачу. При этом необходимо учесть газодинамические явления на глубоких горизонтах и необходимость создания безопасных и комфортных условий работы в ограниченных пространствах маломощных пластов при высокой метанообильности.

Схемы подготовки, вентиляции и дегазации выемочных участков тесно взаимосвязаны между собой. От правильного их выбора для конкретных горно-геологических и горно-технических условий разработки зависят нагрузка на очистной забой и безопасность ведения очистных работ. Поэтому эффективность управления газовой выделением по их источникам является одним из главных критериев при выборе схем проветривания горных выработок и дегазации.

На шахтах Карагандинского бассейна в настоящее время разрабатывается 28 опасных и 95 угрожаемых по внезапным выбросам угля и газа шахтопластов. Также зафиксированы внезапные прорывы газа с динамическим разломом почвы проводимых горных выработок, отодвигания призабойной части угольно-породного массива.

Доля газовой выделенности из различных источников в общем газовом балансе участка изменяется в следующих пределах: из массива разрабатываемого пласта и отторгаемого от него угля с 20...60 до 10...35 %; из стенок, кровли и почвы пройденных и проводимых подготовительных горных выработок с 20...55 до 5...15 %; из выработанного пространства, в которое выделяется газ из соседних выше- и нижележащих пластов, боковых пород, невынимаемых пачек разрабатываемого пласта — с 10...30 до 50...80 %. Вблизи разрывных нарушений газообильность выработок в 1,5...3,0 раза выше, чем в нарушенной части того же пласта.

Схема проветривания выемочных участков классифицируются по следующим основным признакам: степени обособленности разбавления вредностей по источникам поступления: последовательное, частичное, полное; направлению движения воздуха по очистному забою: восходящее, нисходящее — для лав, ориентированных по простиранию пласта, и горизонтальное — для лав по падению и восстанию пласта; взаимному направлению поступающей и исходящей струй воздуха: возвратное и прямоточное.

Схемы вентиляции напрямую связаны с объемом горно-проходческих работ и условиями поддержания горных выработок, и поэтому экономические затраты по подсистеме «вентиляция» должны быть минимальны.

Ниже рассмотрены возможные варианты схем проветривания для условий разработки маломощных пластов.

Схемы с последовательным разбавлением вредностей по источникам поступления (1-я группа) эффективны для борьбы с метаном. Наличие вентиляционных выработок, примыкающих к выработанному пространству по всей длине выемочных полей и охраняемых, как правило, широкими бутовыми полосами, позволяет вести дегазацию (газоотсос) в зоне наибольшего притока метана. Недостатком таких схем является совмещение работ по добыче угля и проведению подготовительных выработок, что может осложнить работу в лавах, оборудованных высокопроизводительными выемочными комплексами.

Схемы проветривания выемочных участков с частично обособленным разбавлением и удалением метана по источникам поступления и выдачей исходящей струи из лавы на выработанное пространство (2-я группа) имеют все преимущества схем первой группы. Кроме того, они позволяют повысить возможную по газовому фактору нагрузку на очистной забой путем увеличения расхода воздуха в исходящей струе участка и обеспечивают два выхода на свежую струю. Недостатки этих схем — большие затраты на поддержание горной выработки позади очистного забоя (до 10 тыс.тг на 1 м/год).

Схемы проветривания выемочных участков с частично обособленным разбавлением, удалением метана по источникам поступления и выдачей из лавы струи воздуха на массив угля (3-я группа) позволяют сократить расходы на поддержание горных выработок, разделить во времени и в пространстве подготовительные и очистные работы. Сосредоточенность метановыделения из выработанного пространства в одном месте позволяет применить дополнительные способы изолированного отвода метана, что обеспечивает существенное снижение метановыделения в горные выработки и ликвидирует опасные скопления метана вблизи рабочих мест.

Схема проветривания выемочных участков с полным обособленным разбавлением и удалением метана по источникам поступления в рудничную атмосферу (4-я группа) характеризуется высокой

степенью устойчивости, обеспечиваемой прямоточным проветриванием с подсыжением исходящей струи воздуха, но в некоторых случаях имеются большие объемы поддерживаемых выемочных выработок.

Из схем проветривания тупиковых забоев горизонтальных и наклонных выработок при проведении выработок проходческими комбайнами рекомендуется применять нагнетательно-всасывающий способ с использованием пылеотсасывающих установок, при проведении выработок парным забоем — комбинированный способ, а при проведении породных и негазовых выработок — всасывающий способ проветривания.

Схемы первой группы характеризуются высоким уровнем безопасности, и их целесообразно применять для выемки высокогазоносных пластов при сплошных системах разработки. При соответствующей механизации и организации работ темпы проведения подготовительных выработок не сдерживают подвигание очистных работ.

Схемы второй группы следует применять при разработке газоносных пластов при наличии возможности подачи воздуха в количестве, которое может пропустить лава при максимальной скорости его в призабойном пространстве. Достижимый за счет этого прирост добычи угля должен быть достаточным для компенсации расходов на поддержание вентиляционной выработки за лавой.

Схемы третьей группы целесообразно применять при близких к вынимаемому пласту источниках метановыделения, обеспечивая комплексную дегазацию сближенных пластов скважинами и выработанного пространства путем изолированного отвода метана.

Схемы проветривания выемочных участков 4-й группы приемлемы с ростом глубины ведения горных работ. По мере углубления горных работ и увеличения газообильности выработок все чаще стали применяться схемы проветривания участков с обособленным разбавлением и удалением метана по источникам его поступления в рудничную атмосферу, которые позволяют в сложных условиях по газу повышать нагрузку на лаву в 2...4 раза, т.е. одновременно решать задачу безопасности и экономическую задачу — повысить концентрацию работ и увеличить производительность труда. Применение таких схем связано с проведением и поддержанием дополнительных горных выработок, чтобы окупить эти дополнительные затраты, необходимо увеличить нагрузку на лаву всего на 10...30 %. Поэтому применение схем с дополнительным разбавлением и отводом метана экономически выгодно при разработке любого газоносного пласта, когда нагрузка лимитируется газовым фактором.

В зависимости от схем подготовки выемочных участков и порядка их отработки могут применяться различные по своей эффективности способы предотвращения местных скоплений метана у сопряжений лав с конвейерными и вентиляционными штреками. Опыт работы шахт Карагандинского бассейна показал, что при напряженных объемах по

добыче угля проветривание газообильного участка может быть улучшено с помощью вентиляторов местного проветривания посредством изолированного отсоса газоздушной струи из верхнего кутка лавы или выработанного пространства при прямоточной схеме проветривания (на конвейерном промежуточном штреке) через вентиляционный трубопровод посредством ВМЦГ или эжекторов. В результате этого общий объем газовыделения на участке сокращается в 1,3...1,5 раза, а содержание метана в исходящей струе — в 1,5 раза. При этом предусматривались специальные камеры смещения, в которых концентрацию метановоздушной струи снижали до уровня, допустимого по ПБ.

Аналогичный опыт борьбы с местными скоплениями метана имеется и за рубежом. На шахтах Чехии с этой целью применялись ВМП, работающие в нагнетательно-всасывающем режиме, на шахтах Польши и Франции — экскаваторы, работающие как на всасывание, так и на нагнетание.

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с газом является применение дренажного штрека при системах разработки длинными столбами по простиранию с возвратноточной схемой проветривания, в т.ч. на склоновых к самовозгоранию углях. Такой способ применяется на шахтах Германии, США, Японии, Великобритании, России, Казахстана и повышает надежность проветривания участка в 1,6 раз, эффективность дегазации выработанных пространств до 80...100%, а нагрузку на очистной забой в 1,5...3,0 раза в зависимости от удельного веса газа из выработанного пространства в газовом балансе выемочного участка. При этом необходимо учитывать, что газообильность выемочного участка растет прямо пропорционально по линейной зависимости от суточной нагрузки на очистной забой. А сопоставление газовых балансов выемочных участков показало, что метанообильность участка, отрабатываемого обратным ходом, в среднем на 33 % меньше, а относительная газообильность почти в два раза ниже, чем при отработке прямым ходом. Такое положение объясняется предварительным дренированием угольного пласта подготовительными выработками и снижением метановыделения из выработанного пространства.

В связи с остаточным газовыделением метана в течение 3-4 часов конвейерный штрек может быть загазован метаном, выделяющимся из отбитого угля, и необходима подача свежей струи воздуха по вентиляционному штреку или следует иметь дополнительный штрек для свежего воздуха.

Необходимо учесть, что при высокопроизводительных лавах с высокой газоносностью целесообразны прямоточная и фланговая схемы проветривания, что также может потребовать дополнительной выработки, параллельной конвейерному, с сечением, увеличенным до 15...20 м². С учетом того что каждая группа схем проветривания имеет свои достоинства и недостатки, необходимо определить область целесообразного их применения. Основными критериями при выборе оптимального способа проветривания горных выработок при их проведении

являются: эффективность проветривания по газовому и пылевому факторам; горно-технические и организационные параметры проветривания; величина экономических затрат. При этом основным критерием оценки должна быть возможная нагрузка на очистной забой при условии безопасности работ по газовому фактору.

Ниже выполнен анализ возможных схем проветривания выемочных участков по локальным критериям в следующей последовательности.

Устанавливалась метанообильность участка (q_y) без дегазации источников метановыделения:

$$q_y = q_{нл} + q_{ен}, \text{ м}^3/\text{т},$$

где $q_{нл}; q_{ен}$ — метановыделение, соответственно, из разрабатываемого пласта и подготовительных выработок и из выработанного пространства с учетом сближенных пластов и вмещающих пород, м³/т.

Метанообильность призабойного пространства лавы без дегазации источников метана при заданной схеме проветривания составит

$$q_{оч} = q_{нл} + k_{ен} \cdot q_{ен}, \text{ м}^3/\text{т},$$

где $k_{ен}$ — коэффициент, учитывающий долю метановыделения из выработанного пространства в лаву.

Для выбора способов дегазации по источникам метановыделения устанавливается долевое участие разрабатываемого пласта и выработанного пространства в общем газовыделении на участке:

$$n_{нл} = q_{нл} / q_y; \quad n_{ен} = q_{ен} / q_y;$$

в призабойном пространстве лавы:

$$m_{нл} = q_{нл} / q_{оч}; \quad m_{ен} = k_{ен} \cdot q_{ен} / q_{оч}.$$

Допустимая по газовому фактору метанообильность призабойного пространства лавы ($q'_{оч}$), при которой может быть обеспечена заданная суточная добыча (A), определяется по формуле:

$$q'_{оч} = 864 S \cdot v \cdot c / A \cdot k_n, \text{ м}^3/\text{т},$$

где S — минимальная площадь сечения лавы, свободная для прохода воздуха, м²;

v — допустимая по ПБ максимальная скорость движения в лаве, м/с;

c — допустимая по ПБ максимальная концентрация метана в исходящей из лавы струе воздуха, %;

k_n — коэффициент неравномерности метановыделения в лаве.

Устанавливается коэффициент эффективности дегазации ($k'_{дег}$), при котором обеспечиваются необходимые по фактору метановыделения условия:

$$k_{ааа} \geq 1 - \frac{q_{ор}}{q_{оч}} \quad \text{или} \quad k_{ааа} \geq 1 - \frac{I_{\delta}}{I},$$

где I_p и I — метанообильность призабойного пространства, соответственно, по фактору вентиляции и без дегазации:

$$I = A \cdot q_{оч} / 1440, \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Выбор способов дегазации производится исходя из величины газообильности призабойного пространства лавы, газового баланса лавы и возможной эффективности дегазации каждого источника метановыделения:

$$k'_{дез}(k_{д.уч}) = 1 - [d_в(1 - k_{дн}) + d_н(1 - k_{дн})](1 - k_{д.вн}) - n_{нл}(1 - k_{д.нл}),$$

где $d_в, d_н, n_{нл}$ — доля метановыделения, соответственно, из подрабатываемого, надрабатываемого и разрабатываемого пластов; $k_{д.уч}, k'_{дез}, k_{дн}, k_{дн}, k_{д.нл}, k_{д.вн}$ — коэффициенты эффективности дегазации, соответственно, выемочного участка, подрабатываемых, надрабатываемых и разрабатываемых пластов и выработанного пространства.

Зная коэффициенты эффективности дегазации ($k_{эо}$) по разрабатываемому пласту, определяется потребный $k_{эо}$ для выработанного пространства (источник с наибольшим объемом метана) с учетом газовой выделению из сближенных пластов и вмещающих пород:

$$k_{д.вн} = (k'_{дез} - m_{нл} k_{д.нл}) / m_{вн}.$$

Для сравнения различных схем проветривания при определенных условиях дегазации производится сопоставление нагрузок на очистные забои с учетом утечек воздуха через выработанное пространство и достижимого уровня дегазации источников метановыделения. При прочих равных условиях разница в коэффициентах утечек воздуха (определяется экспериментально) и эффективности дегазации определяет различие возможных по газовому фактору нагрузок на очистные забои. Величина этого различия устанавливается через отношение допустимых нагрузок на очистные забои (табл. 1), из которой следует, что при схемах проветривания второй группы возможная нагрузка на очистные забои может быть выше, чем при схемах первой группы, только при условии применения эффективной комплексной дегазации сближенных пластов и выработанного пространства. При этом эффективность извлечения метана дегазационными скважинами должна быть не менее 50%.

Таблица 1

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Группа схемы проветривания	Коэффициент эффективности дегазации, доли ед.				Доля доп. расхода воздуха в подсвежающ. струе	Отношение нагрузок на очистные забои
	вышележащих пластов	нижележащих пластов	выработан. пространства	разрабатываемого пласта		
Первая	0.6	0.3	0.1	0.4	-	0.9
	0.5	0.4	0.2	0.3	-	1.0
	0.3	0.5	0.3	0.2	-	1.1
Вторая	0.6	0.3	0.7	0.5	-	1.2
	0.5	0.4	0.6	0.4	-	1.1
	0.3	0.1	0.1	0.3	-	0.6
Третья	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6
	0.6	0.2	0.2	0.3	0.2	0.8
	0.1	0.3	0.3	0.4	0.3	1.0
Четвертая	0.1	0.4	0.3	0.4	0.5	1.4
	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	1.3
	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	1.2

Схемы третьей группы обеспечат высокую нагрузку на очистные забои при условии подачи количества воздуха, соответствующего максимальной скорости воздуха в рабочем пространстве лавы. Применение прямооточных схем проветривания с направлением исходящей струи воздуха в сторону выработанного пространства и с ее подсвежением (четвертая группа) за счет наличия дополнительного расхода воздуха в исходящей струе повышает безопасность работ, так как снижает концентрацию метана в утечках воздуха через выработанное пространство. По относительному рейтингу приоритетов в порядке убывания схемы проветривания выемочных участков можно расположить в следующем порядке: 4,2,1 и 3.

Выбор способов дегазации следует производить на основе данных о структуре газового баланса и с

учетом возможных в конкретных условиях коэффициентов эффективности дегазации. В первую очередь необходимо дегазировать источник, из которого выделяется наибольшее количество метана.

Предварительная дегазация разрабатываемых пластов, несмотря на небольшой объем извлекаемого метана, играет большую роль, так как метан извлекается из наиболее опасных мест — проходческих и очистных забоев.

Современное состояние дегазации характеризуется, с одной стороны, увеличением газовой выделению, а с другой — усложнением условий применения и снижения эффективности способов дегазации. Затраты на дегазацию в 1990-1996 годы возросли на 42 %, а эффективность дегазации и увеличение объема извлеченного метана — лишь на 3...8 %. Вопросы управления газовой выделением на

шахтах Караганды осуществлялись за счет увеличения количества и мощности вентиляционных и дегазационных установок, применением в высокопроизводительных лавах комплексных методов дегазации, которые на глубине 600-700 м обеспечивают снижение газообильности не более чем на 50...60 %.

На шахтах Карагандинского бассейна, где основным источником газовой выделения является разрабатываемый пласт, преимущественное распространение получили способы комплексной дегазации, включающие отсос метана из разрабатываемого пласта и выработанного пространства. Разрабатываемый пласт дегазируется, в основном, способами предварительной и передовой дегазации при параллельно-одиночной и кустовой схемах бурения подземных скважин из горных выработок, а выработанное пространство — вертикальными скважинами с поверхности, подземными породными скважинами в купола обрушения, подземными скважинами или отростками перфорированных труб, подсоединенных к газопроводу. Использование комплексных способов дегазации позволило в 1,6...3,0 раза увеличить по сравнению с допустимой по газовому фактору нагрузку на очистной забой.

Метанообильность угольных пластов Карагандинского бассейна на глубине 550..650 м составляет в среднем 36,8 м³/т, из которых третья часть объемов газа поступает из спутников и оближенных пластов.

Одним из возможных решений по повышению эффективности дегазации в этих условиях является переход на региональные способы посредством обработки защитных пластов.

Конкретные результаты комплексного эффективного использования различных способов были достигнуты на шахте «Саранская» УД ОАО «Испат-Кармет». При отработке пласта К₁₀ под площадью неотработанного пласта К₁₂ лавой 62 К₁₀ –В был использован комплекс мероприятий по дегазации источников газовой выделения со следующей эффективностью их применения (табл. 2).

Общие затраты на дегазацию на 1 т добытого угля составили 34,5 тенге или около 2% себестоимости, т.е. весьма незначительны.

Оценка эффективности дегазации угольных пластов производится по объему извлечения метана на 1 т запасов (уровень извлечения) и коэффициенту дегазации.

Необходимо учитывать и принцип совокупности затрат, достигаемый за счет попутной добычи газа метана, и дальнейшее его использование в хозяйственной деятельности шахт (котельные). Так, например, на шахте «Саранская» за период работы очистного забоя в сентябре-ноябре 2000 года в котельной установке шахты непосредственно из лавы было утилизировано 2500 тыс. м³ метана, сэкономлено 4900 т угля на сумму 8186 тыс.тенге, что практически окупило затраты шахты на дегазацию.

Для достижения высоких нагрузок на очистной забой на глубине 600...800 м эффективность дегазации должна быть не менее 80...85 %.

Для достижения указанного уровня дегазации возможно использование опыта передовых угледобывающих стран в этой области, основанное на использовании длинных скважин (до 1800 м, «Asker drill»), мобильных бурильных установок (Ingrsoll land) и вакуум-насосов (Nash Engineering).

Таблица 2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕР ПО ДЕГАЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ

Способ дегазации	Концентрация метана	Коэффициент дегазации	Стоимость 1м ³ извлеч. метана, тенге	Эффективность дегазации, % от объема метана
Бурение вертикальных дегазационных скважин с поверхности	80...95	0.46	1.7	42.4
Проведение газодренажного штрека по пласту К ₁₂ с отсосом газа	60...90	0.32	0.53	31.5
Отсос газа из выработанного пространства через перемычки погашенных выработок	28...30	0.35		14.1
Бурение пластовых дегазационных скважин	15...20	0.28	3.3	7.1
Газоотсос из-за перемычки монтажной камеры	28...30	0.09		3.8
Бурение дегазационных скважин в купола обрушения		0.22	11.5	1.0

Раздел 4

Транспорт

УДК 622.233.29

А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ
Н.А. ДАНИЯРОВ

Диагностика дизельного привода самоходного горного оборудования по параметрам рабочих жидкостей

Наиболее сложной частью самоходного горного оборудования является двигатель внутреннего сгорания, который должен обеспечиваться топливом, смазкой и охлаждающей жидкостью. Основными причинами отказов дизельного привода являются:

- несвоевременное обнаружение дефектов основных механизмов,
- неисправности систем фильтрации воздуха, топлива и масла,
- потеря картерным маслом смазывающих качеств,
- чрезмерное форсирование скоростных и нагрузочных режимов.

При эксплуатации происходят необратимые изменения в конструкции дизеля, связанные с ухудшением технического состояния составных частей, которые приводят к отказам. Интенсивность износа деталей двигателя может быть определена по концентрации частиц металлов в картерном масле. Это наиболее информативный диагностический параметр среди всех других, применяемых в настоящее время [1].

Для диагностики двигателя применяется спектральный анализ, позволяющий определять интенсивность износа подшипников коленчатого вала, цилиндров двигателя, колец и поршней по концентрации железа, алюминия, свинца, хрома, меди и других металлов. Кроме того, спектральный анализ позволяет определить концентрацию кремния и бария. Остальные параметры качества масла (вязкость, водородный показатель, наличие воды) фиксируются

при помощи стандартных физико-химических методов.

Частицы металлов равномерно распределяются по всему объему картерного масла и длительно находятся во взвешенном состоянии. Кроме того, концентрация их в масле стабилизируется на уровне, соответствующем интенсивности поступления частиц изношенного металла в масло, т.е. интенсивности изнашивания. Это объясняется постоянством баланса между поступлением частиц износа, задержкой их фильтрующими элементами и выбросом со сгорающим маслом.

Выявлена высокая чувствительность и информативность метода: резкое изменение концентрации при самых незначительных изменениях интенсивности износа. Экспериментально подтверждено, что доливы и замены масла лишь временно нарушают этот процесс.

Об этом свидетельствуют также исследования фирмы КАТЕРПИЛЛАР [2], которая разработала программу послепродажного системного отбора смазок (СОС) для обеспечения максимально эффективной и продолжительной работы двигателей. Эта программа является надежным средством ранней диагностики, позволяющим выявить в масле следы металлов и иного загрязнения. СОС позволяет своевременно обнаружить потенциальную причину неисправности и предотвратить дорогостоящие ремонтные простои оборудования. В рамках программы производится анализ любой смазки, а не только моторного масла.

С помощью СОС можно определить эксплуатационные качества масла и степень износа узлов. Система предусматривает несколько типов анализа:

Анализ состояния масла — позволяет выявить потерю смазочной способности масла путем определения количества содержащихся в нем сажи, серы, продуктов окисления и нитрации. В ходе этого анализа определяется степень ухудшения качества масла во время эксплуатации. Кроме того, этот анализ позволяет сопоставить характеристики масла за период работы между заменами масла с техническими условиями.

Анализ скорости износа — определяет степень износа металлических деталей двигателя путем выявления и количественной оценки металлических элементов износа, содержащихся в масле. При этом анализируется количество продуктов износа металлов и типы этих продуктов. Для оценки состояния двигателя увеличение скорости поступления продуктов износа металлов в масло имеет такое же значение, как и содержание продуктов износа в масле. По этой величине для выявления скорости поступления в масло продуктов износа необходимо отбирать пробы масла с установленной периодичностью. Нерегулярный отбор проб не позволяет определить графическую зависимость износа во времени. В ходе анализа количество продуктов износа в образце масла сравнивается с нормами, установленными фирмой КАТЕРПИЛЛАР, что позволяет судить о соответствии состояния двигателя допустимым требованиям.

Физико-химические испытания — позволяют обнаружить физическое присутствие в масле нежелательных жидкостей (воды, топлива, антифриза).

Результаты анализа проб масла используются в качестве базиса для определения интервалов замены масла. По результатам анализа масла по программе СОС возможно увеличение срока между заменами масла без риска повреждения двигателя. Периодичность проведения анализа моторного масла по программе СОС составляет 250 моточасов.

Каждую пробу следует отбирать, когда масло прогрелось и хорошо перемешано, чтобы обеспечить наибольшую однородность пробы масла, содержащегося в отсеке. Для отбора проб СОС используется несколько способов:

- шприцем из поддона;
- через кран, установленный для взятия проб;
- из сливаемой струи при замене масла.

Рекомендуется использовать два первых способа. Если используется третий способ, не следует отбирать пробу в начале и в конце слива, так как масло в этот период недостаточно смешано.

Образцы смазок оцениваются по многочисленным критериям, которые выработаны на основе обширного массива данных, собранных за многие годы практической работы с оборудованием производства фирмы КАТЕРПИЛЛАР.

Анализ износа производится на атомном абсорбционном спектрофотометре. Этим методом определяется концентрация продуктов износа в

пробах масла, что позволяет следить за интенсивностью износа в ходе эксплуатации машины. Основываясь на известных нормальных значениях концентраций, устанавливаются допустимые пределы содержания продуктов износа. Если анализ показывает концентрации, отклоняющиеся от нормы, следует считать, что надвигается опасность отказа.

В ходе контроля концентрации металлов в масле устанавливаются нормальные скорости износа деталей. Многие неисправности можно обнаружить по существенному увеличению скорости износа или степени загрязнения масла по сравнению с прежними результатами анализа.

Этот метод позволяет обнаружить неисправности, связанные с износом деталей и с постепенным накоплением в масле компонентов грязи, топлива, воды и антифриза. Анализ не позволяет обнаружить, предопределить выход из строя, вызванный усталостью деталей, внезапным прекращением смазки или внезапным попаданием в систему грязи или посторонних веществ, так как отказы такого типа развиваются слишком быстро.

Химико-физический анализ позволяет определить присутствие в масле воды, топлива и антифриза. Состояние масла определяется при помощи инфракрасной спектрометрии. В ходе этого испытания определяются наличие и концентрация в масле сажи, серы, продуктов окисления и нитрации. Инфракрасная спектрометрия позволяет корректировать периодичность смены масла применительно к конкретным условиям.

Для большей точности диагноза следует проводить все перечисленные выше типы анализа моторного масла.

Диагностика двигателя по химическому составу охлаждающей жидкости [4] позволяет предотвратить внутреннюю кавитацию и коррозию деталей системы охлаждения и определить способность охлаждающей жидкости по защите от кипения и замерзания. Анализ охлаждающей жидкости по программе СОС основан на периодическом отборе проб. Рекомендуемая периодичность отбора проб для анализа составляет 250 моточасов на первой стадии и 500 моточасов или ежегодно по второй стадии.

На первой стадии проверяются следующие свойства охлаждающей жидкости:

- концентрация гликоля для защиты от замерзания;
- способность обеспечить защиту от эрозии;
- показатель рН;
- электропроводность;
- жесткость воды;
- визуальная проверка;
- анализ запаха.

Анализ охлаждающей жидкости на второй стадии является всесторонней проверкой химического состава охлаждающей жидкости. Анализ на данной стадии также проверяет общее состояние элементов системы охлаждения. На этой стадии проводятся:

- анализ первой стадии в полном объеме;
- определение источника коррозии металлов и идентификация загрязняющих примесей;
- определение скопления примесей, вызывающих коррозию;

– определение скопления примесей, вызывающих накипь;

– определение возможного электролиза внутри системы охлаждения.

Отчет о результатах анализа служит для выработки соответствующих рекомендаций для механиков, которые должны принять правильное решение относительно ремонта двигателя.

Плановое взятие пробы и анализ масла и охлаждающей жидкости — не только надежное средство для определения необходимости ремонта, но и идеальный инструмент для определения причины неисправности. Регулярно отбирая пробы масла и охлаждающей жидкости можно иметь информацию о состоянии двигателя и избежать затрат на ремонт компонентов, которые этого могут не требовать.

Кроме того, фирма КАТЕРПИЛЛАР рекомендует также проводить плановый отбор проб масла гидро-

систем, бортовых редукторов и дифференциалов, коробок передач через каждые 500 моточасов. Программа отбора проб рабочих жидкостей позволяет поддерживать максимальный уровень рентабельности оборудования.

Система диагностики на основе применения современного оборудования и систем отбора рабочих жидкостей обеспечит детальную оценку состояния СГО. Двухуровневая система технической экспертизы на основе новейшего диагностического оборудования обеспечивает детальную оценку состояния двигателя.

Когда экспертиза обнаруживает необходимость ремонта или замены компонента, например водяной помпы или турбонагнетателя, необходимо заменить узел для обеспечения длительной и надежной работы.

В случае когда техническая экспертиза не выявляет неисправности, выполняется экспертиза состояния двигателя с целью выбора оптимального ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

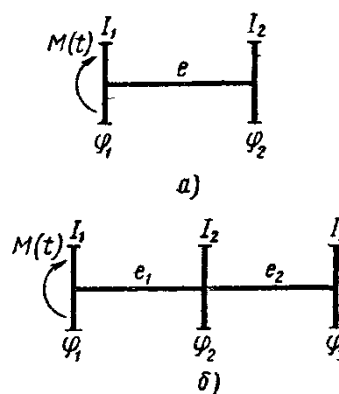
1. Мирошников Л.В. и др. Диагностика дизельных двигателей с использованием параметров картерного масла / НИИАвтопром // Автомобилестроение, 1971. №4.
2. Рекомендации по рабочим жидкостям для промышленных дизельных двигателей фирмы Caterpillar. SRBU6251-06.
3. Обслуживание двигателей фирмы «Катерпиллар». HRDP7101-01 (0796) ps.
4. SOS fluid analysis. PEDP7036-02.
5. Руководство по управлению и техническому обслуживанию. Колесный погрузчик 980С. HRBU62280. 1989.
6. Руководство по эксплуатации и обслуживанию. Дизельные двигатели 3408 и 3412 промышленного назначения и для генераторных установок. SRBU5415-04. 1993.

ӘОЖ 622.647

Т.К. БАЛҒАБЕКОВ

Теңгеру қондырғысының қозғалтқыш жүйесіне түсетін жүктемелердің әсерлесу түрі және оны шешу есептері

Өтпелі үдерістер кезінде теңгеру қондырғысының қозғалтқыш жүйесіне айналдыратын иінкүш әсер етеді, ол бұрқанды (импульсті) сипаттамасында болады (өтпелі үдерістерді электрлік қозғағышпен жасаған кезде) немесе көптеу және аздау болуы мүмкін жайлы шеппен сатылы функциялы болғанда (өтпелі үдерістерді тежегішпен немесе фрикционды муфтамен жасаған кезде). Өтпелі кезең кезінде ең жоғарғы жүктеме шамасы, қозғалтқыш мүшелерінің жоғары түрде келтірілген иінкүштің кезінде болады, яғни жоғары сатылылы кезінде n_{min} . Осы жағдайда теңгеру қондырғысындағы қозғалтқышты, көптеген оқиғада керекті дәлділікпен екі массалы жүйемен ауыстыруға болады (1,а-сурет) бұл теңгеру қондырғысының қозғалтқышында белдеулі (ременная) беріліс болмаған кездегісі, ал үш жүйе үшін (1,б-сурет) бұл теңгеру қондырғысының қозғалтқышында белдеулі беріліс болған кездегісі.



1-сурет. Екі және үш жүйелі сұлбалар

Белгілі жұмыстарда [1] физикалық үдерістерді талдау нәтижесінде, үдеріс жүк қабылдағыш қондырғы бойынша, жетекті-тасу органының жүріс кезіндегі ағымында болады, осыдан, теңгеру қондырғысындағы өлшегіштегі ауытқуларға әсерлері бар белгілі механикалық факторларды атап көрсететін болсақ, онда:

- теңгеру қондырғысы орнатылған жердегі жетекті-тасу органының тартылымдарының өзгерулері;
- тасымалдайтын мәділердің (материалдардың) сызықтық тығыздықтарының өзгерулері;

– жүк қабылдағыш қондырғының, жетекті-тасу органының және тасымалдайтын мәддінің пәрменділіктері;

– пайдалы жүктеменің әсерінен, күш өлшегіш бергіштің майысуы және т.б.

Теңгеру қондырғысына осы жоғарыдағы аталған факторлардың әсерлесу дәрежесі, жүк қабылдағыш қондырғымен, көп қозғалтқышты қатпарлы конвейердегі жетекті-тасу органдарының өзара әсерлесу үдерістері кезіндегі ерекшеліктері анықталады.

Осы жағдайларға байланысты бұл бөлімде механикалық жүйедегі өзара әсерлесу үдерістері зерттеледі, яғни, «жетекті-тасу орган-теңгеру қондырғысы» пішінделу байланыстылығын табу мақсатында әсерлесу тәсілін құрастыру керек.

Электрлік қозғағышты іске қосқанда және тежегенде серпінділік және демпфирлеу қозғағыштың электрлі-магниттік жүйесінде, тармақтың тұрақтылық сипаттамасындағы жұмысқа дәл келетіні, есепке алынбауы тиіс.

Иінкүш $M(t)$ масса I_1 әсерлескенде екі массалы жүйеге төмендегідей қылып жазуға болады

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + \frac{1}{e}(\varphi_1 - \varphi_2) = M(t); \quad (1)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 + \frac{1}{e}(\varphi_2 - \varphi_1) = 0,$$

немесе, бірінші теңдеуді I_1 көбейткеннен кейін, екіншісін I_2 көбейтіп және мүшелеп айырғанда келесідей болады

$$\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \ddot{\theta} + \frac{1}{e} \theta = \frac{I_2}{I_1 + I_2} M(t), \quad (2)$$

мұндағы $\theta = \varphi_1 - \varphi_2$. Мынадайда серпінді байланыстағы айналдыратын иінкүш

$$M_{12} = \frac{1}{e}(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{e} \theta,$$

және

$$\frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2 e} = \omega_c^2,$$

мұндағы ω_c — қарастырылатын жүйенің өз айналым жиілігі, онда

$$\frac{1}{\varphi_n^2} M_{12} + M_{12} = \frac{I_2}{I_1 + I_2} M(t). \quad (3)$$

Егер $M(t)$ бұрқанды сипаттамасында немесе сатылы функциясында болса, онда ең шекті (пиковое) $M_{12_{\max}}$ мағынасы шекті мағына M_0 функция $M(t)$ қатынасымен байланысты

$$M_{12_{\max}} = \mu \frac{I_2}{I_1 + I_2} M_0, \quad (4)$$

мұндағы μ — пәрменділік коэффициенті, ол функция $M(t)$ түріне; осы функцияның уақыт аралық өзгеруі қатынасына τ және жүйенің өз тербелісі кезеңіне $T_c = 2\pi / \omega_c$; тербеліс жүйесінің демпфирлеу дәрежесіне $\eta = C / C_{кр} = \delta / 2\pi$ байланысты.

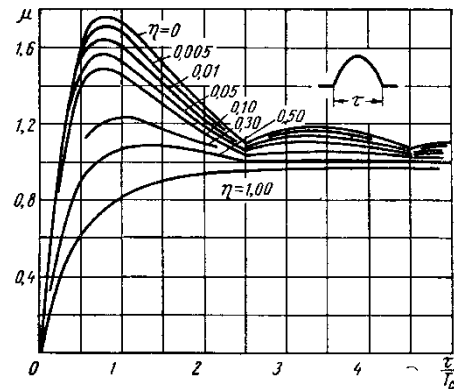
Келесі 2,3,4,5-суреттерде μ анықтау үшін, керегендер келтірілген, ол $M(t)$ көптеп кездесетін функциялары үшін: бұлар жартылай толқынды

синусоида $M(t) = M_0 \sin \pi \frac{t}{\tau} (0 \leq t \leq \tau)$; қаратылған

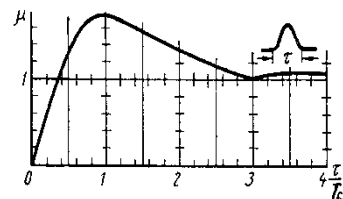
синусоида $M(t) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos 2\pi \frac{t}{\tau} \right) M_0 (0 \leq t \leq \tau)$;

бұрқанды тік бұрышты $M(t) = M_0 (0 \leq t \leq \tau)$, $M(t) = 0 (t > \tau)$; еңістелген шеппен сатылы функциялы

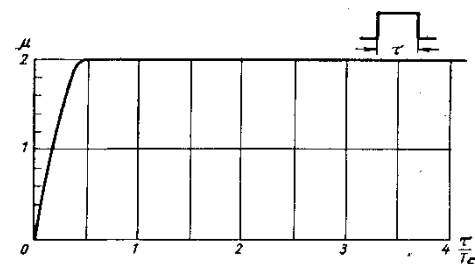
$M(t) = M_0 \frac{t}{\tau} (0 \leq t \leq \tau)$, $M(t) = M_0 (t > \tau)$ болып келеді.



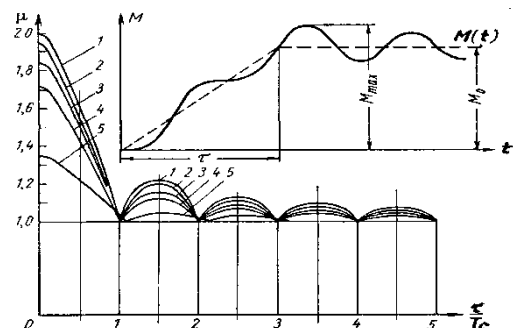
2-сурет. Жартылай толқынды синусоида



3-сурет. Қаратылған синусоида



4-сурет. Бұрқанды тік бұрыш



5-сурет. Еңістелген шеппен сатылы функция

Демпфирлеуден байланысшылық μ бұрқандылық үшін «қаратылған синусоида» және «тікбұрыштылық» (3,4-сурет), жоғарыда көрсетілген (2,5-сурет) тәуелділіктеріне ұқсас.

Үш массалы жүйенің теңдеуі (3-сурет)

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + \frac{1}{e_1}(\varphi_1 - \varphi_2) &= M(t); \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + \frac{1}{e_1}(\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{1}{e_2}(\varphi_2 - \varphi_3) &= 0; \\ I_3 \ddot{\varphi}_3 + \frac{1}{e_2}(\varphi_3 - \varphi_2) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Бірінші теңдеуді I_2 көбейтіп және одан екінші теңдеуді айыратын болсақ, ол I_1 -ге көбейтілген болатын, осыдан үшінші теңдеуді I_2 көбейтіп және одан екінші теңдеуді айырасақ, ол I_3 -ке көбейтілген болатын, сонда табатынымыз

$$\begin{aligned} \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + \frac{1}{e_1} (\varphi_1 - \varphi_2) - \\ - \frac{I_1}{I_1 + I_2} * \frac{1}{e_2} (\varphi_2 - \varphi_3) &= \frac{I_2}{I_1 + I_2} M(t); \\ \frac{I_2 I_3}{I_2 + I_3} (\ddot{\varphi}_2 - \ddot{\varphi}_3) - \frac{I_3}{I_2 + I_3} * \\ * \frac{1}{e_1} (\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{1}{e_2} (\varphi_2 - \varphi_3) &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

немесе

$$\begin{aligned} M_{12} = \frac{1}{e_1} (\varphi_1 - \varphi_2) \text{ және } M_{23} = \frac{1}{e_2} (\varphi_2 - \varphi_3); \\ \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} e_1 \ddot{M}_{12} + M_{12} - \frac{I_1}{I_1 + I_2} M_{23} &= \frac{I_2}{I_1 + I_2} M(t); \\ \frac{I_2 I_3}{I_2 + I_3} e_2 \ddot{M}_{23} - \frac{I_3}{I_2 + I_3} M_{12} + M_{23} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Келешекте $M_{12_{\max}}$ және $M_{23_{\max}}$ ең жоғарғы мағыналарын табу үшін, қалыпты координаталарға көшкен орынды. Ол үшін (7) теңдеуін каноникалық пішінге келтіреміз, онда байланыс коэффициенттері екі теңдеуде де тең. Бұл жағдайда коэффициент байланыстарын теңдестіру үшін, бірінші теңдеуді $\frac{I_3}{I_2 + I_3}$ көбейтіп, екіншісін $\frac{I_1}{I_1 + I_2}$ көбейтеміз. Сонда (7) теңдеуі келесідей болып жазылады

$$\begin{aligned} \frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} e_1 \ddot{M}_{12} + \frac{I_3}{I_2 + I_3} M_{12} - \\ - \frac{I_1 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M_{23} &= \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t); \\ \frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} e_2 \ddot{M}_{23} - \frac{I_1 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M_{12} + \\ + \frac{I_1}{I_1 + I_2} M_{23} &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

мұнда $\frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} e_1, \frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} e_2$ — тарам-

далған (обобщенные) массалар; $\frac{I_3}{I_2 + I_3}, \frac{I_1}{I_1 + I_2}$ —

тарамдалған қаттылықтар. Серпінді иінкүштер M_{12} және M_{23} қалыпты координаталар \tilde{M}_1 және \tilde{M}_2 арқылы келесідей болып жазылады [2]

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= \tilde{M}_1 + \tilde{M}_2; \\ M_{23} &= k_1 \tilde{M}_1 + k_2 \tilde{M}_2. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

мұндағы $k_1 = \left(\frac{M_{23}}{M_{12}} \right)_{\omega=\omega_1}$ және $k_2 = \left(\frac{M_{23}}{M_{12}} \right)_{\omega=\omega_2}$ — сер-

пінді иінкүштердің екіншіде M_{23} және біріншіде M_{12} амплитуда қатынасы, серпінді буындарда біріншімен $\omega_{\tilde{h}_1}$ және екіншімен $\omega_{\tilde{h}_2}$ бос тербеліс кезінде өзіндік жиілігімен, яғни серпінді иінкүш тербелісінің коэффициенттер пішіні 3-суреттегі жүйе үшін

$$k_1 = \frac{I_1 + I_2}{I_1} - I_2 e_1 \omega_1^2; \quad k_2 = \frac{I_1 + I_2}{I_1} - I_2 e_1 \omega_2^2. \quad (10)$$

Лагранжа функциясы L (8) формуласындағы жүйе үшін [3]

$$\begin{aligned} L = T - \dot{I} + \sum_{k=1,2} M_k(t) M_{k,k+1} &= \frac{1}{2} * \frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} * \\ * e_1 M_{12}^2 + \frac{1}{2} * \frac{I_1 I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} e_2 M_{23}^2 - \frac{1}{2} * \frac{I_3}{I_2 + I_3} M_{12}^2 - \\ - \frac{1}{2} * \frac{I_1}{I_1 + I_2} M_{23}^2 + \frac{I_1 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} * M_{12} M_{23} + \\ + \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t) M_{12} &= \frac{1}{2} \beta_1 \tilde{M}_1^2 + \frac{1}{2} \beta_2 \tilde{M}_2^2 - \\ - \frac{1}{2} \alpha_1 \tilde{M}_1^2 - \frac{1}{2} \alpha_2 \tilde{M}_2^2 + \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t) (\tilde{M}_1 + \tilde{M}_2), \end{aligned} \quad (11)$$

мұндағы T және Π — жүйенің потенциалды және кинетикалық энергиясы; α, β — тарамдалған қаттылықтар және қалыпты координатадағы жүйенің массасы.

Лагранжа бойынша қозғалыс жүйесінің теңдеуі

$$\frac{d}{dt} * \frac{dL}{d\dot{\tilde{M}}_i} = \frac{dL}{d\tilde{M}_i}, \quad (i = 1, 2),$$

осыдан

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 \ddot{\tilde{M}}_1 + \alpha_1 \tilde{M}_1 &= \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t); \\ \beta_2 \ddot{\tilde{M}}_2 + \alpha_2 \tilde{M}_2 &= \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Еске ала, яғни $\frac{\alpha_1}{\beta_1} = \omega_{\tilde{h}_1}^2; \quad \frac{\alpha_2}{\beta_2} = \omega_{\tilde{h}_2}^2$, осыдан (12)

теңдеуін, (3) түріне келтіреміз

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\omega_{\tilde{h}_1}^2} \ddot{\tilde{M}}_1 + \tilde{M}_1 &= \frac{1}{\alpha_1} * \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t); \\ \frac{1}{\omega_{\tilde{h}_2}^2} \ddot{\tilde{M}}_2 + \tilde{M}_2 &= \frac{1}{\alpha_2} * \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} M(t), \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

соның ішінде [2] бойынша

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{I_3}{I_2 + I_3} + \frac{I_1}{I_1 + I_2} k_1^2 - 2 \frac{I_1 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} k_1; \\ \alpha_2 &= \frac{I_3}{I_2 + I_3} + \frac{I_1}{I_1 + I_2} k_2^2 - 2 \frac{I_1 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} k_2. \end{aligned} \right\} (14)$$

Жазылған теңдеу (13) бір-біріне байланыссыз екі жүйенің тәртібін көрсетеді, бұлардың әрқайсысын (4) теңдеуімен қолдануға болады. $\tilde{M}_{1\max}$ және $\tilde{M}_{2\max}$ анықтағаннан кейін $\tilde{M}_1(t)$ және $\tilde{M}_2(t)$ керегендерінің өзгерулерін сызуға болады, ол үшін келесі 6-суреттегі келтірілгендерді пайдаланамыз, мұнда (3) немесе (13) жүйелеріндегі серпінді иінкүштердің өзгеру керегендері және оған әртүрлі қатынастағы $\frac{\tau}{T_c}$ бұрқанды иінкүштің әсері көрсетілген.

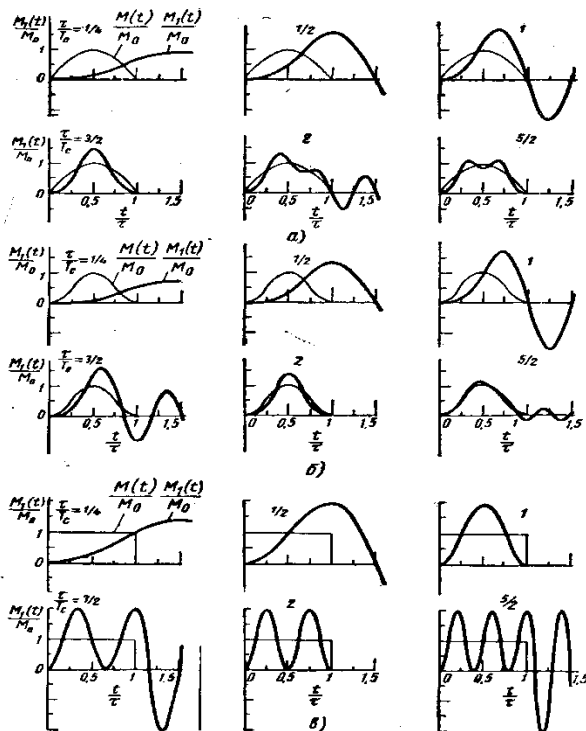
Келесідей шамаларды $M_{12\max}$ және $M_{23\max}$ анықтау үшін керектілері:

а) келесідей формуламен $\omega_{\tilde{n}_1}$ және $\omega_{\tilde{n}_2}$ мағыналарын анықтау

$$\omega_{\tilde{n}_i}^2 = \frac{\frac{I_1 + I_2}{I_1 e_1} + \frac{I_2 + I_3}{I_3 e_2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 e_1} - \frac{I_2 + I_3}{I_3 e_2}\right)^2 + 4}}{2I_2} e_1 e_2; (15)$$

өзіндік жүйе тербелістерінің кезендері төмендегідей

$$T_{c_1} = \frac{2\pi}{\omega_{c_1}}; T_{c_2} = \frac{2\pi}{\omega_{c_2}};$$



6-сурет. Бұрқанды әсер келтірілгендіктен туындаған жүйедегі тербеліс, ол оның пішініне және бұрқандылықтың $M(t)$ ұзақтылығына тәуелді: M_0 — бұрқандылықтың амплитудасы; $M_1(t)$ — жүйедегі серпінді иінкүш; а — жартылай толқынды синусоидадағы бұрқандылық; б — қаратылған синусоидадағы бұрқандылық; в — тік бұрышты бұрқандылық

б) 6-суреттегі керегендермен μ_1 және μ_2 мағыналарын анықтаймыз (T_{c_1} және T_{c_2} мағыналары үшін де солай анықтаймыз);

в) (10) және (14) формулаларымен $k_{1,2}$ және $\alpha_{1,2}$ мағыналарын анықтаймыз;

г) $\tilde{M}_{1\max}$ және $\tilde{M}_{2\max}$ ең жоғарғы мағыналарын төмендегідей формуламен анықтаймыз

$$\tilde{M}_{1,2\max} = \mu_{1,2} \frac{1}{\alpha_{1,2}} * \frac{I_2 I_3}{(I_1 + I_2)(I_2 + I_3)} [M(t)]_{\max}; (16)$$

д) негізге 6-суретті ала отырып, эскиз ретінде $\tilde{M}_1(t)$; $\tilde{M}_2(t)$; $k_1 \tilde{M}_1(t)$; $k_2 \tilde{M}_2(t)$ функцияларының керегендерін салуға болады;

е) осы керегендерді қосу (9) формуласымен іске асады.

Қозғалқыш жүйесін екі немесе үш массалы ретінде қарастырғанда, ең қиын болып келетін нақтылы, шындық жүйедегі өзіндік төменгі жиіліктегі тербелісі есепке алынбайды. Сондықтан жоғарыдағы көрсетілген әдіс бойынша алынған мәліметтерді және ең жоғарғы иінкүштерді орталықтандырылған мағына ретінде қабылдау керек, ал мұндай жүйенің қауіпті буындары болмайтындығы тәжірибелік жолмен анықталған. Өйткені енгізілген механикалық түрдегі теңгеретін теңгеру қондырғысы, жетекті органды керегеннің арқасында осы жүйедегі тербелісті толық жояды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тазабеков И.И., Балгабеков Т.К. Көп қозғалтқышты табакшалы науаға теңгеру қондырғысын енгізіп, оны зерттеудегі есептер // Университет еңбектері. 1-шығ. Қарағанды: ҚарМТУ, 2001.
2. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. М.: Физматгиз, 1964.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Физматгиз, 1958.

УДК 622.647

И.И. ТАЗАБЕКОВ

Динамика функционирования компенсирующего устройства вертикального действия

При падении транспортируемого груза с большой высоты, обусловленной конструкцией загрузочного устройства, в месте погрузки элементы конвейера испытывают ударные нагрузки, вызывающие значительные динамические прогибы и напряжения изгиба. Отсутствие загрузочно-приемных устройств, позволяющих значительно уменьшить динамические и абразивные воздействия загружаемого материала на конвейеры в пунктах погрузки, является одной из причин, задерживающих широкое использование их при транспортировании скальных грузов на рудных шахтах и открытых разработках. Компенсирующее защитное устройство пластинчатого конвейера предназначено для защиты тягового органа от импульсивных нагрузок, возникающих при загрузке горной массой. Устройство включает подвижную раму, жестко закрепленную на осях упругих опор пневмошин, и неподвижную раму, установленную на стойки [1, 2].

Подвижная рама смонтирована с превышением над уровнем неподвижной рамы с помощью упругих соединительных мостиков. Для исключения смещения тягово-несущего органа в вертикальном и боковом направлениях на оси упругих опор, дополнительно ограниченных сверху и снизу листовыми рессорами и заключенных в металлические коробки с опорами и отражателями, симметрично с двух сторон вдоль тягово-несущего органа, жестко закреплены на ножках два Т-образных ограничителя.

При воздействии на тягово-несущий орган вертикальных импульсных нагрузок подвижная рама и скрепленный с ней упругий соединительный мостик, перемещаясь вниз, достигает уровня неподвижных рам за счет прогиба упругих опор органа конвейера, т.е. секция выполняет защитную функцию. Одновременно смещаются Т-образные ограничители вниз, исключая смещение тягово-несущего органа в боковом направлении.

Представим компенсирующее устройство вертикального действия после падения крупнокускового груза в виде одной массы с упругими звеньями (рис. 1).

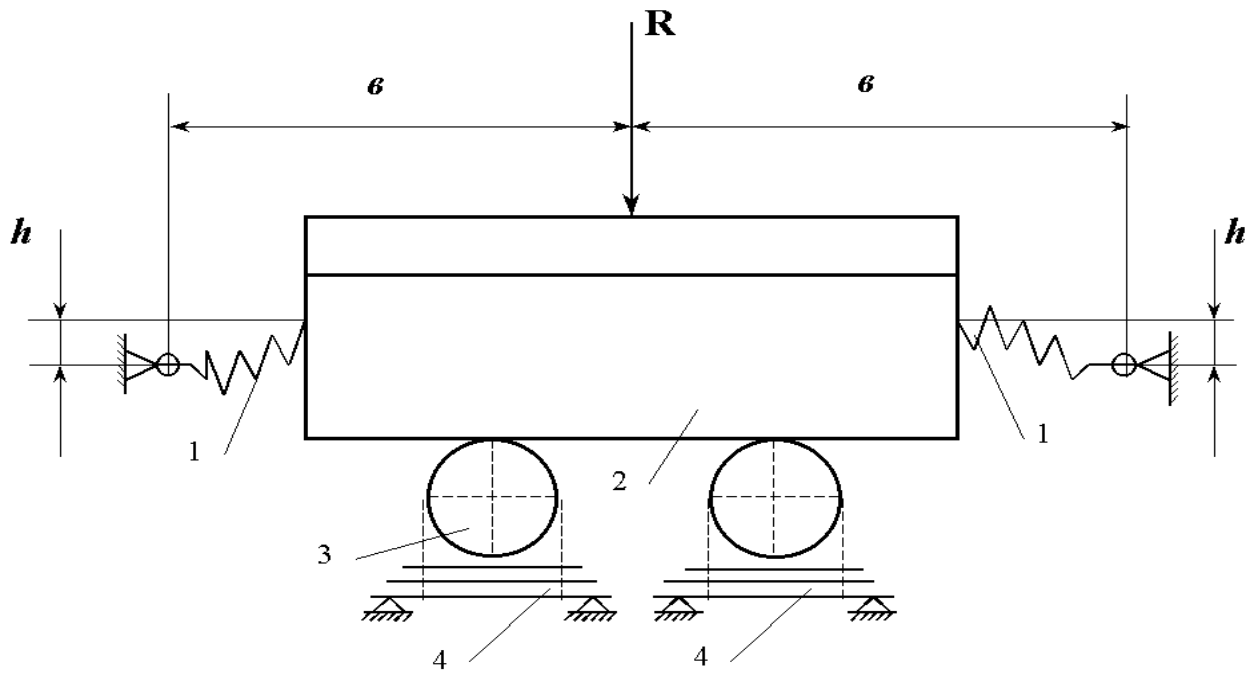


Рис. 1. Расчетная схема: 1 — соединительный упругий мостик; 2 — корпус компенсирующего устройства; 3 — пневмошина; 4 — рессора

Зависимость вертикального перемещения компенсирующего устройства h от нагрузки R определяется выражением [3]

$$R = R_i + 2 \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} h + \left(\frac{2\sqrt{S}}{\alpha} + 2C_1 \right) h \left[1 - l_0 (b^2 + h^2)^{-0.5} \right], \quad (1)$$

где C_1 — жесткость соединительного мостика;
 R_i — нагрузка, соответствующая нейтральному (горизонтальному) положению соединительных мостиков;
 S — натяжение тягово-несущего органа;
 α — постоянный для данной конструкции коэффициент, зависящий от степени загруженности несущего полотна;
 l_0 — длина соединительного мостика в свободном состоянии;
 C_2, C_3 — жесткость рессор и пневмошин.
 Жесткость всех упругих элементов компенсирующего устройства

$$\tilde{N} = \frac{dR}{dh} = 2 \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + \left(\frac{2\sqrt{S}}{\alpha} + 2C_1 \right) \left[1 - \frac{b^2 l_0}{\sqrt{(b^2 + h^2)^3}} \right]. \quad (2)$$

Характер изменения C от величины h зависит от отношения $l_0 \cdot b^{-1}$ в процессе настройки соединительного мостика. Для $l_0 \cdot b^{-1} = 1$ (соединительный мостик собран с его предварительным сжатием) характеристика более мягкая, чем для $l_0 \cdot b^{-1} < 1$ (соединительный мостик собран с предварительной растяжкой). Колебание компенсирующего устройства происходит относительно некоторого его положения, соответствующего внешней статической нагрузке (вес конструкции устройства и груза).

Если в нагруженном состоянии устройства соединительные мостики занимают горизонтальное

положение (нагрузка равна $R_{и}$), то упругая характеристика устройства симметричная; в других случаях асимметричная. Выражение (1) соответствует симметричной характеристике. Для асимметричной характеристики, т.е. для более общего случая можно записать следующее выражение:

$$R = R_i + 2 \frac{\tilde{N}_2 \tilde{N}_3}{\tilde{N}_2 + \tilde{N}_3} (h_0 + h) + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{b} + C_1 \right) (h_0 + h) \times \left[1 - \frac{l_0}{\sqrt{b^2 + (h_0 + h)^2}} \right], \quad (3)$$

где h_0 — расстояние центра колебания компенсирующего устройства от нейтрального положения соединительного мостика.

При $h = 0$ выражение (3) запишем в следующем виде:

$$R_0 = R_i + 2 \frac{\tilde{N}_2 \tilde{N}_3}{\tilde{N}_2 + \tilde{N}_3} + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) h_0 \left[1 - \frac{l_0}{\sqrt{b^2 + h_0^2}} \right]. \quad (4)$$

Разность в выражении (3) и (4) запишем в следующем виде:

$$R - R_0 = F(h) = 2 \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} h + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) h - \left\{ 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) \times h_0 \frac{l_0}{b} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{h_0 + h}{b} \right)^2} \right)^{-1} - \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h_0}{b} \right)^2} \right)^{-1} \right] + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) h_0 \frac{l_0}{b} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{h_0 + h}{b} \right)^2} \right)^{-1} \right] \right\}. \quad (5)$$

Выражение (5) представим в виде рядов по степеням $h_0^2 b^{-2}$ и $(h_0 + h)^2 b^{-2}$. Тогда

$$F_{(h)} = \left\{ 2 \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) \left[1 - \frac{l_0}{b} \left(1 - \frac{3h_0^2}{2b^2} + \frac{15h_0^4}{8b^4} - \frac{105h_0^6}{48b^6} \right) \right] \right\} h + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) \frac{l_0}{b^2} \left(\frac{3h_0}{2b} + \frac{15h_0^3}{4b^3} - \frac{315h_0^5}{48b^5} \right) h^2 + 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) \frac{l_0}{b^3} \left(0.5 - \frac{15h_0^2}{4b^2} - \frac{525h_0^4}{48b^4} \right) h^3 - \frac{15}{8} 2 \left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha} + C_1 \right) \frac{l_0}{b^4} \left(\frac{h_0}{b} - \frac{35h_0^3}{6b^3} \right) h^4 + \dots \quad (6)$$

Обозначив постоянные члены при h , h^2 , h^3 и h^4 соответственно α_0 , β_0 , γ_0 , δ_0 , имеем

$$F_{(h)} = \alpha_0 h + \beta_0 h^2 + \gamma_0 h^3 + \delta_0 h^4 + \dots \quad (7)$$

Уравнение свободных колебаний нелинейной системы (7) при обозначении переменной через x имеет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha_0 x + \beta_0 x^2 + \gamma_0 x^3 + \delta_0 x^4 + \dots = 0, \quad (8)$$

где m — соответствующая часть колеблющейся массы компенсирующего устройства.

Преобразуем его:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\alpha_0}{m} x = \frac{\varepsilon}{m} \left(\frac{\beta_0}{\varepsilon} x^2 + \frac{\gamma_0}{\varepsilon} x^3 + \frac{\delta_0}{\varepsilon} x^4 + \dots \right)$$

и, обозначив $\frac{\alpha_0}{m} = d^2$, $\frac{\beta_0}{\varepsilon} = \beta$, $\frac{\gamma_0}{\varepsilon} = \gamma$, $\frac{\delta_0}{\varepsilon} = \delta$ и $\frac{\varepsilon}{m} = \mu$, запишем

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + d^2 x = \mu \left[-(\beta x^2 + \gamma x^3 + \delta x^4 + \dots) \right]. \quad (9)$$

Особый интерес вызывает деформация упругого соединительного мостика при функционировании компенсирующих устройств. В соединительном мостике, как в бруске малой жесткости, возникают взаимосвязанные колебания. Они сопровождаются изменением длины соединительного мостика, существенно меняют осевую силу поджатия и тем самым создают условия для нарушения нормальных условий работы всего конвейера. Правильно рассчитанный в отношении основных нагрузок соединительный мостик компенсирующего устройства может потерять устойчивость либо от установившихся вибраций опор став конвейера, либо в переходном режиме, при включении и выключении компенсирующего устройства.

Учет нелинейности при одновременном возникновении продольных, поперечных и крутильных колебаний мостика имеет свою специфику. Все характеристики эквивалентного бруса в конечном итоге зависят от угла подъема витка и в процессе колебаний становятся нелинейными [4].

Продольные и поперечные колебания сопровождаются изменением угла подъема и формы упругой оси мостика, которые при резонансах

существенно отличаются от характеристик винтовой линии. В отличие от продольно-поперечных крутильные колебания характеризуются стабильной формой винтовой оси и сами не создают каких-либо существенных нелинейностей. Исходя из этого, в дальнейшем нелинейная модель эквивалентного бруса строится с учетом изменения угла α (угол подъема деформированного мостика), т.е. для продольно-поперечных колебаний.

Нелинейная задача для мостика имеет ряд особенностей: наличие предварительного поджатия; зависимость цепных усилий от изгибного удлинения мостика; влияние сдвига и вращения на собственную частоту; значительная жесткость опор, по сравнению с которой жесткость мостика незначительна; одинаковый порядок всех жесткостных характеристик мостика.

Принимаем, что в процессе колебаний отсутствует соударение витков мостика, поэтому все характеристики эквивалентного бруса меняются без скачков. Силами трения, ввиду их незначительности, пренебрегаем.

Рассмотрим основные нелинейности, возникающие в упругих соединительных мостиках компенсирующих устройств.

Появление цепных усилий связано в основном с большими по сравнению с обычным сплошным стержнем поперечными деформациями, которые вызывают удлинение упругой оси мостика при несмещающихся в продольном направлении опорах.

Оценим влияние поперечного прогиба на удлинение. В качестве примера рассмотрим шарнирное крепление концов, при котором это влияние будет максимальным. Поперечное перемещение обозначим буквой v , а его составляющие — через v_M и v_Q ; угол поворота $\theta = \partial v_M / \partial x$.

Если длину l недеформированного стержня принять за 1, то в изогнутом мостике новая длина

$$l_1 = \int_0^1 \sqrt{1 + \left(\frac{\partial v}{\partial \xi} \right)^2} d\xi = \int_0^1 \frac{v'^2}{2} \left(1 - \frac{v'^2}{4} + \frac{v'^4}{8} \dots \right). \quad (10)$$

Когда $v'_{\max} \leq 0,5$, с погрешностью $\leq 0,5\%$ можно принять, что

$$\sqrt{1 + v'^2} \approx v'^2 / 2 + 1,$$

и получаем известное выражение для удлинения стержня.

Геометрический смысл v' — это тангенс полного угла между касательной и осью x (рис. 2). Величина $v'_{\max} \leq 0,5$ соответствует углу $\leq 26^\circ$, что вполне достаточно для реальных пределов деформации мостика, тем более, что в пересчете на упругое удлинение от v_M , которое всегда меньше v , получаем полный угол $> 26^\circ$.

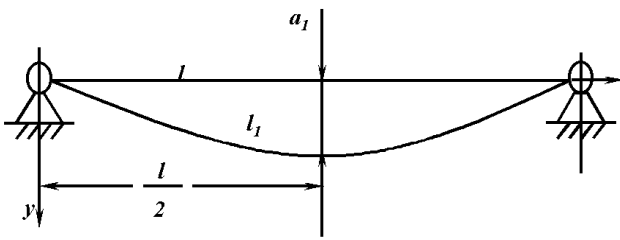


Рис. 2. Расчетная схема соединительного мостика

Принимая амплитуду равной a_1 , приближенно опишем упругую ось функциями

$$v = a_1 \sin \pi \xi; \quad \partial v / \partial \xi = a_1 \pi \cos \pi \xi > \partial v_M / \partial \xi$$

и получим

$$\Delta = l_1 - l = \int_0^1 \sqrt{1 + (a_1 \pi \cos \pi \xi)^2} d\xi - 1 = \left(\frac{a_1 \pi}{2} \right)^2 \left[1 - \frac{3}{4} \left(\frac{a_1 \pi}{2} \right)^2 + \frac{5}{8} \left(\frac{a_1 \pi}{2} \right)^4 - \dots \right] \quad (11)$$

Придавая безразмерной амплитуде a_1 последовательно значения 0,1, 0,2, 0,4, ..., получим соответственно $\Delta = 0,024; 0,091; 0,317; \dots$

Распорное усилие P_p создается в мостике той частью прогиба, которая связана с поворотом витка $\partial v_M / \partial x$. В коротких мостиках $v_Q > v_M$ и поэтому величина P_p меньше, чем в длинных, в которых $v_M > v_Q$.

Поэтому полная амплитуда a_1 , которая состоит из прогиба и сдвига, растет быстрее, чем распорное усилие, зависящее от изгибного удлинения мостика.

В растянутом мостике распорное усилие увеличивает суммарную осевую силу в отличие от сжатого мостика, в которой постоянная и переменная составляющие имеют разные знаки [4,5].

Предварительное поджатие обычно берется в пределах $1/10 - 1/3$ от начальной высоты мостика и, следовательно, $m_0 = (0,1 \div 0,3)$. Где $m_0 = \lambda_0 / H_0$, λ_0 — предварительная деформация; H_0 — высота свободной пружины.

Поэтому даже при малых прогибах ($a_1 \leq 0,1$) распорное усилие и предварительное поджатие имеют одинаковый порядок, но разные знаки. Например, для $m_1 = a_1 = 0,1$ амплитуда цепного усилия равна $\approx 0,25 P_0$.

Нельзя сравнивать распорные усилия в мостике и

обычной балке при одинаковых прогибах из-за сильного различия в жесткостных характеристиках вдоль и поперек балки. Удлинение или укорочение порядка $m_0 = 0,1$ в балках недостижимы из-за пластических деформаций, в то время как для мостиков они обычны.

Когда при поперечных колебаниях мостик удлиняется на величину

$$\Delta = \frac{1}{2} \int_0^1 (2v'\theta - \theta^2) d\xi, \quad (12)$$

соответствующее распорное усилие

$$P_p = C_{\text{тд}} H \Delta = \left(\frac{B_3}{H} \right) \lambda, \quad (13)$$

где C_{np} — продольная жесткость соединительного мостика;

B_3 — продольная жесткость двигательного бруса;

H — высота деформированной пружины.

Последняя формула дает среднее значение растягивающего переменного усилия независимо от степени искривления упругой оси мостика. Она справедлива для малых прогибов ($a_1 \leq 0,1 \div 0,2$) в предположении, что все витки деформируются одинаково и форма оси мостика не особенно отличается от прямолинейной. Поэтому для жесткого крепления она дает меньшую погрешность, чем для шарнирного.

Полное осевое усилие в мостике

$$P = \pm P_0 + P_p, \quad (14)$$

где постоянное усилие P_0 имеет знак «+» для растяжения и знак «-» для сжатия.

При местных деформациях, например, когда возникает продольный резонанс, постоянство шага нарушается, угол подъема делается переменным и цепное усилие нельзя осреднять. Переменной делается также и продольная жесткость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тазабеков И.И. Устройство для защиты конвейера П-80К от ударных нагрузок // Горный журнал. 1990. №3. С. 40-41.
2. Данияров А.Н., Акашев З.Т., Тазабеков И.И., Рожков А.В. Динамика функционирования загрузочного устройства пластинчатого конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. 1990. №3. С. 14-18.
3. Зацерковный И.Г. Свободные и вынужденные колебания автомобильной подвески с нелинейной характеристикой упругого элемента // Некоторые вопросы динамики машин. Львов: Изд-во Львовского ПИ, 1959. С. 14-21.
4. Пономарев С.Д. Новые методы расчета пружин. М.: Магиз, 1946. 230 с.
5. Коновалов А.А. О вынужденных колебаниях цилиндрических пружин // Вестник машиностроения. М., 1965. №6. 2032 с.

УДК 622.684.001.25

М.К. ИБАТОВ

Результаты стендовых испытаний опытных образцов каталитических нейтрализаторов

отработавших газов для дизельных двигателей

В рамках проведения хозяйственных научно-исследовательских работ с Соколовско-Сарбайским горно-обогатительным комбинатом и Атасуйским рудоуправлением нами решалась задача разработки модели нейтрализатора для рекомендации к эксплуатации в карьерных условиях горно-добывающей промышленности на большегрузных автосамосвалах, оборудованных дизельными двигателями.

Для решения этой задачи на первом этапе были проведены сравнительные лабораторно-стендовые испытания каталитических нейтрализаторов отработавших газов дизельных двигателей. Из числа известных конструкций каталитических нейтрализаторов были отобраны наиболее эффективные системы, к которым относятся серийно выпускаемый нейтрализатор НКД-241 и экспериментальные образцы каталитических нейтрализаторов КГГ-3, КГГ-3ВМ и ГКА.

Все исследуемые модели нейтрализаторов испытывались в абсолютно одинаковых условиях: на одной и той же экспериментальной установке; при одинаково сопоставимых нагрузках; на одном и том же исходном топливе; при одинаковом количестве одного и того же катализатора ШПК-2. Испытания проводились на режимах минимальных, средних и максимальных нагрузок прогретого двигателя ЯМЗ-238. При этом на всех режимах поддерживалось постоянное число оборотов коленчатого вала, равное 2000 об/мин. Только в режиме самой максимальной нагрузки оно составляло 2100 об/мин.

Наиболее характерные графические зависимости эффективности очистки окиси углерода и газодинамического сопротивления на выпуске отработавших газов для различных моделей каталитических нейтрализаторов приведены на рисунках 1-4. Здесь величины характеристик представляют собой средние значения по результатам шести замеров на каждом режиме работы дизельного двигателя.

Из графиков видно, что по эффективности снижения токсичности отработавших газов нейтрализаторы НКД-241, КГГ-3ВМ и ГКА незначительно отличаются друг от друга. При этом общий уровень очистки окиси углерода по этим нейтрализаторам достаточно высок. Для НКД-241 он находится в пределах от 12÷87%, для КГГ-3ВМ - 24÷90%, для ГКА - 26÷97%. Более высокую степень очистки в нейтрализаторе ГКА можно объяснить тем, что конструкция этого нейтрализатора отличается от других более развитой поверхностью контакта отработавшего газа с подвижным слоем катализатора, работающего с лучшей организацией кипящего слоя.

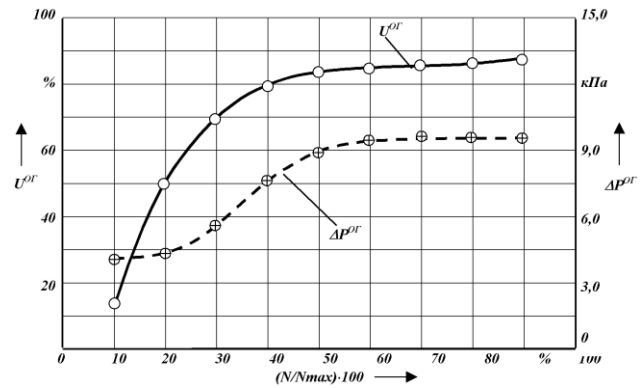


Рис. 1. Степень очистки окиси углерода и газодинамическое сопротивление в каталитическом нейтрализаторе НКД-241 в зависимости от режимов работы дизельного двигателя

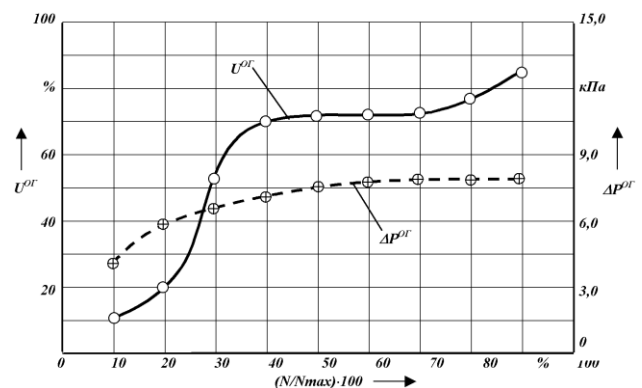


Рис. 2. Степень очистки окиси углерода и газодинамическое сопротивление в каталитическом нейтрализаторе КГГ-3 в зависимости от режимов работы дизельного двигателя

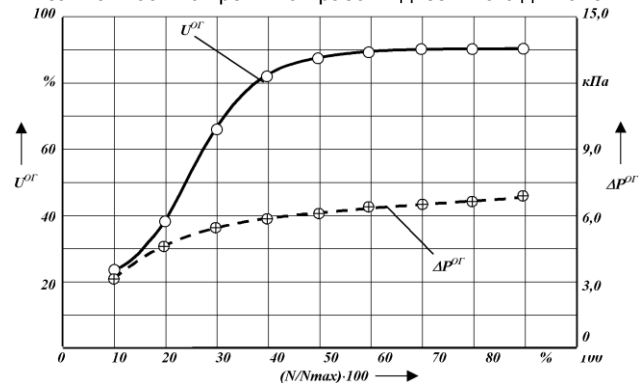


Рис. 3. Степень очистки окиси углерода и газодинамическое сопротивление в каталитическом нейтрализаторе КГГ-3ВМ в зависимости от режимов работы дизельного двигателя

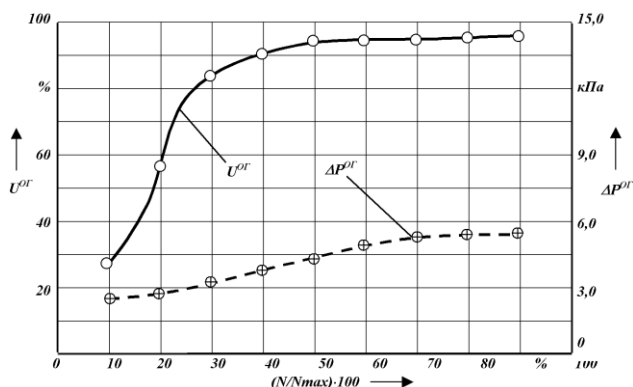


Рис. 4. Степень очистки оксида углерода и газодинамическое сопротивление в каталитическом нейтрализаторе ГКА в зависимости от режимов работы дизельного двигателя

По всем нейтрализаторам наибольшие значения степени очистки оксида углерода в отработавших газах наблюдаются в режиме максимальных нагрузок дизельного двигателя, что объясняется активной работой катализатора в условиях высоких температур в реакторах нейтрализаторов.

Вместе с тем, анализ графиков показывает, что имеет место существенная разница в газодинамическом сопротивлении на выпуске отработавших газов, создаваемым испытываемыми конструкциями нейтрализаторов. Уменьшение газодинамического сопротивления является одной из важных задач на пути совершенствования конструкций каталитических нейтрализаторов. Эта проблема связана с потерями мощности двигателей, которые могут привести к опасным последствиям при использовании автотранспортных средств на транспортировке горной массы по крутым уклонам карьеров горно-добывающей промышленности, а также с преждевременным износом деталей двигателя.

В зависимости от режимов работы двигателя газодинамическое сопротивление для НКД-241 составляет 4,1÷9,6 кПа, для КГГ-3 – 4,1÷7,9 кПа, для КГГ-3ВМ – 3,1÷6,7 кПа, для ГКА 2,4÷5,4 кПа. Наименьшее газодинамическое сопротивление наблюдается в нейтрализаторе ГКА, которое в

среднем на 30÷45% меньше, чем у других моделей. Это не является случайным, так как конструктивные параметры этого нейтрализатора разработаны на основе результатов исследований газодинамических процессов в реакторах каталитических нейтрализаторов и отличаются от других более рациональным вариантом распределения газового потока.

На следующем этапе проведения лабораторно-стендовых испытаний с целью дальнейшего уменьшения газодинамического сопротивления выпуску отработавших газов в экспериментальном образце ГКА менялась конструкция разделительных решеток реакторов каталитического нейтрализатора.

В первых опытных образцах нейтрализатора ГКА устанавливались разделительные решетки реактора, отверстия которых были выполнены путем выдавливания штампом полущелей-просечек, а также разделительные решетки с отверстиями, полученными сверлением. При этом в ходе испытаний значения газодинамического сопротивления находились на уровне выше прогнозируемого. Кроме того, были зарегистрированы случаи, когда на режимах высоких нагрузок на двигатель разделительные решетки реакторов деформировались и срывались с креплений, что приводило к значительным утечкам катализатора.

В связи с этим конструкция разделительных решеток реактора была изменена на полнопроходные отверстия, что незамедлительно сказалось на снижении газодинамического сопротивления выпуску отработавших газов. Это обуславливает целесообразность использования в реакторах нейтрализатора разделительных решеток с полнопроходными отверстиями.

Таким образом, по результатам лабораторно-стендовых испытаний представляется целесообразным при сравнении нескольких моделей каталитических нейтрализаторов отдать предпочтение каталитическому нейтрализатору модели ГКА и рекомендовать его к промышленным испытаниям на карьерных автосамосвалах.

ӘОЖ 622:647:621.851.6

И.И. ТАЗАБЕКОВ
Т.К. БАЛФАБЕКОВ

Теңгеру қондырғысы бар көп қозғағышты конвейердің дифференциалдық теңдеуі

Конвейер төсемінің берілген тартылымын сақтап тұру үшін, жылдамдық қатынасын реттеу негізгі сұрақтың бірі. Осындай жағдайда жылдамдықты астатикалық және үзілссіз әсердегі жоғары жиілікті статикалық автоматты реттеу жүйесін (АРЖ) қолданумен реттеуге болады.

Бірақта ең шектісі деген жоғары жиілікті АРЖ, көп қозғалтқышты қатпарлы конвейердің секцияларында жылдамдық қатынасын реттей алмайды, өйткені мұндағы ең бірінші талаптың бір-секция аралығындағы төсемнің тартылымының тұрақты болуы. Осы жағдай қамтамасыз етілмесе,

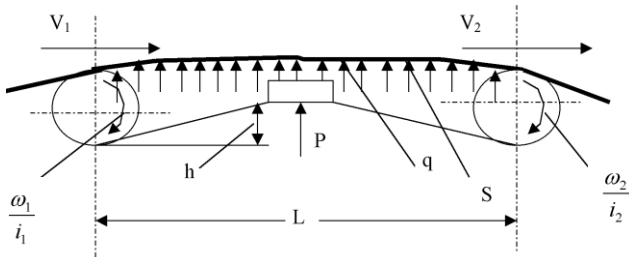
АРЖ-да көптеген ауытқулар пайда болады, секция аралығында төсем жинақталып қалады немесе төсемде ерекше тартылыс пайда болуы мүмкін.

Жылдамдықты автоматты түрде реттеу жүйесін қолдануда, төсемнің біркелкі тартылыста болуы ең бірінші шара, сондықтан тартылысты реттеп тұратын бір қондырғы керек, ол: **теңгеру қондырғысы** (ТҚ). Мұндай теңгеру қондырғысы, көп қозғалтқышты қатпарлы конвейерлердің секция аралығында салбыраңқылардың пайда болмауын қадағалап тұрады. Сонымен қатар электрлі қозғалтқыштың жүйесіне де әсер етеді, біркелкі тартылымды

камтамасыздандырады, технологиялық үрдіс кезінде өлшемдердің өзгерулерін тенгеріп, жетілдіріп тұрады. Осы уақытқа дейінгі ғылыми жұмыстармен [1] дәлелденгендей, тартылымның тұрақты дәлділігін камтамасыздандырып, шынжырдың үзіліп кету қаупін жояды және үзілмес үшін мықтылықты сипаттамасын арттырады.

Айта кету керек, осындай жағдайда электрлік қозғалқыштың автоматты реттеу жүйесі қиындай түседі, өйткені кем дегенде тағы бір кері байланысты енгізу қажет, нақтылап айтатын болсақ, төсемнің тартылымы бойынша «қатты» кері байланысты енгізу керек. Сондықтан осындай жүйедегі реттеу үрдісін ұйымдастыру үшін, пәрменділікті (динамиканы) зерттеу қажеттілігі туындайды. Мұндай есепті шығарғанда, АРЖ бойынша кері байланысты есептеген кезде, төсемнің пәрменділік қасиетін, электрлік қозғалқыштың жүйесіндегі буын ретінде қарастыруымыз қажет, ал мұндай есептеулер әдебиеттерде жоқтың қасы.

Өзімізге белгілі болғандай, теңгеру қондырғысы конвейердің тартып-тасымалдайтын органымен көденең және тік жазықтықта да әсерлесе алады. Тартып-тасымалдайтын органның тартылымын бақылау, теңгеру қондырғысының (теңгерушінің) реттейтін шығыршығының көмегімен іске асырылады, ол секция арасында белгілі бір жүктемемен сырғанады (1-сурет). Осындай буынның кеңейтілген координатасы ретінде, теңгеретін қондырғының жылжымалы орын ауыстырулары қабылданған, ол бір уақытта сол секция қозғалқышының айналу жылдамдығын реттейтін шаманың кірісі болып табылады. Осының көмегімен көп қозғалқышты қатпарлы конвейер жұмыс істеп тұрған үрдісінде, тартып-тасымалдайтын органды реттеуге болады.



1-сурет. Теңгерушінің тартып-тасымалдайтын органмен әсерлесу сұлбасы

Теңгерушінің орын ауыстырудағы h шамасын, егерде теңгерушінің тіркейтін шығыршығы аралықтың ортасында орналасқан болса, онда жеткілікті дәлділікпен келесідей теңдеуден анықтауға болады

$$h = \frac{qL^2}{2F} \left(1 + \frac{2P}{qL} \right), \quad (1)$$

мұндағы F — қозғалыстағы төсемнің тартылу жүктемесі; q — төсемнің $1m$ өнбойы ұзындығы бойынша салмағы; P — реттейтін бергіштің (датчиктің) төсемге жабысудағы жүктемесі; L — қозғалқыштар арасындағы арақашықтық.

Белгілі шама h өз кезегінде салыстырмалы ұзындықпен еріксіз байланыста, сондықтан жалпы түрде Максвелл теңдеуімен төмендегідей анықталады

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{\eta} \int \sigma(t) dt, \quad (2)$$

мұндағы $\varepsilon(t)$, $\sigma(t)$ — салыстырмалы ұзару және уақыт функциясында кейбір мәдділердің кернеуі; E — тартып-тасымалдайтын органның серпімділік модулі; η — тұтқырлыққа кері пропорционалды коэффициент.

Тұрақты әлпінде салыстырмалы ұзаруды (1) теңдеуін есепке ала, келесідей қылып анықтасақ

$$\varepsilon = \frac{L}{8hFE} (qL + 2P) \left(1 + \frac{TE}{\eta} \right), \quad (3)$$

мұндағы $T = \frac{L}{v}$ — уақыттың тұрақтылығы; F — шынжырдың көлденең қимасы; v — жүрістегі төсемнің қозғалыс жылдамдығы.

Сонымен тартып-тасымалдайтын төсемнің қозғалыстағы пәрменділік қасиеті (1), (2), (3) өрнектерін есепке ала және осындай жағдайда барлық үрдіс кезінде реттеу, тек аз мөлшерде ғана болған ауытқулар шамасында болды деп есептеп, келесідей теңдеуді шығаруға мүмкіндік бар

$$(T_p P + 1) \Delta h = k_o \Delta \omega_2, \quad (4)$$

мұндағы

$$\dot{\Delta}_o = \left(\frac{a^2 L^2 + 3P_q L + 3P^2}{12S_o^3} + 1 \right) \frac{T}{1 + \frac{TE}{\eta}}; \quad (5)$$

$$k_o = \frac{D_2 i_1 L E (qL + 2P)}{8D_1 i_2 \omega_1 S_o^2}, \quad (6)$$

мұндағы S_o — төсемнің берілген тартылымы; D_1 , D_2 — жетелейтін білік секцияларының диаметрі; i_1 , i_2 — секция редукторларының берілісті саны; ω_1 , ω_2 — алдындағы және оның алдарындағы секцияларының жетелейтін қозғағыштарының бұрыштық жылдамдықтары.

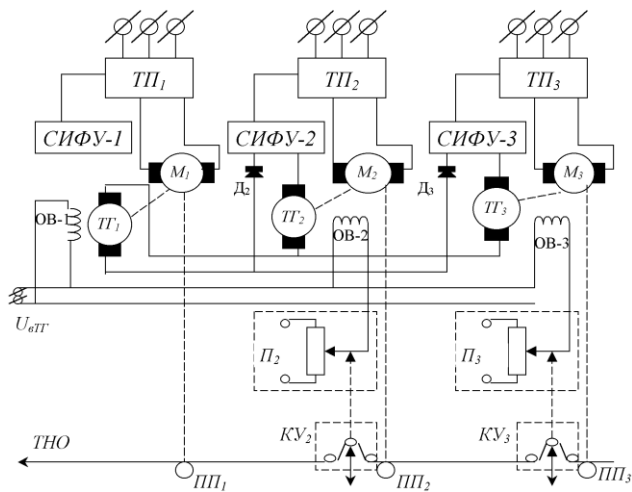
Тартылысты реттейтінді (ТК), эксперимент көрсеткендей бірінші қатарлы дифференциалдық теңдеумен жазуға болады

$$(T_p P + 1) \Delta u_p = k_p \Delta h. \quad (7)$$

Жазылым (4) бергішпен артылған қозғалыстағы бөліктің пәрменділік қасиетін, мәддінің серпімді-тұтқырлығын есепке ала, жеткілікті дәлділікпен жазады. Бұл дегеніңіз: автоматты басқару жүйесінің барлық өлшемдерінің және төсем көрсеткіштерінің пәрменділігін көрсетуге мүмкіндік тудырады; толықтырылған жағдайда бүкіл қозғалқыш жүйесінің жұмысын талдауға келтіреді; жылдамдықты реттейтін өлшемдердің тиімді қатынасын таңдауға және тартылымды анықтауға жағдай жасайды, сөйтіп өтпелі үрдістердің керекті сапасын камтамасыздандыруға әрі берілген тартылымды жоғары дәлділікте сақтауға жақсы әсер етеді.

Тартып-тасымалдайтын органда және қозғалқыш аралық орталықта біркелкі тартылымды сақтап тұру үшін, жылдамдықтардың күштерінің келісімдері және де теңгеру қондырғысының кернеу бергіштерінен жылдамдықтардың жанамалай келісімдері болуы қажет. Осындай жағдайды іске асыру үшін, келесі 2-суретте көп қозғалқышты қатпарлы конвейерге

қондырылған теңгеру жүйесінің келістірмді және басқарымды ретінде нақтылы сұлбасы келтірілген. Мұнда қозғағыштар М₁-М₃ технологиялық байланыстағы машиналарды ПП₁-ПП₃ айналдыру қозғалысына келтіреді, олар коректі ТП₁-ТП₃ тиристорлық түрлендіргіштерден алады. Барлық қозғағыштардың біліктірінде ТГ₁-ТГ₃ тахогенераторлар орнатылған. Машина ПП₁ жетелеуші болып табылады, ал машиналар ПП₂ және ПП₃ соңынан еретіндер. Жетелеуші машина тахогенераторының ТГ₁ қоздырушы оралымының тәуелсіз қоздырушысы бар. Әрбір жетелейтін тахогенератордың тізбегінің оралымының қоздыруына негізгі кернеуге қарсы $U_{в.ТГ}$ кернеу көзі $U_{р.Н}$ қосылған, оның шығымы теңгеру қондырғысының тартылымының реттейтін шығыршықтың орын ауысуына пропорционалды. Жетелейтін тахогенератордың ТГ₂ және ТГ₃ жәкірлік оралымдары бір басымен бір нүктеге біріктірілген және жетелейтін тахогенератор ТГ₁ жәкірінің оралымына қарсы қосылған. Тахогенераторлар ТГ₁, ТГ₂ және ТГ₃ жәкірлік орамдардың бос бастары қосақталып, импульсті-фазалы басқарулар СИФУ-2 және СИФУ-3 кіретін жүйесіне қосылған, және де жетелейтін тахогенератордың ТГ₁ жәкірлік орамы тарқататын диоттар Д₂ және Д₃ арқылы байланыстырылған. Ағымды желіні іске қосу, басқару белгісі СИФУ өзгеруімен байланысты, ол жетелейтін бұрандалы түрлендіргіште ТП₁ болып табылады.



2-сурет. Көп қозғалтқышты қатпарлы конвейердің теңгеру қондырғысымен алынған нақтылы сұлбасы:
 ТП₁, ТП₂, ТП₃ — тиристорлық түрлендіргіштер;
 М₁, М₂ — қозғағыштар; ТГ₁, ТГ₃ — тахогенераторлар;
 П₁, П₂ — түрлендіргіштер; КУ₂, КУ₃ — теңгеруші қондырғы;
 ТНО — тартып-тасымалдайтын орган;
 ПП₁, ПП₃ — ортааралық қозғалтқыштар;
 СИФУ — импульсті-фазалық басқару жүйелері

Көп қозғалтқышты қатпарлы конвейердің әртүрлі тораптарының әсерлесу жағдайында дифференциалды теңдеуін құрғанда, пәрменділік жүйені бөлшектенген буындарға бөліп және осы бөлінген әрбір элементке физикалық үрдісіне сәйкес теңдеу құрған дұрыс. Әрбір буынға шешілген теңдеуді біріктіріп шешкен кезде, пәрменді жүйенің дифференциалды теңдеуіне келтіріледі. Енді реттейтін шаманың өзгеруін анықтайтын теңдеу жүйесін құрайық, соның ішінде өтпелі үрдісте пәрменді жүйенің қозғағышының жылдамды-

ғы ($\Delta\omega$) бойынша **қозғалтқыш теңдеуі** төмендегідей болып анықталады

$$(T_i T_y \dot{\mathcal{D}}^2 + \dot{\mathcal{D}} \mathcal{D} + 1) \Delta\omega = k_g \Delta E_A - \dot{\mathcal{D}} J^{-1} \Delta M_c, \quad (8)$$

генератор теңдеуі (тиристорлық түрлендіргіш)

$$(\dot{\mathcal{D}}_A \mathcal{D} + 1) \Delta \dot{A}_A = k_A \Delta \dot{A}_g, \quad (9)$$

күштегіш теңдеуі

$$(\dot{\mathcal{D}}_g P + 1) \Delta E_g = k_4 \left(\Delta U_y - \frac{\omega_c r_y}{\omega_y r_c} \Delta U_c \right), \quad (10)$$

тұрақтандыратын трансформатордың теңдеуі

$$(\dot{\mathcal{D}}_n \mathcal{D} + 1) \Delta U_c = \beta T_c P \Delta E_g. \quad (11)$$

Теңгеру қондырғысының жетелейтін білігінде тахогенератор немесе потенциометр орнатылғандықтан, олар күштеуге пропорционалды кернеу береді, сонда қондырғының басқарудағы әсері келесідей тәуелділікпен анықталады

$$\Delta U_k = -k_k \Delta\omega. \quad (12)$$

Келесідей теңдеулерді (8), (9), (10), (11) және (12) біріктіріп шешіп, әрі одан айнымалыларды ΔE_T , ΔE_g , ΔU_y , ΔU_c алып тастасақ және еске аламыз, яғни секірмелі жүктемеде $P \Delta M_c = 0$, түрлендіргеннен кейін алатынымыз

$$\left[(\dot{\mathcal{D}}_i \dot{\mathcal{D}}_y \dot{\mathcal{D}}^2 + \dot{\mathcal{D}}_i \mathcal{D} + 1) (\dot{\mathcal{D}}_A \mathcal{D} + 1) (\dot{\mathcal{D}}_g P + 1) (T_c P + 1) + T P (T_i \dot{\mathcal{D}}_y \dot{\mathcal{D}}^2 + \dot{\mathcal{D}}_i \mathcal{D} + 1) (\dot{\mathcal{D}}_A \mathcal{D} + 1) + k (T_c P + 1) \right] \Delta\omega = -T_i J^{-1} \Delta M_c, \quad (13)$$

мұндағы T — уақыттың есептелген тұрақтысы; k — жүйенің күштеуінің жалпы коэффициенті; $k = k_4 k_g k_T k_k$;

$$\dot{\mathcal{D}} = \omega_n r_y k_4 \beta T_c (\omega_y r_c)^{-1} T_y,$$

мұндағы T_y — жүйенің жәкірлік шынжырының электромагниттік тұрақтылық уақыты; J — қозғағыштың білігіне келтірілген барлық жүйенің инерция иінкүші;

M_c — қозғағыштың білігіне келтірілген статикалық кедергінің иінкүші; E_y және E_T — генератордың және қозғағыштың кернеуі; β — трансформатор орамының кедергісін ескеретін коэффициент.

Өсімше үшін айналатын иінкүштердің теңдіктік өрнегі төмендегідей

$$(\tilde{N}\hat{O})_g i - \Delta M_c = JP\Delta\omega, \quad (14)$$

мұндағы i — жәкірдің шынжырындағы ток; Φ — қозғағыштың ағымы; C — қозғағыштың құрылғылық тұрақтысы.

Өтпелі үрдістің сипаттамасын зерттеген кезде, дифференциалдық теңдеудің жеткілікті дәрежелік дәлділігін жиі қолдануға болады, оның тәртібі аз өлшемдерді есепке алмаудан төмендетілген, ал шамасы өтпелі үрдіс сипаттамасына әсер етпейді десек те болады. Аз өлшемдерді есепке алмаудың ілімділік жағдайына тоқталмай (бұл сұрақ автоматты реттеу ілімінде толықтай түрінде қарастырылған), дифференциалдық теңдеу (13)-ті Лаплас түрлендіруінің әдісімен шешімін қарастырамыз, айтар болсақ, яғни уақыттың тұрақтысы T_y басқа уақыттар тұрақтыларынан едәуір аз десек, сөйтіп $T_y \approx 0$ деп алып, дифференциалдық теңдеу (13)-тің тәртібін төмендетуге болады, осы жағдайда бұл теңдеу төмендегідей болады

$$\left[(\partial_i \partial + 1)(\partial_{\bar{A}} \partial + 1)(\partial_g P + 1)(T_c P + 1) + TP \times \right. \\ \left. \times (T_i \partial + 1)(\partial_{\bar{A}} \partial + 1) + k(T_c P + 1) \right] \Delta\omega = -T_i J^{-1} \Delta M_c. \quad (15)$$

Теңдеу (15) келесідей болып та қарастырылуы мүмкін

$$(a_0 P^4 + a_1 P^3 + a_2 P^2 + a_3 P + a_4) \Delta\omega = b_3 \Delta M_c, \quad (16)$$

мұнда

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= T_i \partial_{\bar{A}} \partial_g T_c; \\ a_1 &= \partial_i \partial_{\bar{A}} (\partial_g + T_c + T) + T_g T_c (T_i + \partial_{\bar{A}}); \\ a_2 &= T_i (\partial_{\bar{A}} + \partial_{\bar{A}}) + \partial_{\bar{A}} (\partial_g + T_c) + T_g (T_i + \partial_{\bar{A}}) + \partial (\partial_i + \partial_{\bar{A}}); \\ a_3 &= \partial_i + \partial_{\bar{A}} + \partial_g + T + T_c (1 + k); \\ a_4 &= 1 + k; \\ b_3 &= -\frac{T_i}{J}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Дифференциалдық теңдеуді (16) интегралдау үшін, біріншіден осы теңдеудің кескінін табуымыз керек, яғни Лапластың тікелей түрлендіруін орындауымыз қажет. Оны теңдеудің бүкіл мүшелеріне орындаған дұрыс, содан табылған интегралдың кескіні бойынша оның түпнұсқасын анықтауға болады, ол үшін Лапластың кері түрлендіруін жасау керек.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ақашев З.Т., Малыбаев С.Қ., Тазабеков И.И., Балғабеков Т.К. Қатпарлы конвейерлердің серпінді өзгерістерін теңгеру тәсілдері: Монография. Қарағанды: ҚарМТУ, 2001. 232 б.
2. Сагинов А.С., Данияров А.Н., Ақашев З.Т. Основы проектирования и расчета пластинчатых карьерных конвейеров. Алма-Ата: Наука, 1984. 328с.
3. Штокман И.Г. Динамика тяговых цепей рудничных конвейеров. М.: Углетехиздат. 1959. 290с.

Раздел 5

Автоматика. Энергетика

УДК 621.343

В.М. СИН

Использование программного комплекса MATLAB для расчета высоковольтных электрических сетей

Для решения проектных и эксплуатационных задач требуется проведение расчетов установившихся режимов электрических сетей [1]. Целью таких расчетов является преобразование исходной информации о параметрах и нагрузках электрических сетей в конечную — о параметрах ее режима [2].

К исходной информации относят:

- 1) топологию сети;
- 2) значения активных и реактивных нагрузок всех пунктов сети, кроме одного балансирующего пункта (БП);
- 3) номинальное напряжение пункта сети.

Элементами конечной информации могут быть:

- 1) напряжения всех или части пунктов сети;
- 2) потери мощности для сети в целом или для ее отдельных участков, если необходимо выявить перегруженные участки сети;
- 3) токи на отдельных участках, с целью определения параметров релейной защиты.

Режим работы электрической сети, как известно, определяется законами Ома и Кирхгофа. Зависимости, вытекающие из этих законов, лежат в основе всех методов расчета режимов. Каждый метод представляет определенную совокупность расчетных приемов, позволяющую преобразовать исходную информацию в конечную.

По построению процесса расчетов методы

могут быть [4]:

1) прямыми — если искомые величины определяются в один шаг, например, путем непосредственного решения системы уравнений;

2) итерационными — при которых искомые величины определяются в результате многошагового процесса постепенного уточнения.

Прямые методы имеют ограниченное применение, так как эффективны только для простых схем с количеством пунктов до 4. Поэтому на практике отдается предпочтение итерационным [2].

Существуют десятки модификаций программ, написанных на различных высокоуровневых языках, реализующих итерационные методы решения систем уравнений, в основе которых лежат классические методы — простых итераций, Зейделя, Ньютона, градиентного спуска и т.д. [4].

К общим недостаткам этих методов следует отнести следующие:

- 1) трудоемкость подготовки исходных данных;
- 2) отсутствие гарантии «сходимости», т.е. достаточно часто возникает ситуация, когда система уходит от решения или приближается не к тому локальному экстремуму;
- 3) в зависимости от параметров системы, возможен вариант, когда поиск решения методами «гарантированной сходимости» осуществляется за

неприемлемо большое время, что затрудняет поиск альтернативных параметров системы.

В настоящей работе представлены результаты использования в расчетах режимов электрических сетей пакета визуального моделирования PowerSys, входящего в состав программной среды MATLAB [3].

В качестве контрольного примера была взята простая замкнутая система электроснабжения 110 кВ, состоящая из двух пунктов, генерирующих мощность, и двух пунктов потребления мощности (рис.1). Традиционный подход устанавливает режимы системы по напряжениям путем составления и решения численными методами матричного уравнения по токам или по мощностям [2].

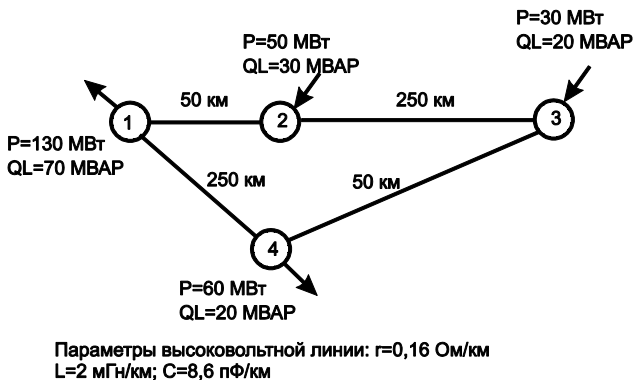


Рис. 1.

Модельная реализация в среде PowerSys представлена на рис. 2. Пунктирными прямоугольниками ограничены модули, реализующие генерирующие и потребляющие активные и

реактивные мощности пунктов высоковольтной сети. Так называемые Pi-секции, соединяющие пункты сети, представляют из себя реализованные в MATLAB модели линий с распределенными параметрами. Результаты расчета для амплитудных значений напряжений в узлах сведены в таблицу.

Номер узла сети	Амплитудное напряжение, $V \times 10^5$	значение
1	1,024 – 8,01j	
2	9,782 – 11,95j	
3	8,826 – 16,8j	
4	1,044 – 4,89j	

Временные диаграммы прогона модели представлены на рис.3. Как видно, анализ посредством пакета PowerSys позволяет исследовать систему как в стационарных, так и в динамических режимах. При этом необходимо отметить, что процесс создания системы крайне прост и фактически не требует никаких предварительных выкладок и расчетов. В буквальном смысле, проще и быстрее создать модель реальной системы, чем описать данный процесс. Время имитационного прогона на компьютере Pentium II под Windows NT составило 10с.

Пользователь пакета может убедиться в легкости модернизации параметров системы. Для этого достаточно «кликнуть» манипулятором («мышью») по соответствующему блоку, например, Pi-секции (длинной линии), где в удобном контекстном меню можно изменить параметры. Результат такой модернизации для узла 4, где расстояние от него до генерирующего узла 1 увеличено с 250 до 400 км представлен на рис.4.

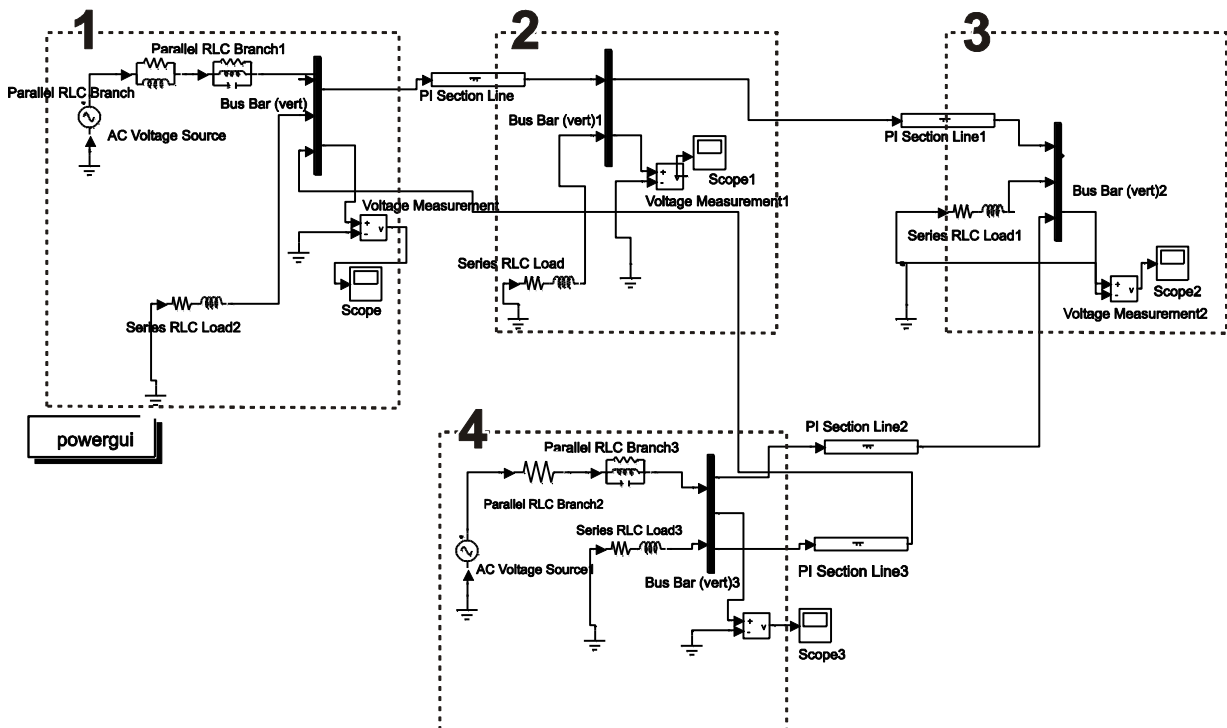


Рис. 2.

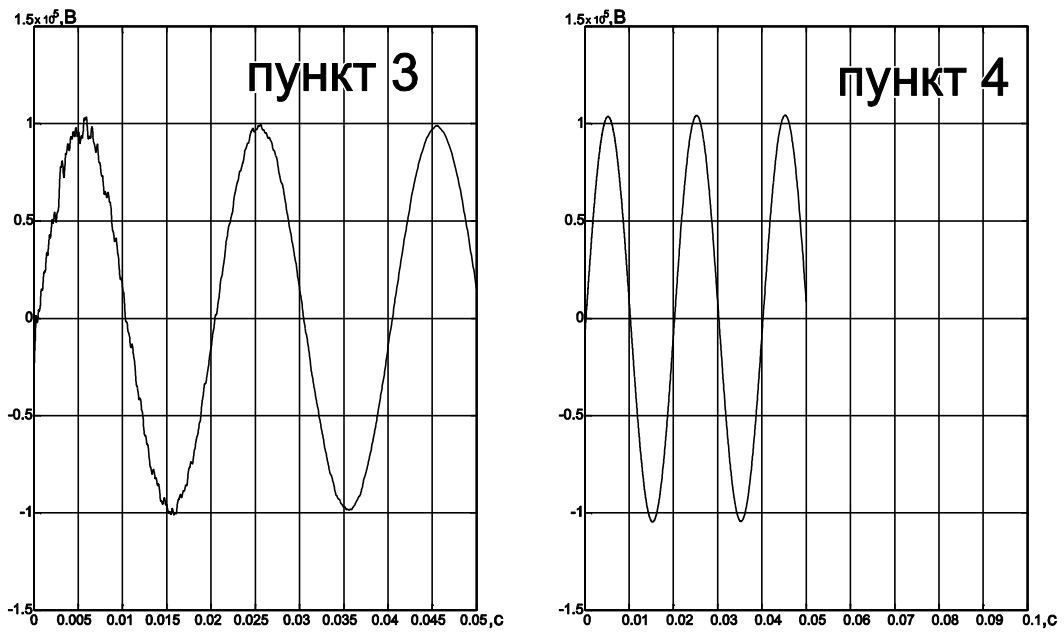
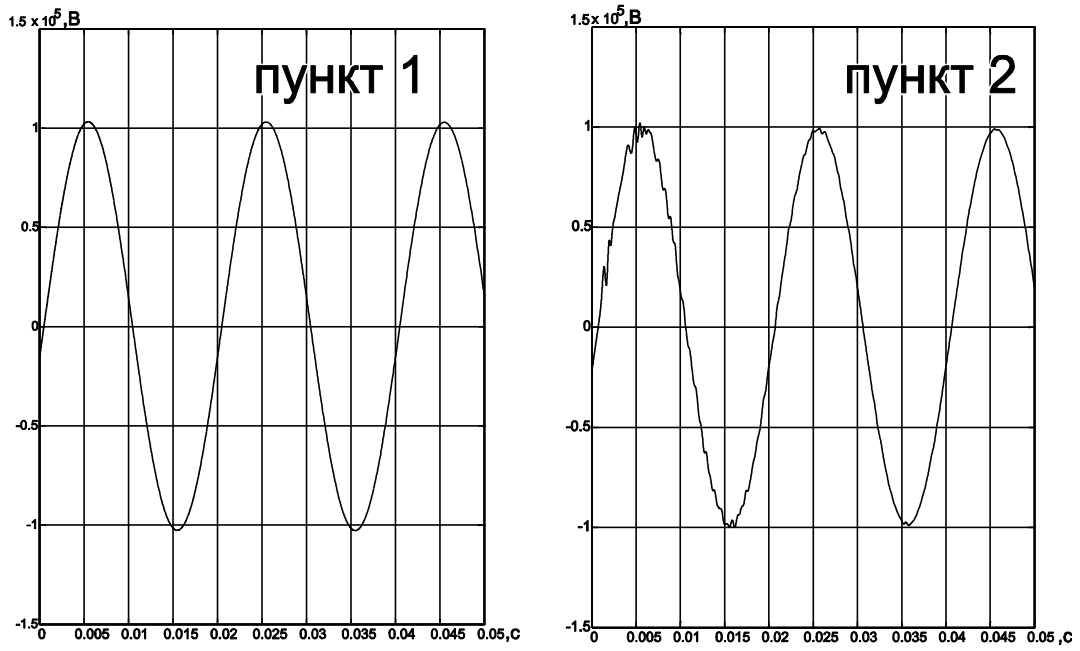


Рис. 3.

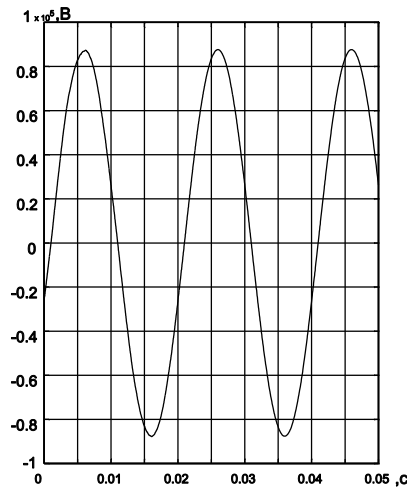


Рис. 4.

Таким образом, не вызывает сомнений высокая степень эффективности использования данного способа проектирования и анализа

систем электроснабжения как в учебном процессе, так и в научно-исследовательской деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. для вузов. М.: Энергия, 1973.
2. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы): Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1975.
3. Гультаев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс. СПб: Питер, 2000. 432 с.
4. Загускин В.Л. Справочник по численным методам решения алгебраических и трансцендентных уравнений. М.: Госуд. изд-во физико-математической литературы, 1960. 216 с.

УДК 621.343

Т.С. УМБЕТАЛИН

Особенности построения переходных процессов в электроприводе с двигателем последовательного возбуждения при постоянном моменте сопротивления

Для построения кривых переходных процессов в электроприводе с учетом нелинейностей пользуются графоаналитическими методами [1]. Однако эти методы применяются в основном для приводов с двигателями независимого возбуждения.

При графическом построении переходных процессов в электроприводе постоянного тока с двигателем последовательного возбуждения необходимо учитывать характерную для этой машины зависимость от тока якоря индуктивности якорной цепи, коэффициента пропорциональности между током якоря и моментом двигателя K_M , ЭДС двигателя.

При построении принималось во внимание, что магнитная система двигателя ненасыщенная и учитывались соответствующие ограничения [2].

Особенности построения переходных процессов в двигателе последовательного возбуждения рассмотрим на примере пуска системы Г-Д с генератором независимого возбуждения при постоянной статической нагрузке на валу двигателя $M_C = Const$. Кривая нарастания ЭДС генератора во времени строится одним из известных методов. Тогда динамика двигателя описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} E_a &= I_y R_y + (L_y + L_a) \frac{dI_y}{dt} + \omega C_A \hat{O}_A, \\ \dot{I}_A - \dot{I}_N &= J \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где E — ЭДС генератора;
 I_y — ток в якорной цепи;
 R_y — суммарное сопротивление якорной цепи;
 L_y — суммарная индуктивность якорной цепи;
 ω — скорость вращения двигателя;
 Φ_o — поток возбуждения двигателя;
 M_D — развиваемый двигателем момент;
 M_C — приведенный статический момент;
 J — момент инерции якоря двигателя и связанных с ним подвижных узлов.

При графическом построении электромеханических переходных процессов в приводе необходимо заменить в уравнениях системы (1) бесконечно малые величины конечными, кроме того, момент M_D можно выразить через ток якоря, тогда система (1) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta I_y}{E_a - I_y R_y - \omega \hat{N}_A \hat{O}_A} &= \frac{\Delta t}{L_y + L_a}; \\ \frac{\Delta \omega}{K_M I_y - M_C} &= \frac{\Delta t}{J}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Выбрав масштабные коэффициенты и выразив ток, напряжение и скорость в отрезках, можно записать

$$\frac{\Delta I_y \mu_I}{(E_a - I_y R_y - \omega \tilde{N}_A \hat{O}_A) \mu_U} = \frac{\Delta t}{L_y + L_a}, \quad (3)$$

$$\frac{(\Delta \omega) \mu_\omega}{K_M \left(I_y - \frac{M_C}{K_M} \right) \mu_I} = \frac{\Delta t}{J},$$

где μ_I, μ_U, μ_ω — масштабные коэффициенты соответственно тока, напряжения и скорости.

Если расположить на графиках отрезки (ΔI_y) и $(E_a - I_y R_y - \omega \tilde{N}_A \hat{O}_A)$, а также $(\Delta \omega)$ и $(I_y - \frac{\dot{I}_{\tilde{N}}}{\hat{E}_I})$ перпендикулярно друг другу, то они образуют стороны прямоугольных треугольников, которые могут быть построены по углам:

$$\frac{\Delta I_y}{(E_a - I_y R_y - \omega \tilde{N}_A \hat{O}_A)} = \frac{\Delta t \mu_U}{L_y \mu_I} = \operatorname{tg} \gamma \quad (4)$$

и

$$\frac{\Delta \omega}{I_y - \frac{M_C}{K_M}} = \frac{K_M \Delta t \mu_I}{J \mu_\omega} = \operatorname{tg} \delta, \quad (5)$$

причем γ и δ — углы наклона соответствующих лучей ΔI_y и $\Delta \omega$. У двигателя независимого возбуждения γ и δ являются величинами постоянными. Кроме того, предварительно могут быть построены зависимости

$$\omega C_E \hat{O}_A = \dot{A}_A = f_1(\omega) \quad (6)$$

и

$$\frac{\dot{I}_{\tilde{N}}}{\hat{E}_I} = I_C = f_2(\omega). \quad (7)$$

Для двигателя с последовательным возбуждением предварительно может быть построена только зависимость $\operatorname{tg} \gamma = f_3(I_y)$, а $\operatorname{tg} \delta$, E_D и I_C могут быть определены при построении переходных процессов. Для графического определения указанных величин предлагается следующая методика.

Индуктивность обмотки последовательного возбуждения двигателя L_C определяется по формуле

$$L_C = 2pW \frac{d\hat{O}}{di_a}, \quad (8)$$

где W — число витков обмотки возбуждения.

Поскольку у двигателя последовательного возбуждения $i_B = I_a$, поэтому

$$L_C = W \frac{d\hat{O}}{dI_y}. \quad (9)$$

Для построения переходного процесса необходимо определить величины L_C и L_a для различных значений тока якоря I_a и вычислить $\operatorname{tg} \gamma$. Зависимость между током якоря и моментом двигателя M_D имеет вид

$$\dot{I}_{\tilde{N}} = \tilde{N}_I I_y \hat{O}_A = \hat{E}_I I_y. \quad (10)$$

Поэтому для двигателя последовательного возбуждения выражение (5) может быть преобразовано

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta t \mu_I C_M \hat{O}_I}{J \mu_\omega} = \frac{\Delta t \mu_I C_M \mu_{\hat{O}}}{J \mu_\omega} (\hat{O}_A), \quad (11)$$

где μ_ϕ — масштабный коэффициент потока;

C_M — коэффициент пропорциональности.

Если построить кривую намагничивания двигателя (рис.1) $\Phi_D = f_A(I_a)$, отложив значение потока по оси ординат, то соответствующее данной величине тока якоря I_{II} значение $\operatorname{tg} \delta_n$ можно определить из прямоугольного треугольника, одним из катетов которого является текущее значение потока Φ_n , а вторым — отрезок OP , равный величине отрезка (Φ_1) , соответствующий $\operatorname{tg} \delta = 1$ в относительных единицах.

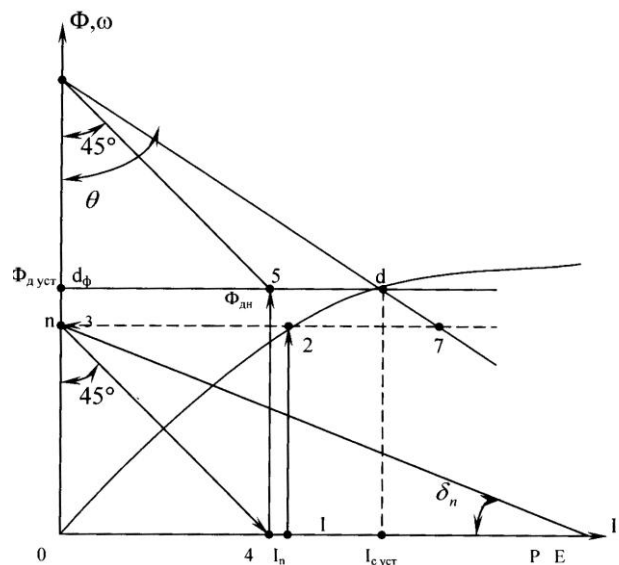


Рис. 1. Графическое определение δ

Из выражения (11)

$$I = \frac{\Delta t \mu_I C_M \mu_{\hat{O}}}{J \mu_\omega} (\hat{O}_I),$$

откуда

$$OP = (\hat{O}_I) = \frac{J \mu_\omega}{\Delta \mu_I \mu_{\hat{O}} \tilde{N}_I}. \quad (12)$$

Действительно,

$$\frac{O_n}{OP} = \frac{(\hat{O}_n)}{(\hat{O}_I)} = \frac{\Delta \mu_I \mu_{\hat{O}} \tilde{N}_I}{J \mu_\omega} (\hat{O}_n) = \operatorname{tg} \delta.$$

При построении переходных процессов удобно выражать M_C через ток якоря I_C . Однако у двигателей с последовательным возбуждением нет однозначной зависимости между током и моментом, так как величина K_M , в свою очередь, является функцией тока.

Поэтому возникает необходимость графического определения величины I_C :

$$I_C = \frac{M_C}{K_M}.$$

Пусть $M_C = f_5(\omega) = Const.$
 Так как $M_C = K_M I_C = C_M \Phi_D I_C$, то

$$I_C \hat{O}_{\dot{A}} = \frac{\dot{I}_{\dot{N}}}{\dot{N}_i} = Const. \quad (13)$$

Ток якоря двигателя I_A , а следовательно, и поток возбуждения Φ графически определяется просто. Нужно найти I_C по известным значениям M_C , C_M , Φ_D и $I_{C_{уст}}$ — величине установившегося тока якоря, соответствующего $M_C = M_D$.

Из выражения (13)

$$I_C = \frac{M_C}{C_M \hat{O}_{\dot{A}}} = \frac{\dot{A}}{\hat{O}_{\dot{A}}}, \quad (14)$$

тогда при $M_C = M_D$

$$I_{\dot{N} \dot{\omega}} = \frac{\dot{A}}{\hat{O}_{\dot{A} \dot{\omega}}},$$

откуда

$$A = I_{C \dot{\omega}} \hat{O}_{\dot{A} \dot{\omega}}$$

и

$$I_C = I_{C \dot{\omega}} \frac{\hat{O}_{\dot{A} \dot{\omega}}}{\hat{O}_{\dot{A}}} = \hat{O}_{\dot{A} \dot{\omega}} \operatorname{tg} \theta. \quad (15)$$

Искомое значение I_{Cn} для данной величины Φ_{Dn} определяется следующим образом (рис. 1). На кривой намагничивания двигателя определяется точка a с координатами $(I_{C_{уст}} \Phi_{D_{уст}})$. Вверх от точки a_ϕ по оси ординат откладывается отрезок $a_\phi - 6$, равный по величине текущему значению потока $(\Phi_{Dn})(0-3)$, соответствующий току I_{An} . Ход построения показан точками 1-2-3-4-5-6. Так как $(a - a_\phi) = (I_{C_{уст}})$, а $a_\phi - 6 = (\Phi_{Dn})$, то

$$\frac{a - a_\phi}{a_\phi - 6} = \operatorname{tg} \theta.$$

Если теперь вниз от точки 6 отложить отрезок 3-6, равный по величине $(\Phi_{уст})$, то, в соответствии с выражением (15), отрезок 3-7 будет равен (I_C) .

Действительно,

$$(3-6) = (\hat{O}_{\dot{A} \dot{\omega}}),$$

так как

$$a_\phi - 6 = (\hat{O}_{\dot{A} n}),$$

$$0 - a_\phi = (\hat{O}_{\dot{\omega}}),$$

$$0 - 3 = (\hat{O}_{\dot{A} n}).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} (3-6) &= (0 - a_\phi) + (a_\phi - 6) - (0 - 3) = (\hat{O}_{\dot{\omega}}) = \\ &= (\hat{O}_{\dot{A} n}) - (\hat{O}_{\dot{A} n}) = (\hat{O}_{\dot{\omega}}). \end{aligned}$$

Таким образом, можно определить значения I_C для различных величин Φ_D и построить вспомогательную кривую a , являющуюся функцией $I_C = f_6(\Phi_D)$ при $M_C = f_5(\omega) = Const.$ Если $M_C = f_5(\omega) \neq Const.$, то ординаты кривой a будут в масштабе определять значения $I_C = f_6(\Phi_D)$ при $\omega = \omega_{уст}$. Для других значений ω величину I_C можно найти из подобного треугольника.

Зависимость ЭДС машины последовательного возбуждения от скорости вращения

$$E = C_E \omega \hat{O}_{\dot{A}}, \quad (16)$$

графически может быть представлена семейством проходящих через начало координат прямых, угол наклона которых к оси ординат определяется коэффициентом C_E и потоком возбуждения Φ_D , т.е. током в якорной цепи

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(E)}{(\omega)} = \frac{\mu_u}{\mu_\omega} = \frac{C_E \hat{O}_{\dot{A}} \omega \mu_\omega}{\mu_u \omega} = C_E \hat{O}_{\dot{A}} \frac{\mu_\omega}{\mu_u} = \operatorname{var}, \quad (17)$$

и, следовательно, заранее нельзя провести линию, отражающую зависимость (16), как это делается для двигателей независимого возбуждения, а для каждого конкретного значения тока якоря и скорости вращения двигателя необходимо определять величину ЭДС

Воспользовавшись кривой намагничивания двигателя, определяем для данного значения тока якоря I_{An} величину скорости вращения ω_n , при которой ЭДС примет заданное значение E_n .

Из выражения (16) и рис.2 следует, что

$$\omega = \frac{E}{C_E \hat{O}_{\dot{A}}} = \frac{\dot{A}}{\dot{N}_A I_y} C \operatorname{tg} \psi. \quad (18)$$

Так как при графическом построении процессов в системе Г-Д по оси абсцисс откладывают в соответствующих масштабах ток якоря и ЭДС двигателя, то уравнение (18) можно решить для случая, когда $(E) = (I_A)$.

Тогда

$$\omega = \frac{(E) \mu_u}{C_E (I_y) \mu_l} C \operatorname{tg} \psi = \frac{\mu_u}{C_E \mu_l} C \operatorname{tg} \psi. \quad (19)$$

Для удобства построения целесообразно принять $(\omega) = (C \operatorname{tg} \psi')$ — геометрическое значение $C \operatorname{tg} \psi$.

Так как

$$C \operatorname{tg} \psi = \frac{I_y}{\hat{O}_{\dot{A}}},$$

то

$$C \operatorname{tg} \psi' = \frac{I_y \mu_\delta}{\mu_l \hat{O}_{\dot{A}}} = C \operatorname{tg} \psi \frac{\mu_\delta}{\mu_l}. \quad (21)$$

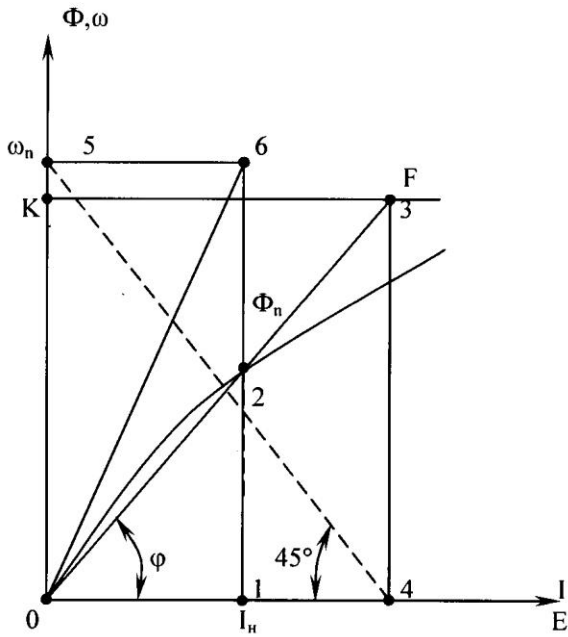


Рис. 2. Графическое определение величины I_c

Преобразовав выражение (20), получим

$$\frac{\omega}{\mu_\omega} = \frac{Ctg\psi'}{\mu Ctg\psi'}$$

где $\mu Ctg\psi'$ — масштаб $Ctg\psi'$.

После подстановки значений (19) и (21) в последнее выражение имеем

$$\mu Ctg\psi' = \frac{Ctg\psi'}{\omega} \mu_\omega = \frac{Ctg\psi' \mu_\omega}{\frac{\mu_U}{C_E \mu_I} Ctg\psi' \frac{\mu_I}{\mu_\delta}} = \tilde{N}_A \frac{\mu_\delta \mu_\omega}{\mu_U}. \quad (22)$$

Длина отрезка, соответствующего значению $Ctg\psi' = I$, определяется из выражения

$$I = \frac{I}{\mu_{ctg\psi'}} = \frac{\mu_U}{C_E \mu_\delta \mu_\omega}. \quad (23)$$

Если по оси ординат (рис.2) отложить отрезок OK , равный I , и из точки K восстановить перпендикуляр, то проходящая из начала координат через точку Φ_n прямая отсечет на перпендикуляре отрезок KF , равный $(Ctg\psi')$. Действительно,

$$Ctg\psi' = \frac{KF}{OK};$$

$$KF = OK Ctg\psi' = I Ctg\psi' = Ctg\psi'.$$

Перенося этот отрезок на вертикаль $I_n \Phi_n$, в соответствии с выражением (20) получим искомую точку 6 с координатами: заданная ЭДС, искомая скорость ω_n . Найдя таким образом значения ω_{ni} для различных величин тока якоря $I_{яi}$, можно построить кривую b (рис. 3), являющуюся геометрическим местом точек, ордината которых равна

$$E_i = C_E \hat{O}_i \omega_{ni} = C_E I_{яi} \omega_i Ctg\omega'_i.$$

Очевидно, что если при данном значении тока якоря $I_{яi}$, скорость вращения якоря равна ω , то

$$E_{i_i} = C_E \hat{O}_i \omega_{ni} = E_i \frac{\omega_i}{\omega_i}$$

или в соответствии с выражением (17)

$$E_{i_i} = \omega_i tg\beta_i.$$

Следовательно, для определения величины $tg\beta_i$, соответствующей данному значению $I_{яi}$, необходимо через точку $I_{яi}$ провести вертикаль и точку пересечения ее с кривой b соединить с началом координат.

Весь процесс графического определения ЭДС и скорости вращения якоря двигателя последовательного возбуждения показан на рис. 3, куда перенесены предварительно построенные кривые a и b и кривая намагничивания двигателя c .

На оси абсцисс отложен вычисленный по формуле (12) отрезок OP . Пусть на предыдущем участке построения скорость была ω_{n-1} , на данном участке ток равен I_n . Из точки l проводится вертикаль до пересечения с кривыми c и b в точках 2 и 5. Абсцисса точки 3 определяет величину тока $I_{cn} = \frac{\dot{I}_{\tilde{N}}}{\hat{E}_i}$, а точка 4 опре-

опре-

деляет величину отрезка $O_{П}$, являющегося вспомогательным для определения значения $tg \delta$. Проведя из точки 7 с координатами $I_n - \omega_{n-1}$ линию 7-8 параллельно $P - n$ до пересечения с линией $I_{сн}$, определим величину $(\omega_n) = 0-9$ и $(E_n) = 9-10$.

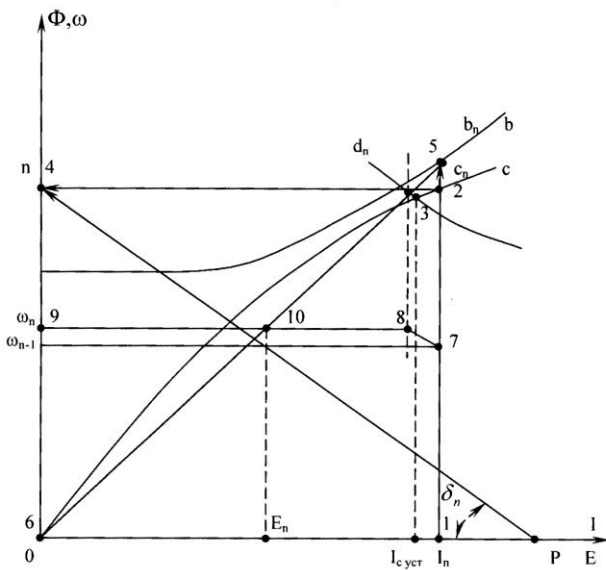


Рис. 3. Определение ЭДС и скорости вращающегося якоря двигателя последовательного возбуждения

В остальном построение ведется так же, как и для двигателя независимого возбуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1972. 440с.
2. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Высшая школа, 1981. 576с.

УДК 681.323.697.34

Н.И. КАРАСЕВ
А.Б. КРИЦКИЙ
Н.И. ТОМИЛОВА
Г.Н. ЦОК

Анализ архитектурных моделей программных компонентов в информационных технологиях АСУ ТП сферы эксплуатации больших теплоснабжающих систем

Информатизация, являясь неизбежным этапом развития цивилизации, соотносится с комплексом специальных мер, направленных на предоставление достоверного, исчерпывающего и своевременного Знания во всех значимых видах целенаправленной человеческой деятельности.

Весьма актуальным объектом информатизации всегда будут большие системы энергетики или ЭНЕРГЕТИКА в широком смысле, включающая электроэнергетические, теплоснабжающие, нефтеснабжающие, газоснабжающие, углеснабжающие и ядерноэнергетические системы. Энергетика охватывает сложную совокупность процессов преобразования, распределения и использования всех видов энергетических ресурсов от их добычи до приемников энергии включительно.

Основными факторами, мотивирующими полномасштабную информатизацию производственно-технологических систем Большой Энергетики в планетарном масштабе, являются: экономия энергоресурсов планеты, обеспечение безопасного и экономичного режима работы технологического оборудования энергетических

систем, снижение вредных выбросов в окружающую среду (воздушный и водный бассейны и почвы планеты), улучшение и стабилизация экологической обстановки на планете.

Материальная основа информатизации Большой Энергетики может быть представлена широким спектром распределенных автоматизированных информационных систем и технологий для информационно-аналитического обеспечения процессов организационно-экономического и производственно-технологического управления, научно-инженерных работ, профессионального обучения, объединяющих средства телекоммуникаций и вычислительной техники в единую систему обмена, хранения, обработки и представления информации.

Технические аспекты функционирования Энергетики покрываются возможностями предоставления технологическому персоналу знаний в среде следующих специализированных информационных систем: автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), систем автоматизированного проектирования (САПР),

геоинформационных систем для управления пространственно распределенными объектами (ГИС), автоматизированных систем диспетчерского управления технологическими процессами и производствами (АСУ ТП и SCADA-системы), гибких производственных систем (ГПС), робототехнических комплексов (РТК) и др.

Организационно-экономические аспекты эксплуатации систем, составляющих Большую Энергетику, базируются на широком использовании автоматизированных систем организационно-экономического управления (АСУ), бухгалтерских информационных систем (БУИС), маркетинговых информационных систем (МИС), автоматизированных справочно-информационных систем (АСИС), экспертных систем (ЭС), статистических информационных систем (СтИС) и др.

Опыт разработки и эксплуатации узкоспециализированных информационных систем и технологий в Энергетике и других предметных областях выявил ряд качественных недостатков таких систем в связи с расширяющимися потребностями обработки данных с учетом их изменений во времени и локализацией в окружающем пространстве. Именно это обстоятельство мотивировало интенсивное развитие *интегрированных информационных систем и технологий*, включающих подсистемы сбора, хранения (база данных и/или База знаний), обработки данных, представления информации, телекоммуникационную подсистему.

Теплоснабжающие системы как составная часть Энергетики реализуют в инфраструктуре жизнеобеспечения современных городов и промышленных центров стадию конечного использования энергетических ресурсов в средне- и низкотемпературных тепловых процессах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, кондиционирования воздуха, технологического теплопотребления (варка, сушка, возгонка и др.). Эксплуатация в жизненном цикле теплоснабжающих систем является наиболее длительной стадией, в которой практически реализуются энергетические, жизнеобеспечивающие, экономические и экологические цели в инфраструктуре городов и других поселений, а поэтому сфера эксплуатации таких систем должна быть оснащена набором эффективных информационных систем и технологий.

Интенсивная централизация теплоснабжения привела к возникновению мощных теплоснабжающих комплексов в форме систем централизованного теплоснабжения (СЦТ), каждая из которых состоит из конечного множества следующих технологических подсистем, которые реализуют ее технологическую, энергетическую и жизнеобеспечивающую функции: *источники тепла, магистральные и распределительные тепловые сети, сетевые и подающие насосные станции, центральные, групповые и местные тепловые пункты, теплопотребляющие установки и системы, включая системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения, технологического*

теплопотребления различных промышленных предприятий.

В свою очередь функциональные подсистемы состоят из большого числа взаимосвязанных технологических элементов, несущих конкретную технологическую и энергетическую функцию и обладающих разнообразными статическими и динамическими характеристиками: *участки теплопроводов тепловых сетей и трубопроводные тракты теплогенерирующих и теплопотребляющих систем, наружные ограждения зданий, теплообменные аппараты различного конструктивного исполнения и технологического назначения, нагревательные приборы отапливаемых помещений, насосное, компрессорное и тягодутьевое оборудование, запорно-регулирующая и защитная арматура и др.*

Технологические процессы подготовки транспорта и передачи тепла в технологических элементах СЦТ физически реализуются посредством организованных гидродинамических и тепловых процессов, интенсивность протекания которых зависит от многих факторов. Динамические свойства отдельных объектов теплоснабжающих систем весьма неоднородны как по классам свойств, так и динамическим параметрам из-за чисто физических особенностей действующих там процессов.

Действительно, по каналам тепловых нестационарных процессов СЦТ относят к классу инфранизкочастотных динамических систем с распределенными параметрами, самовывравниванием и транспортным запаздыванием. В то же время по каналам перемещения энергоносителя в гидравлическом тракте, а также по каналам прохождения тепловых потоков через ограждения с малым термическим сопротивлением (остекленные проемы) СЦТ относят к классу практически безынерционных динамических систем.

Так как технологические подсистемы СЦТ распределены на большой территории, где реализуются их жизнеобеспечивающие функции, то повсеместно стал использоваться *ступенчатый подход к организации процессов регулирования и управления: центральное, районное, групповое, местное, пофасадное и индивидуальное управление и регулирование*. Каждая из технологических подсистем может быть отнесена к соответствующей ступени управления и представляет собой совокупность агрегатов, объединенных для совместной работы.

В системах автоматизированного управления технологическими подсистемами теплоснабжающих систем обычно выделяют следующие уровни управления:

первый уровень — непосредственное управление объектом по реально измеряемым координатам с помощью регуляторов с прямой или обратной связью; *второй уровень* — контроль объекта (аварийное управление);

третий уровень — оптимизация, в результате которой максимизируется эффективность либо минимизируется потребление или стоимость;

четвертый уровень — координация нескольких совместно работающих объектов, например,

распределение нагрузки между совместно работающими источниками тепла, распределение энергоносителя между множеством присоединенных потребителей;

пятый уровень — организационное управление, обеспечивающее работу системы с учетом планируемых рынков сбыта, необходимого объема сырья и персонала для их обслуживания.

Архитектурным стандартом в классе функциональности АСУ ТП в системах централизованного теплоснабжения стала представленная выше иерархическая архитектура, в которой широко используются профессионально подготовленные операторы-диспетчеры.

Диспетчерское управление, сочетающее интеллектуальные возможности профессионально подготовленных диспетчеров и информационных технологий, обеспечивающих процесс принятия оперативных и долгосрочных диспетчерских решений достоверными и исчерпывающими профессиональными знаниями, является в настоящее время основным методом автоматизированного управления сложными техногенными системами большой энергетики, наземного и воздушного транспорта и систем городских мегаполисов. Детализируем основные компоненты АСУ ТП, ориентированные на информатизацию основных производственно-технологических систем большой энергетики.

Функциональность АСУ ТП.

Сложившаяся функциональность автоматизированных систем диспетчерского управления энергетическими объектами во многом определилась требованиями к их технологической, функциональной и экологической надежности, безопасности управления, точности обработки и представления данных, простоты адаптации систем к изменяющимся воздействиям внешней среды и свойствам объектов управления.

Функции человека-оператора в системе диспетчерского управления достаточно ответственны и сводятся: к планированию действий системы и общей ответственности за управление системой; слежению за результатами ее (полу)автоматической работы и жестко ограниченному по времени вмешательству в процесс управления в критических ситуациях, когда возможности автоматики исчерпаны, либо для подстройки параметров процесса.

Информационные функции:

- ♦ измерение, преобразование и нормирование текущих мгновенных и/или интегрированных значений технологических параметров;

- ♦ выдача информации о положении, состоянии и режимах работы технологического оборудования и сопутствующих объектов;

- ♦ регистрация и накопление в базе данных текущих значений, измеряемых технологических параметров и состояния технологического оборудования и устройств в реальном времени для стандартных каналов измерений;

- ♦ архивирование текущих технологических параметров и представление текущей информации оперативному персоналу и прочим пользователям;

- ♦ автоматическое оповещение диспетчера о возникновении аварийной ситуации с визуализацией параметров технологического процесса и оборудования через мнемосхемы и таблицы, визуализация трендов (графики в реальном времени) текущих и накопленных данных;

- ♦ обмен данными с внешними системами, включая СУБД и SCADA- системы.

Функции контроля, управления, регулирования:

- ♦ управление технологическими объектами, автоматическое регулирование параметров технологического процесса, контроль состояния технологического оборудования, аварийных сигналов технологического оборудования, дистанционное управление исполнительными механизмами регулирующих органов (арматура, вентиляторы, насосы и т.п.);

- ♦ технологические защиты и блокировки, защита от выполнения ложных команд или передачи ложной информации, автоматическое переключение устройств на резервные источники питания при отказе рабочих источников и обратное переключение при восстановлении рабочих источников;

- ♦ программно-логическое управление технологическим оборудованием в режиме управления или совета (пуск и останов оборудования), аппаратная защита (автоматика безопасности) во всех режимах работы технологического оборудования, контроль исполнения команд.

Аппаратная платформа.

Каждый уровень архитектуры АСУ ТП оснащен соответствующими аппаратными и программными средствами, номенклатура которых представлена многообразными предложениями мирового рынка информационных технологий. *На нижнем уровне (уровень измерения состояния технологического оборудования и процессов, отработки управляющих воздействий) АСУ ТП в энергетических системах могут использоваться:*

- ♦ первичные измерительные и нормирующие преобразователи или датчики состояния арматуры, исполнительных механизмов, электропривода технологических установок и насосных агрегатов, а также датчики температуры, давления, уровня и расхода в пароводяных, газозвудушных и топливных трактах котлов, теплообменных аппаратов, теплопотребляющих систем потребителей;

- ♦ вспомогательные устройства: блоки питания, средства выбора режимов управления, пускатели, промежуточные реле, блоки бесперебойного питания, средства дистанционного управления исполнительными механизмами регулирующих органов и коммутационной трубопроводной арматуры;

- ♦ контролируемые пункты (основные и вспомогательные) телемеханических комплексов, территориально распределенных по технологическим объектам и представленных устройствами сбора, обработки и хранения технологической информации (концентраторы информации) с выделенной группы контролируемых пунктов;

- ♦ автоматизированные системы учета потребления энергоносителей.

На среднем уровне (уровень прямой связи с объектами, первичная обработка информации, локальные блокировки и защиты, реализация основных управляющих, регулирующих и информационных функций) могут использоваться:

- ♦ устройства связи с объектами (УСО), соединенные через сетевой интерфейс с управляющим контроллером, например, MicroPC Octagon Systems;

- ♦ IBM PC совместимые контроллеры, например, типа ADAM, которые по полевой шине подключаются к последовательному порту одной из рабочих станций;

- ♦ контроллеры фирмы PEP Modular Computers (ФРГ) для реализации функций автоматического регулирования технологических параметров, обладающие высокой надежностью при работе в тяжелых промышленных условиях, оснащенные скоростной многопроцессорной шиной в стандарте VME и мощной встроенной операционной системой «жесткого» реального времени OS-9 с размещением программ и данных в энергонезависимой памяти;

- ♦ клеммные платы TBI-24L фирмы Fastwel с модулями МГИ фирмы Grayhill для реализации гальванической изоляции связей контроллеров с устройствами нижнего уровня;

- ♦ конструктивы типа шкафа, например PROLINE фирмы Schroff для размещения контроллеров и модулей изоляции.

На верхнем уровне (уровень оперативного управления установками и процессами, программирование, наладка и диагностика контроллеров среднего уровня, установка режимных карт, контрольных точек, блокировок, параметров настройки систем регулирования и т.п.) могут использоваться:

- ♦ персональные компьютеры типа IBM PC в офисном исполнении, устанавливаемые на столах операторов пульта управления в качестве операторских станций. Они используются для оперативной работы сменных диспетчеров, в качестве инженерных станций, предназначенных для инженерного персонала, выполняющего программирование, наладку и диагностику контроллеров, настройку регуляторов без остановки технологического оборудования, установку и настройку защит и блокировок, информационный сетевой обмен с организационно-экономическим уровнем управления;

- ♦ персональные компьютеры промышленного исполнения, например, фирмы Advantech;

- ♦ центральные концентраторы информации (ЦКИ) на базе рабочих станций, работающих в режиме серверов и поддерживающих функции диспетчерского управления. Концентратор информации (КИ) выполняет функции сбора и обработки технологической информации с подчиненных ему контролируемых пунктов и реализован на аппаратной платформе, например, фирмы Octagon Systems (США), обладающей повышенной устойчивостью к температурным и механическим воздействиям.

Программное обеспечение и операторский интерфейс.

Создание распределенных АСУ ТП происходит в среде инструментальных программных систем разработки, возможности которых ориентированы на характеристики совместимых программно-аппаратных платформ, выбираемых для разрабатываемого проекта: персональные компьютеры и серверы промышленного и офисного исполнения, промышленные контроллеры, устройства связи с объектами, средства связи, первичные измерительные преобразователи параметров потоков энергоносителей и состояний технологического оборудования. Основным компонентом любой программно-аппаратной платформы являются операционные системы, которые представляют базовое программное обеспечение всех информационных систем и обеспечивают распределение ресурсов аппаратной платформы для обработки данных как в реальном масштабе времени, так и не зависимо от времени.

Для комплектации базового программного обеспечения АСУ ТП находят применение следующие операционные системы:

- операционная система Windows NT Server, которая обеспечивает сетевое распределение ресурсов аппаратных платформ в режиме мягкого реального времени;

- операционная система QNX, ориентированная на аппаратные платформы, работающие в реальном времени и обеспечивающие многозадачный сетевой режим работы;

- операционная система OS-9 компании Microware, ориентированная на применение как в больших распределенных системах, так и небольших встраиваемых системах реального времени.

CASE-средства и SCADA-системы представляют интеллектуальную инструментальную среду разработки программных приложений для АСУ ТП верхних и нижних уровней и представлены рядом следующих востребованных систем.

ISaGRAF — графическое CASE-средство разработки промышленных программ (компания CJ International), реализующее языки программирования контроллеров стандарта IEC1131-3 международной электротехнической комиссии (МЭК). Стандарт IEC1131-3 описывает синтаксис и семантику пяти языков программирования промышленных контроллеров многих фирм: PEP Modular Computers, Motorola MVME-162, ABB, Computer Boards, Keilley Metrabute, Weidmuller, Industrial Computer Source и др.

Программное обеспечение LabVIEW RT (Real Time) RT DAQ (Real Time Data Acquisition) обеспечивает выполнение режима жесткого реального времени в рамках обычного Windows. LabVIEW RT расширило сферу применения Windows в область промышленных систем управления, работающих в жестком реальном времени, значительно упростив нетривиальный процесс их разработки и интеграции с другими приложениями.

SCADA-система GENESIS32 (фирма Iconics) входит в пятерку SCADA-систем, являющихся лидерами мирового рынка в классе инструментальных

сред для программирования систем автоматизации технологических процессов. GENESIS32 является одной из наиболее востребованных инструментальных сред и в первую очередь для решения задач создания интерфейсов человек-машина (MMI-Man Machine Interface), регистрации, отображения и архивирования данных в АСУ ТП и представлена десятком 32-разрядных приложений для Windows95/98/NT, выполненных по спецификации OPC (OLE for Process Control — механизм связывания и внедрения объектов для сбора данных и управления в системах промышленной автоматизации).

Верхний уровень АСУ ТП теплоснабжающей системы должен быть представлен информационно-графической системой со следующей функциональностью:

- синтез баз данных (геобазы объектов теплоснабжающей системы, база технологических схем, база измеренных параметров состояния теплоснабжающей системы, база анимационных расчетных схем);

- синтез сезонных и перспективных теплогидравлических режимов в условиях нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций;

- наладка сезонных теплогидравлических режимов;

- энергоаудит теплоснабжающей системы (нормативные значения режимных характеристик, нормативные значения мощности насосных агрегатов, нормативная гидравлическая энергетическая характеристика, нормируемые значения показателей режима и удельного расхода электроэнергии на транспорт тепловой энергии за отчетный период, фактический режим работы системы теплоснабжения за отчетный период, сравнительный анализ

фактических и нормируемых показателей режима, расчетные и нормируемые показатели тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции, энергетическая характеристика тепловой сети по показателю тепловых потерь);

- мониторинг заявок на аварийные и ремонтно-восстановительные работы на объектах системы теплоснабжения;

- мониторинг переключений и производственных работ;

- цифровая оперативно-диспетчерская схема теплоснабжающей системы на цифровом плане города;

- диспетчерское управление эксплуатацией теплоснабжающей системы;

- системное администрирование;

- телекоммуникации с объектами организационных и технологических систем городской инфраструктуры.

Лидерами информационного рынка на экономическом пространстве СНГ в классе информационно-графических систем верхнего уровня АСУ ТП теплоснабжающих систем могут стать действующие информационно-графические системы: ИГС ГИД-99w, разработанная КарГТУ; ИГС ТеплоГраф, разработанная компанией ИВЦ Поток; ИГС ZULU 5.01, разработанная компанией Политерм.

Упомянутые системы могут стать лишь прототипами для ИГС верхнего уровня АСУ ТП, так как их архитектура была ориентирована на неавтоматизированные теплоснабжающие системы.

КарГТУ разрабатывает ИГС ТГИД-02_wRu, архитектура которой соответствует требованиям к информационно-графической системе верхнего уровня АСУ ТП теплоснабжающих систем.

УДК 534.86

Т.С. УМБЕТАЛИН

Методика неразрушающего контроля работоспособности многоцелевого манипулятора МЦМ

При проведении опытно-промышленных испытаний многоцелевого манипулятора важной частью программы испытаний являлась проверка прочности и работоспособности отдельных рабочих узлов манипулятора, которые особо сильно подвергались действию больших ударных нагрузок. Для обнаружения трещин в деталях использовался один из простейших способов неразрушающего контроля — магнитно-порошковый метод [1,2].

Контроль магнитно-порошковым методом является неразрушающим способом обнаружения мест нарушения сплошности в ферромагнитных материалах. Он состоит из трех основных операций:

- 1) помещения детали или конструкции, подвергаемой контролю, в соответствующее магнитное поле;

- 2) нанесение магнитных частиц на поверхность контролируемой детали или конструкции;

- 3) исследование поверхности детали или конструкции, на которой образуются скопления частиц магнитного порошка, и оценка годности контролируемой детали или конструкции.

Этим методом можно обнаружить места нарушения сплошности, расположенные на поверхности детали, а в некоторых случаях — и внутри нее. Применимость метода зависит от магнитных свойств испытываемой детали, поэтому он применим только к металлическим материалам, которые могут быть намагничены до высоких значений индукции. Из таких материалов (сталь3) изготовлена конструкция многоцелевого манипулятора МЦМ [3]. В процессе нанесения на деталь магнитные частицы могут находиться во взвешенном состоянии в воздухе (сухой метод) или в жидкостях, таких как масло или вода, то есть в виде суспензии (мокрый метод).

Никаких ограничений в отношении конфигурации или размера детали при контроле магнитно-порошковым методом не существует. Так как направление магнитных полей можно менять изменением направления намагничивающего тока, то направление тока используют для индуктирования магнитных линий в направлении, находящемся под прямым углом к месту нарушения сплошности в

контролируемой детали. Согласно этому применяют следующие виды намагничивания: циркулярное, продольное, намагничивание с помощью катушки и намагничивание с помощью кабеля.

При выборе метода намагничивания учитывают следующие факторы:

- 1) материал, размеры и состояние детали;
- 2) род намагничивающего тока;
- 3) направление магнитного поля;
- 4) последовательность магнитного потока.

Свойства материала, термическая обработка, холодная деформация и другие факторы определяют магнитную проницаемость детали, то есть ее способность намагничиваться. Выбор последовательности операций и значения плотности магнитного потока зависят от материала, из которого изготовлена конструкция. Размеры и форма детали определяют наиболее практичный метод намагничивания с применением необходимого оборудования. Состояние детали, в особенности состояние поверхности, оказывает большое влияние на выбор метода намагничивания. По роду намагничивающего тока в практике контроля используют: постоянный однополупериодный выпрямленный и переменный намагничивающие токи.

Каждый из токов применим для соответствующих условий контроля. Так, переменный ток обычной частоты является наиболее эффективным для обнаружения поверхностных нарушений сплошности усталостных трещин. Оборудование для контроля с помощью переменного тока снабжается специальным регулирующим устройством для изменения величины тока.

Преимущество применения переменного тока заключается в легкости размагничивания контролируемых деталей. Если деталь изготовлена из твердой стали с высоким содержанием углерода, остаточная магнитная индукция после отключения тока имеет относительно высокую величину, чтобы притягивать частицы и тем самым обнаружить имеющиеся трещины или другие дефекты. Если материал детали представляет собой мягкую сталь, остаточная индукция слишком мала для притягивания частиц. В этом случае для увеличения чувствительности частицы магнитного порошка должны находиться на детали в момент прохождения намагничивающего тока.

Выбор оптимального значения величины тока зависит как от магнитных свойств металла, размеров и конфигурации детали, так и от типа и величины имеющегося дефекта. Для общего контроля детали требуются более низкие значения тока, чем для обнаружения подповерхностных дефектов, поскольку в первом случае обычно обнаруживают лишь усталостные или другие поверхностные дефекты.

Рекомендуемые значения тока для контроля деталей составляют 24-32 А на 1 мм их толщины в случае намагничивания постоянным током. Оптимальные значения величины тока для детали находятся экспериментальным путем. Так, для детали цилиндрической формы, имеющей диаметр 25

мм, требуется ток от 600 до 800 А. Длина детали практически не влияет на величину тока. Если деталь имеет диаметр 50 мм, то для ее намагничивания нужен ток от 1200 до 1600 А. В случае образования чрезмерно больших скоплений частиц, в особенности при резких изменениях сечения, величина тока может быть уменьшена. Правильное направление намагничивающего тока и концентрация порошка являются такими же важными факторами для проведения надлежащего контроля, как и величина тока.

Величина намагничивающего тока сильно зависит от отношения длины детали к ее диаметру. Для проведения надлежащего намагничивания постоянным током с помощью катушки (в продольном направлении) деталь должна иметь длину, превышающую ее диаметр, по крайней мере, в два или три раза. Это отношение длина / диаметр обозначается как l/d . Зная отношение l/d и число витков катушки, можно точно определить необходимый для намагничивания постоянным током с помощью катушки ток, но лишь при наличии следующих условий.

1. Площадь поперечного сечения детали составляет не больше 1/10 площади отверстия катушки.

2. Длина или часть детали, подвергаемой намагничиванию, не должна превышать 460 мм.

3. Намагничиваемая деталь расположена рядом с внутренней стенкой катушки, а не в центре ее.

4. Значение отношения l/d детали составляет 2-15.

5. Намагничиваемая деталь расположена в катушке длиной своей осью параллельно приложенному полю оси катушки. Формула для определения намагничивающей силы имеет вид:

$$F = \frac{45000}{l/d}, \quad A \text{ à } \delta \delta .$$

Намагничивающую силу F необходимо разделить на число витков катушки, что дает значение величины тока в амперах. Эта формула может быть применена только для деталей, длина которых не превышает 460 мм. Для более длинных деталей она также может быть применена, однако каждые 460 мм их длины намагничивают отдельно. Так, для детали длиной $l=200$ мм и диаметром $d=50$ мм, $l/d=200/50=4$, тогда $F=45000/4=11250$. Если катушка имеет пять витков, то величина намагничивающего тока равна $I=F/n=11250/5=2250$ А. В таблице 1 приведены значения тока для других отношений l/d .

Таблица 1

ВЫБОР ЗНАЧЕНИЯ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА
ДЛЯ ПЯТИВИТКОВОЙ КАТУШКИ

Дли на детали, мм	Диаметр детали, мм	Отно шение l/d	Необход имая н.с. F , А	Необх одимы й ток, А
200	100	2	22500	4500
300	75	4	11250	2250

300	50	6	7500	1500
400	50	8	5625	1125
250	25	10	4500	900
456	38	12	3750	750
350	25	14	3214	643

При определении оптимального значения магнитной индукции при контроле удобнее пользоваться портативным оборудованием с применением щупов и зажимов для циркулярного намагничивания с целью облегчения регулирования тока в установке, а также изменения расстояния между щупами. Чрезмерно большое скопление порошка между точками контакта называют бандажированием. Это говорит о том, что напряженность магнитного поля слишком велика и должна быть снижена уменьшением тока в установке или увеличением расстояния между щупами. Для больших деталей наиболее эффективно использование тока от 600 до 800 А с расстоянием между щупами от 152 до 203 мм.

Для создания продольного поля кабель обматывают вокруг детали. Эффективную н.с. F измеряют как произведение величины тока и количества витков $F=IW$. При использовании постоянного тока большее количество витков создает большую напряженность магнитного поля. При переменном токе существует предельное количество витков, увеличивающее магнитную индукцию. Наилучшим числом витков является 3-5. Поскольку эффективное поле катушки распространяется лишь на 150-300 мм от ее концов, длинные детали требуют нескольких последовательных намагничиваний в продольном направлении. Если скопления порошка на концах продольно намагниченной детали слишком велики, они могут помешать проведению надлежащего контроля. Такие скопления указывают на необходимость уменьшения тока.

Для контроля магнитно-порошковым методом применяют два типа магнитных частиц, отличающихся тем связующим или носителем, с которым они работают. При мокром методе используют частицы с жидким связующим, а при сухом в качестве такового служит воздух. Магнитные частицы представляют собой не обычные железные опилки, а тщательно выбранные магнитные материалы с соответствующей формой, размерами, магнитной проницаемостью и способностью сохранения остаточной магнитной индукции.

Они имеют окраску, представляющую резкий контраст с цветом поверхности контролируемой детали. Магнитные порошки для мокрого метода являются наиболее подходящим материалом для обнаружения мелких поверхностных дефектов, таких как усталостные трещины. Порошки для сухого метода контроля обладают наибольшей чувствительностью при использовании на очень шероховатых поверхностях и служат для обнаружения поверхностных дефектов. Качество нанесения сухих частиц зависит от скорости

воздушной струи, с которой они попадают на контролируемую поверхность, при этом нужно тщательно следить за правильностью их нанесения. Частицы должны медленно растекаться по поверхности, не ударяясь о нее. При соблюдении этого условия частицы свободно движутся под действием магнитных полей рассеяния и образуют скопления, являющиеся признаком наличия дефекта. При использовании сухих частиц необходимо следить, чтобы намагничивание участков детали происходило в момент их нанесения, что облегчает обнаружение дефекта. Одним из наилучших путей нанесения сухого порошка является применение механической воздуходувки, пульверизатора или качающегося сита. Во всех случаях контроля сухим методом необходимо контролировать качество нанесения порошка на поверхность конструкции.

В настоящее время применяется большое количество стандартных видов портативного оборудования для контроля магнитно-порошковым методом. Оборудование включает аппараты различного типа: от ручного ярма, представляющего собой постоянный магнит или электромагниты, питающиеся от промышленной сети напряжения 115В, до мощных установок, рассчитанных на 10000А, применяющихся для контроля больших отливок, сварных конструкций или поковок.

В целях экономии оборудование рассчитано на кратковременное действие при максимальной величине тока. Так, оборудование, рассчитанное на 1000А, может иметь номинал 400А для продолжительного режима работы, для кратковременного режима работы на нем может быть получено 1000А. Небольшие установки типа ручного ярма работают от промышленной сети переменного тока напряжением 115В и током 6А. Оно может быть использовано с источником постоянного тока напряжением 12В и током до 12А. Они применяются:

- 1) для обнаружения поверхностных трещин средней и большой величины;
- 2) нахождения дефектов в сварных швах и отливках;
- 3) выявления усталостных трещин при осмотре больших конструкций.

Также есть установка для намагничивания с помощью кабеля, которая дает переменный ток величиной до 500А и работает от промышленной сети напряжением 115В частотой 60Гц. Детали намагничивают с помощью токовых зажимов или катушек, свитых из кабеля. Установка применяется для обнаружения усталостных трещин и других поверхностных дефектов в валах, балках или деталях машин диаметром до 10 см. Установка пригодна для контроля сухим и мокрым способами.

Более мощные установки дают переменный, постоянный или однополупериодный выпрямленный ток от 1000 до 10000А. При контроле сварных конструкций широко применяется оборудование, обеспечивающее переменный или однополупериодный ток. Чувствительность установки может регулироваться путем изменения вида тока от обнаружения только поверхностных трещин с помощью переменного тока до выявления

поверхностных и подповерхностных дефектов с помощью однополупериодного тока.

Широкое применение имеют установки, дающие намагничивающий ток от 1000 до 2500А, работающие на переменном и однополупериодном выпрямленном токе. Эти установки с нормальным режимом работы представляют собой ряд мощных промышленных портативных установок, работающих от линий с напряжением 220 или 400В частотой 50-60Гц. Характеристики таких установок приведены в таблице 2.

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА ПЕРЕМЕННОМ И ОДНОПОЛУПЕРИОДНОМ ТОКАХ

Номинальный ток, А	Характер намагничивающего тока	Выходной ток, А		Ток при испытании длинными концами, А
		максимальный	непрерывный	
2000	переменный	2500	500	450
	однополупериодный	2000	1000	450
3000	переменный	3000	600	800
	однополупериодный	3000	1250	800

При испытаниях с длинными концами от 24 до 30 м они дают ток до 450А. Ток такой величины неприменим для контроля больших сварных соединений. Ток в установках регулируют посредством восьмиконтактного выключателя.

Результаты применения данного метода позволяют сделать следующие выводы.

1. Контроль магнитно-порошковым методом отличается большой чувствительностью и дает возможность легко выявлять различные дефекты.

2. По характеру расположения и четкости линий скопления порошка можно определить причину и место нарушения сплошности.

3. Эффективность метода зависит от способности магнитных частиц передвигаться под влиянием магнитных полей рассеяния, возникающих на контролируемой поверхности в местах нарушения сплошности.

Данная методика позволяет эффективно и в короткие сроки проводить оценку прочности и работоспособности как отдельных узлов, так и всей конструкции манипуляторов подобного типа, что немаловажно при проведении стендовых и опытно-промышленных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Almen J.O. Fatigue weakness of surfaces, Prod. Eng, 21, N11, 1950,118.
2. Anderson R.G., Factors involved in improving aircraft engine piston design, Proc.Soc.Exptl Stress Anal., 1, N1, 1943, 61
3. Умбеталин Т.С. Расчет и проектирование манипулятора для разрушения массива ударными нагрузками: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Караганда, 2002. 19с.

Раздел 6

Технические средства и программное обеспечение автоматизированных систем

УДК 621.3.083.92

Г.Д. КОГАЙ
Т.Л. ТЕ

Схема функционирования многомерной системы телемеханики

Блок-схема многомерной системы телемеханики представлена на рис.1, состоит из счётчика-дешифратора состояний МРИ (Ст), анализатора ситуаций (АС), генератора тактовых импульсов (ГТИ), блока управления (БУ) линейными и скомбинированными распределителями, линейных распределителей (ЛР₁-ЛР_м), формирователя синхроимпульсов (ФСН), многоходовых элементов И: первого уровня ($\dot{E}_1^1 - \dot{E}_k^1$), второго уровня ($\dot{E}_1^2 - \dot{E}_k^2$) и m-го уровня (\dot{E}_1^m), устройства формирования выходных импульсов (ВУ) передатчика, устройства селекции информационных и синхронизирующих импульсов (БС), генератора тактовых импульсов (ГТИ), счётчика-дешифратора состояний МРИ (Ст), блока управления (БУ) линейными и скомбинированными распределителями, линейных распределителей (ЛР₁ - ЛР_м), многоходовых элементов И: первого уровня ($\dot{E}_1^1 - \dot{E}_k^1$), второго уровня ($\dot{E}_1^2 - \dot{E}_k^2$) и m-го уровня (\dot{E}_1^m). Буквами (а, б) обозначено: а - шины входных линейных распределителей, б - шины выбора элементов различного уровня.

Пример практической реализации для случая m=3. Трёхмерный скомбинированный распределитель можно представить в виде семи элементов трёх уровней ($\dot{E}_1^1 - \dot{E}_k^1$, $\dot{E}_1^2 - \dot{E}_k^2$, \dot{E}_1^m):

- трёх линейных (P₁, P₂, P₃),
- трёх матричных (P₁₂, P₁₃, P₂₃),
- одного объёмного (P₁₂₃) распределителя.

Каждый элемент И трёхмерного распределителя имеет информационный вход «Inf», информационный выход «Inf», вход выбора уровня «Разр» и от одного до трёх адресных входов (в зависимости от величины m «Адр1», «Адр2», «Адр3»).

На основе рассмотренных трёхмерного и линейного распределителей составим структурную схему трёхмерной системы телемеханики. Поставим в соответствие с состоянием счётчика-дешифратора номер элемента уровня трёхмерного распределителя. Для управления счётчиком-дешифратором возьмём три линейных распределителя P_A, P_B, P_C с длинами, т.е. числом канальных выходов, соответственно, P_A=a=3, P_B=b=4, P_C=c=5.

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ И СОСТОЯНИЯ
СЧЁТЧИКОВ-ДЕШИФРАТОРОВ

Состояние	Распределитель	Буквенное обозначение	Число каналов
1	P ₁	а	3
2	P ₂	в	4
3	P ₃	с	5
4	P ₁₂	а в	12
5	P ₁₃	а с	15
6	P ₂₃	в с	20
7	P ₁₂₃	а в с	60

Передающий полукомплект

Передающий полукомплект представлен на рис.2, где 1 — счётчик-дешифратор, 2 —

анализатор ситуации, 3 — ГТИ, 4 — блок управления, 5 — формирователь синхроимпульсов, 6 — скомбинированные распределители, 7 — устройство формирования выходных импульсов. Анализатор (2) системы должен выделять окончания опроса линейных и скомбинированных распределителей, т.е. следующие ситуации:

- /«1» & A/ = 1,
- /«2» & B/ = 1,
- /«3» & C/ = 1,
- /«4» & A & B/ = 1,
- /«5» & A & C/ = 1,
- /«6» & B & C/ = 1,
- /«7» & A & B & C/ = 1.

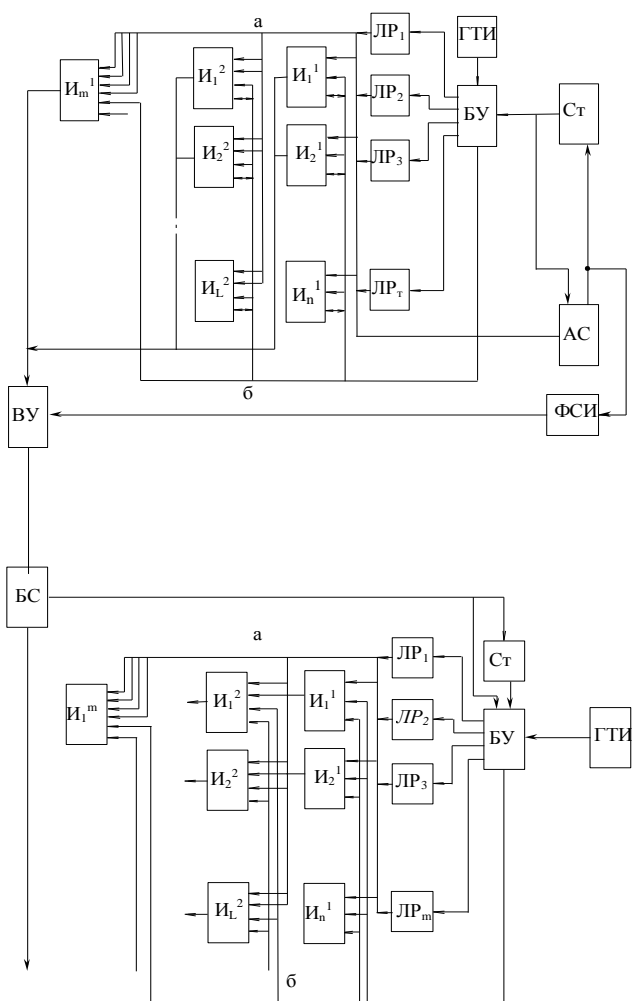


Рис. 1. Блок-схема многомерной системы телемеханики

Для согласования системы после включения питания в анализатор дополнительно введены кнопка /ВК/ и элемент И₁. Работает передающий полукомплект следующим образом: в начальный момент, после включения питания, состояние СЧ/ДШ=1, тактовые импульсы поступают на распределитель Р_А, но содержимое его равно нулю, поэтому на входе трёхмерного распределителя импульсы отсутствуют. Замыканием кнопки (ВК) через элемент И₁ (ВК 1) и элемент ИЛИ устанавливается в СЧ/ДШ состояние «2».

Одновременно поступает запускающий импульс на стартовый распределитель Р_В, открывается цепь для прохождения тактовых импульсов на тактовый вход распределителя Р_В и формирователь синхроимпульсов (ФСИ) (9) выдаёт в линию связи отрицательной полярности первый синхроимпульс.

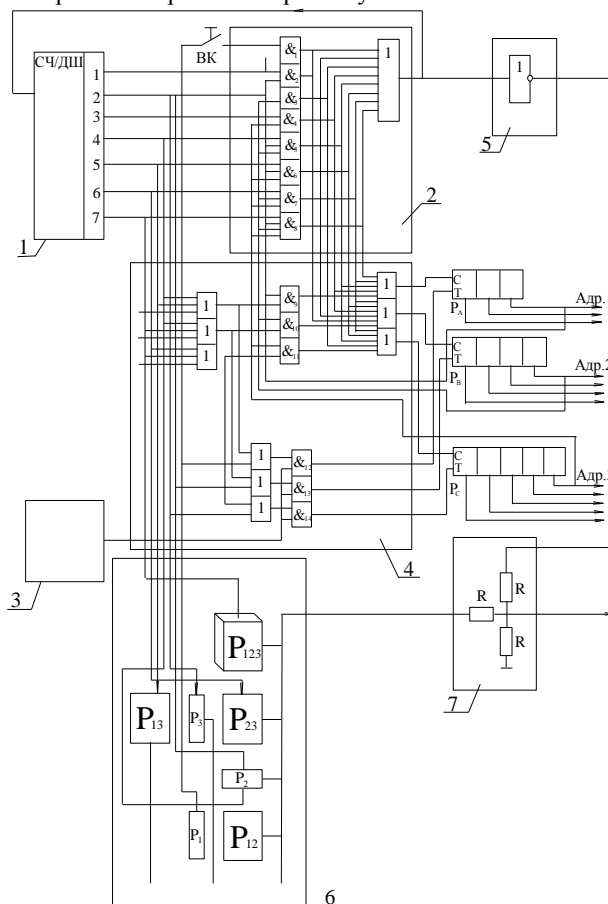


Рис. 2. Передающий полукомплект многомерной системы телемеханики

Разрешающий потенциал единицы поступает на разрешающий вход элементов И распределителя Р₂ и с информационных входов элементов И будет считываться информация в линию связи. Через четыре такта с четвёртого выхода распределителя Р_В в анализатор поступит импульс, срабатывает элемент И₃ (В & 2), запустится распределитель Р_С и счётчик-дешифратор примет состояние «3» ФСИ (5) вырабатывает синхроимпульс. Разрешающий потенциал поступит РВЭИ распределителя Р₃. С его информационных выходов информация за пять тактов «считывается» в линию связи.

На пятом такте с пятого выхода распределителя Р_С в анализатор (2) поступает импульс, вызывающий срабатывание элемента И₄ (С & 3) и ИЛИ. Запускающий импульс поступает на распределители А и В, счётчик-дешифратор устанавливается в состояние «4», открывается цепь для прохождения тактовых импульсов на распределители Р_А, Р_В. Разрешающий потенциал поступает на РВЭИ распределителя Р₁₂.

Через 12 тактов с распределителями А и В одновременно поступают импульсы в анализатор (2), сработает элемент И₅ (А & В & 4), который запустит

распределители А и С и установит счётчик-дешифратор (1) в состояние «5». Откроется цепь для прохождения тактовых импульсов на распределители P_A и P_C и разрешающий потенциал поступит на РВЭИ распределителя P_{13} . С его информационных входов за 15 тактов информация поступит в линию связи.

На 15-м такте с распределителей P_A и P_C в анализатор (2) одновременно поступают импульсы, вызывающие срабатывание элемента I_6 (А & С & 5). Запускающие импульсы поступят на распределители P_B и P_C , установится состояние «б» счётчика-дешифратора (1) и откроется цепь для прохождения тактовых импульсов на распределители P_B и P_C и разрешающий потенциал поступит на РВЭИ распределителя P_{23} МРИ. За 20 тактов с его выхода информация поступит в линию связи.

На двадцатом такте с распределителей P_B и P_C одновременно поступят импульсы (2), заставляя сработать элемент I_7 (В & С & 6).

Запускающие импульсы поступят на распределители P_A , P_B , P_C , счётчик (1) установится в состояние «7», откроется цепь для прохождения тактовых импульсов на распределители P_A , P_B , P_C и разрешающий потенциал поступит на РВЭИ распределителя P_{123} МРИ.

За 60 тактов информация, поступающая с выходов P_{123} распределителя, будет передана по линии связи.

На 60-м такте с распределителей P_A , P_B , P_C одновременно поступят импульсы в анализатор (2) и сработает элемент I_8 (А & В & С & 7).

Запустится распределитель P_A , ФСИ выдаст синхроимпульс в линию связи, счётчик-дешифратор (1) установится в состояние «1», откроется цепь для прохождения тактовых импульсов на распределитель P_A и разрешающий потенциал поступит на РВЭИ распределителя P_1 МРИ. Цикл на этом заканчивается.

Особенность блока 5 в том, что синхроимпульс приходит из блока ФСИ с отрицательной амплитудой.

Приёмный полукомплект

Приёмный полукомплект представлен на рис.3. С линией связи соединяется через блок селекции (18), работающий следующим образом: диод D_1 пропускает отрицательные синхроимпульсы на инвертор, с его выхода импульсы будут иметь положительную полярность и поступают эти импульсы через определённое число информационных импульсов, выдаваемых линейными и скомбинированными распределителями передатчика на счётчик-дешифратор (20) и блок управления (21) линейными и скомбинированными МРИ приёмного полукомплекта. Блок (19) является генератором тактовых импульсов.

Работает приёмный полукомплект следующим образом: в начальный момент счётчик-дешифратор находится в состоянии «1», а содержимое распределителя равно нулю.

С появлением первого синхроимпульса запускается через элемент I_2 распределитель P_B и устанавливается в счётчике-дешифраторе состояние «2». Разрешающий потенциал поступит на распределитель P_2 и информация, поступающая из линии связи, будет выдана через распределитель P_2 по своим информационным каналам (выходам).

С появлением второго синхроимпульса запускается через элемент I_3 распределителя P_C и устанавливается в счётчике-дешифраторе состояние «3». Откроется цепь для прохождения тактовых импульсов на распределитель P_3 и разрешающий потенциал поступит на разрешающий вход элемента И РВЭИ распределителя P_3 . С выходов распределителя P_3 считывается информация, поступающая из линии связи. С появлением третьего синхроимпульса через элементы I_1 , I_2 поступят запускающие импульсы на распределители P_A и P_B и также изменится состояние счётчика-дешифратора (20), которое перейдёт в состояние «4», и тем самым через элементы ИЛИ, I_4 и I_5 пройдут тактовые импульсы на распределители P_A и P_B , что приведет к срабатыванию двухмерного распределителя P_{12} . И информация, поступающая из линии связи, будет выдаваться по всем информационным цепям этого распределителя. Аналогично пройдут информационные сигналы через распределители P_1 , P_{13} , P_{23} , P_{12} . Для наглядности поясним, как будет проходить информация через кубический распределитель.

С появлением шестого синхроимпульса через элементы I_1 , I_2 и I_3 поступают единицы через три элемента ИЛИ на вход распределителя P_A , P_B , P_C , которые запускаются; одновременно шестой синхроимпульс переводит счётчик-дешифратор в состояние «7» и тем самым три элемента ИЛИ и элементы I_4 , I_5 , I_6 формируют цепь прохождения тактовых импульсов с ГТИ (19) на тактовые входы распределителей P_A , P_B и P_C , совместная работа которых активизирует распределитель P_{123} , на РВЭИ которого поступает разрешающий потенциал с выхода «7» счётчика-дешифратора (1) и тем самым происходит приём информации из линии связи по всем информационным каналам кубического распределителя P_{123} . Седьмой импульс переводит счётчик-дешифратор в состояние «1» и тем самым процесс повторяется. На рис.3 P_1 , P_2 , P_3 , P_{12} , P_{23} , P_{123} выполняют функции информационных блоков приёма и выдачи информации по всем распределителям: линейным (P_1 , P_2 , P_3), скомбинированным двухмерным (P_{12} , P_{13} , P_{23}) и трёхмерным (P_{123}).

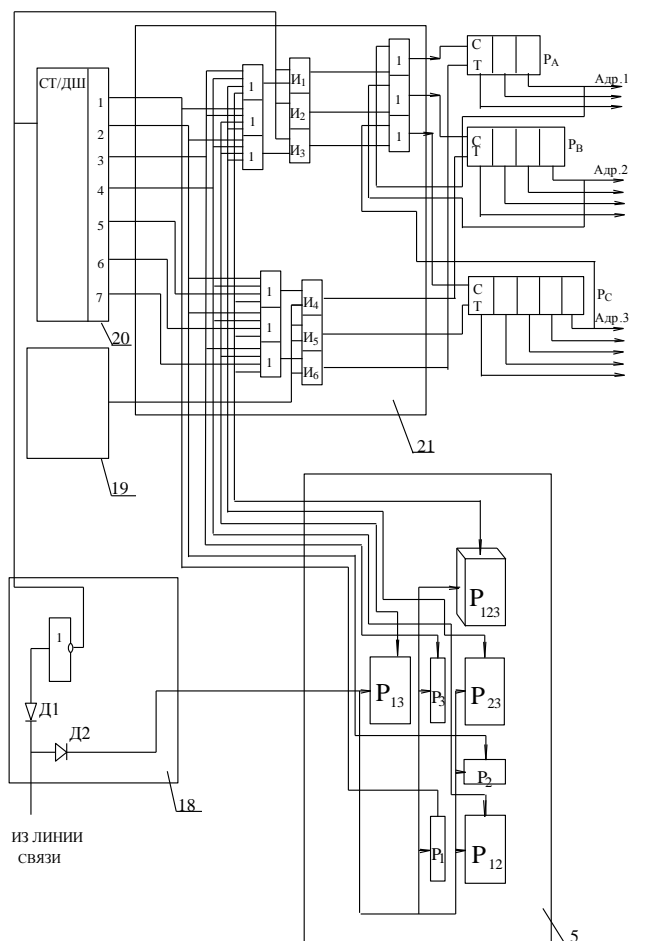


Рис. 3. Приемный полукомплект многомерной системы телемеханики

Таким образом, положительный эффект достигается за счёт выполнения обычного распределителя импульсов в виде МРИ, а также введением в передающем и приёмном полукомплекте счётчика-дешифратора состояний МРИ, анализатора ситуаций, блока управления линейными и скомбинированными распределителями, что позволяет телемеханизировать большое число объектов телемеханизации ($10^2 - 10^5$). Как, например, в нашем случае при $m=3$, $P_B=4$, $P_C=5$ число это составляет 112, а также имеет и более жёсткую синхронизацию передающего и приёмного полукомплекта, а так как число синхроимпульсов равно 2^m-1 (2^3-1)=7.

УДК 681.3:62-52

Д.Ф. СЕЛИВАНОВ

Структура автоматизированной системы обучения компьютерного тренажерного комплекса

В основе структуры автоматизированной обучающей системы (АОС) лежит следующая модель процесса обучения. Пока не достигнута цель обучения, выраженная в терминах характеристик обучаемого, повторяется следующая последовательность действий:

- на основании установленной методики обучения и текущего состояния обучаемого производится генерация или выбор очередного учебного воздействия — учебного материала или задачи;
- при решении обучаемым задачи, его ответ сравнивается с эталонным и на основании различий проводится диагностика ошибок обучаемого. По результатам диагностики ошибок происходит корректировка текущих характеристик обучаемого.

Соответственно выделяем следующие основные функциональные подсистемы АОС:

- управления процессом обучения;
- формирования (генерации) учебных заданий;
- решения задач в некоторой предметной области;
- диагностики ошибок обучаемого.

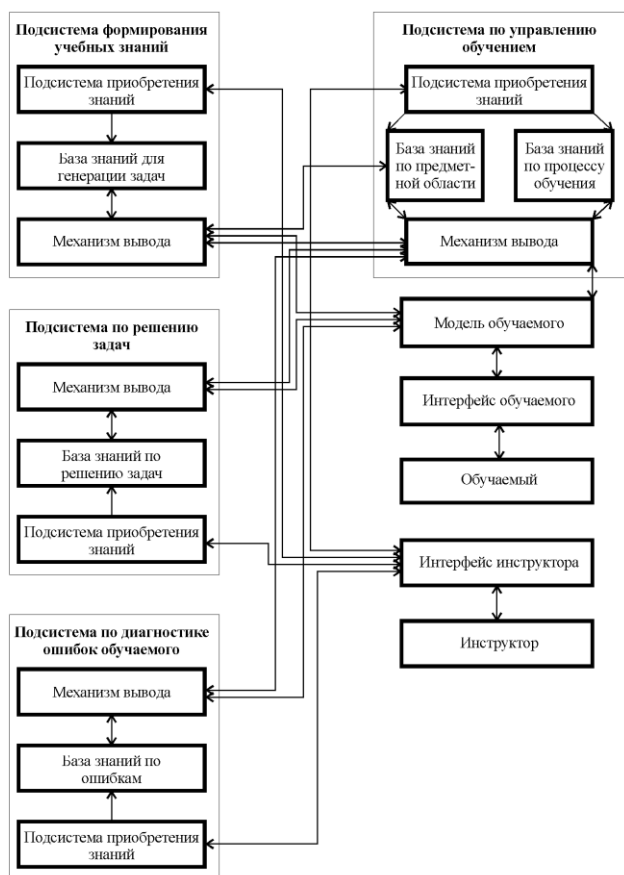
На рисунке изображена общая структурная схема АОС. Каждая выделенная подсистема включает подсистему приобретения знаний, позволяющую формировать базу знаний по решаемому вопросу, саму базу знаний и механизм вывода, представляющий собой способ извлечения знаний из базы и их обработки с

целью принятия решений. В структуре АОС выделены следующие базы знаний: база знаний о предметной области (модель предметной области), модель обучаемого, база знаний для генерации задач, база знаний по решению задач в предметной области, база знаний по процессу обучения, база знаний по ошибкам обучаемого.

База знаний о предметной области содержит формализованные знания экспертов о предметной области, в том числе определения понятий, описания методов, примеры и т.д. База знаний о предметной области должна явно отражать структуру предметной области и может быть рассмотрена как представление ограничений, в рамках которых должно планироваться обучение. Модель обучаемого содержит информацию о состоянии знаний обучаемого, как общие интегральные характеристики, так и те, которые отражают усвоение им учебного материала. База знаний для генерации задач содержит знания, позволяющие автоматически формировать структуру задач и их параметры.

База знаний по решению задач в предметной области содержит знания о планах и методах решения задач.

База знаний о процессе обучения содержит знания о планировании и организации процесса обучения, общих и частных методиках обучения.



Структурная схема автоматизированной обучающей системы

База знаний об ошибках обучаемого содержит каталог возможных ошибок обучаемого и правила выдвижения и проверки гипотез о неправильных представлениях обучаемого, приведших к данной ошибке, на основе различий между решениями, предложенными обучаемым и подсистемой по решению задач, а также текущего состояния модели обучаемого.

Взаимодействие подсистем АОС может осуществляться через подсистему управления обучением и через модель обучаемого, в которой отражаются команды подсистемы управления и сообщения других подсистем.

Подсистема по управлению обучением осуществляет планирование в ограничениях накладываемых имеющимся учебным материалом. В соответствии со знаниями о методиках обучения, глобальной цели обучения и состоянием модели обучаемого подсистема формирует текущую цель обучения, представляющую собой пояснительный материал или очередную задачу. Если в качестве

текущей цели обучения выбрана задача, происходит активизация подсистемы формирования учебных заданий, которая на основании базы знаний для генерации, базы знаний по предметной области и состояния модели обучаемого формирует задачу, передающуюся обучаемому для решения, и подсистеме по решению задач для выработки эталонного решения. Ответ обучаемого сравнивается с эталонным, и при обнаружении расхождений подсистема диагностики ошибок обучаемого устанавливает, какие неправильные представления о предметной области могли вызвать подобного рода ошибку. В результате диагностики меняется представление АОС об обучаемом, отраженное в модели обучаемого. На основании измененной модели обучаемого подсистема управления процессом обучения уточняет текущую цель и формирует очередное учебное воздействие.

Интеллектуализация функционирования каждой из перечисленных подсистем представляет собой очень сложную задачу. Поэтому обычно в АОС интеллектуализируют выборочно одну или несколько подсистем. В соответствии с направлением интеллектуализации принято деление АОС по группам [1].

1. Системы, поддерживающие интеллектуальное управление обучением и обеспечивающие адаптивную выдачу обучаемому учебных воздействий.

2. Системы, обеспечивающие интеллектуальную поддержку генерации задач и процесса их решения.

3. Системы, занимающиеся глубокой диагностикой ошибок и заблуждений обучаемого.

Адаптивное управление процессом обучения требует наличия в системе модели обучаемого, корректно отражающей состояние знаний обучаемого. Таким образом, для построения АОС, поддерживающей интеллектуальное управление обучением, необходимо в той или иной мере проводить тестирование знаний обучаемого и диагностику его ошибок.

Интеллектуализация генерации задач [2] и создание решателей задач не могут быть оторваны от конкретной предметной области.

Проведенный анализ и экспериментальные исследования позволили выделить основные задачи, возникающие при создании АОС, инвариантной относительно предмета и метода обучения:

1. Представление и обработка знаний по предмету обучения.

2. Разработка методов контроля и диагностики ошибок обучаемого.

3. Разработка моделей представления и обработки знаний об управлении процессом обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн.1: Системы обращения и экспертные системы: Справочник / Под. ред. И.В.Попова. М.: Радио и связь, 1990.
2. Федосенко М.Ю. Использование средств генерации вопросов и задач в экспертно-обучающих системах / Использование компьютерных технологий в обучении. Киев.: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова, 1990.

УДК 62-519:681.3:004.4

О.А. КАН
Д.О. КАН**Повышение помехоустойчивости передачи дискретных сигналов**

В связи с применением средств вычислительной техники в системах автоматизированного контроля параметров проветривания и дегазации угольной шахты возникает необходимость передачи дискретных сигналов. Обеспечение помехоустойчивости передачи сигналов осуществляется использованием помехозащищенных кодов или построением помехоустойчивых приемников. Помехоустойчивость частотных кодов при стационарных флуктуационных помехах значительно более высокая, чем у последовательных двоичных кодов с исправлением ошибок [1], так как помехоустойчивость сильнее зависит от увеличения энергии сигнала, чем от увеличения корректирующих свойств кода.

В шахтных кабельных линиях связи значительный удельный вес имеют групповые импульсные помехи [2], при которых продолжительность «плохого» состояния канала связи часто превышает длительность одной кодовой комбинации. Корректирующие коды с исправлением ошибок при этом нерациональны из-за необходимости вводить большую постоянную избыточность для исправления ошибок. Это приводит к увеличению помехоустойчивости излишне дорогой ценой и к нерациональным решениям, связанными с резким усложнением аппаратуры. Повышение помехоустойчивости при флуктуационных и импульсных помехах и ограниченной амплитуде сигнала достигается главным образом увеличением энергии элементарных импульсных посылок кода [1].

Рассмотрим способ передачи дискретных сигналов, позволяющий значительно повысить помехоустойчивость кодовых комбинаций.

На передающем устройстве формируют сигналы «единиц» первого, второго и последующих разрядов передаваемого кода по формуле

$$K_i = K_1 + \Delta K (i-1), \quad (1)$$

где K_i — количество импульсов i -го разряда передаваемого кода;

K_1 — количество импульсов первого разряда передаваемого кода;

ΔK — количество импульсов, устанавливающее различие между соседними разрядами передаваемого кода.

Импульсы K_i передаются на одной рабочей частоте, чем обеспечивается дополнительная помехоустойчивость и упрощение аппаратуры. В линию связи передаются только сигналы «единиц» двоичного кода. Такой способ передачи и приема двоичных кодов позволяет максимально упростить аппаратную часть системы при высоком уровне помехоустойчивости.

Для оценки помехоустойчивости кодовых комбинаций воспользуемся энергетическим

критерием помехоустойчивости [2], который определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\int_0^T U(t) dt}{\sigma_0^2}, \quad (2)$$

где $U(t)$ — мгновенное значение сигнала;
 T — длительность сигнала;

$$\sigma_0^2 = \frac{U_n}{\sqrt{\Delta f}} \text{ — удельное напряжение помехи,}$$

здесь U_n — эффективное напряжение помехи;
 Δf — полоса частот, в которой расположены помехи.

В случае использования для передачи сигналов одиночных прямоугольных импульсов амплитудой U_m и длительностью ΔT выражение (2) упрощается и принимает вид

$$\alpha = \frac{U_m * \Delta T}{\sigma_0^2}. \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что одним из наиболее простых и надежных способов увеличения параметра α является снижение быстродействия системы за счет увеличения продолжительности импульса. Для пачки импульсов энергетический критерий

$$\alpha = \frac{U_m * \Delta T * K}{\sigma_0^2}, \quad (4)$$

где K — число импульсов в пачке.

Найдем энергетический критерий помехоустойчивости для частотного кода («нули» передаются на одной частоте, а «единицы» на другой)

$$\alpha_f = \frac{U_m * \Delta T * K * n}{\sigma_0^2}, \quad (5)$$

где n — число разрядов кодовой комбинации.

Для предлагаемого счетного кода среднее число импульсов заполнения в пачке

$$K_{cp} = K + (n - 1) * \Delta K / 2.$$

Среднее число передаваемых разрядов счетного кода $n_{cp} = n/2$.

Энергетический критерий помехоустойчивости для счетного кода

$$\alpha_c = \frac{U_m * \Delta T * n * (K + (n - 1) * \Delta K / 2)}{2\sigma_0^2}. \quad (6)$$

При $\Delta K = K$ разделим выражение (5) на (6)

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_c} = \frac{4}{n + 1}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что $\alpha_c > \alpha_f$ при $n > 3$, то есть при числе каналов связи больше восьми.

Таким образом, при увеличении числа каналов связи значительно повышается помехоустойчивость передачи дискретных сигналов предложенным счетным кодом по сравнению с широко применяемым в аппаратуре передачи данных частотным кодом. Кроме того, повышается скорость передачи двоичных кодов, за счет передачи в линию связи только единичных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шастова Г.А. Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации. М.: Энергия, 1966. 456 с.
2. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. М.: Госэнергоиздат, 1966. 152 с.

УДК 519.866

А.У. ШИНТЕМИРОВА

К вопросу моделирования процесса планирования и управления бюджетом

Стабилизация экономического и социального развития государства требует полноценного финансирования экономики и социальной сферы. Инструментом реализации стратегических программ развития является перспективное и долгосрочное прогнозирование бюджетных показателей. В настоящее время используются традиционные методы планирования бюджетных показателей: путем использования расчетных нормативов, устанавливаемых вышестоящими органами управления, или способом измерения динамик предыдущих периодов.

Однако развитие информационных технологий, жесткие требования рыночной экономики и высокие темпы развития побуждают к созданию новых, высокоинтеллектуальных практических моделей анализа и планирования. Проникновение вычислительной техники и основанных на ней новых информационных технологий во все сферы народного хозяйства является отличительной особенностью нашего времени. Применение моделей во многом упрощает и экономит процесс исследования и экспериментирования изучаемого объекта. Предшествующий построению модели анализ позволяет выявить зависимости факторов и закономерности их функционирования, которые ранее не объяснялись или считались незначимыми.

Среди существующих экономико-математических моделей вопросу бюджетных моделей уделено внимание в немногих разработках. Это:

- микроимитационное моделирование — прогнозирование сводных поступлений от микроданных: частных лиц и предприятий;

- функциональное моделирование — модели расчета основных показателей бюджетных отношений корреляционно-регрессионными методами.

Однако такие модели весьма объемны, включают в себя элементы практически всей экономической системы страны. Это делает модель трудоемкой и ориентированной на специфику отдельного экономического региона. В настоящее время нет метода, позволяющего оценить государственный бюджет без учета внешних факторов, оперируя только денежными потоками. Отсутствие такого метода можно объяснить следующими обстоятельствами: разнообразием программ развития, ориентированных на отдельный регион, непостоянством программ — на каждый год устанавливаются различные программы, соответственно в различных сферах деятельности, различиями экономического, социального, демографического и других состояний объектов финансирования.

Цель предлагаемого исследования состоит в разработке комплекса моделей управления процессом анализа прогнозирования и планирования потоков финансовых средств бюджета.

Система бюджета относится к классу сложных систем, включая в себя элементы как внутреннего состояния — абсолютные величины статей, так и внешние параметры — территориальные, экономические, политические и т.д. В целях исследования функционирования бюджета и отражения всех видов взаимодействий элементов мало рассматривать ее как элемент финансовой системы лишь с экономической стороны. Для этого необходим комплексный системный подход, включающий анализ

описания функций и элементов системы в целом, а также ее структуры.

В рамках разработки модели бюджета выявлен ряд вопросов. Существует ли закономерность распределения бюджетных средств на статьи государственных программ стратегического развития? Возможна ли оценка состояния бюджета (дефицита/профицита)? Как изменяется распределение бюджета при изменении размера статей бюджета? Какова степень реакции показателей бюджета на изменение внешней среды? Возможно ли использование показателей текущего состояния бюджета для последующего планирования?

Предлагается математическая модель [1], отражающая текущее состояние бюджета. Модель направлена на алгоритмизацию процесса распределения бюджетных средств. Поскольку любая система, в том числе статическая система бюджета, существует в ограниченной параметрами среде, сформулируем условия функционирования модели бюджета и определим входные, выходные и воздействующие величины:

1) входными данными являются прогнозные значения доходов и расходов относительно расчетной базы объектов бюджетной системы;

2) выходные данные — проект бюджета, приближенный к реальному исполнению;

3) воздействие внешних факторов на систему проявляется в виде изменения плана поступлений;

4) \vec{X}, \vec{Y} — векторы поступления и расходования, где элементы векторов $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n$ — статьи соответствующих частей бюджета в разрезе отдельного уровня единой бюджетной классификации;

5) результатом работы модели является возможность корректировки проекта бюджета в соответствии с реальным его исполнением;

6) введем допущение, что в целях контроля бюджетных средств и их адресного движения величина изменения одной статьи дохода переводится в одну статью расхода.

Разработанная математическая модель бюджета направлена на реализацию поставленных выше вопросов. Рассмотрим поэтапно формализованное представление модели системы бюджета.

1. Известно, что государственный бюджет определяется статьями поступления и расходования. Все статьи поступления бюджета формируют общий государственный бюджет. При этом при распределении на расходы опираются только на размер бюджета, не учитывая источников поступлений. Это значит, что невозможно проанализировать влияние распределения расходов на будущее поступление или необходимость финансирования сферы государственной деятельности в целях увеличения поступлений. Это вызвано тем, что государственный бюджет финансирует в основной своей части те сферы, которые в реальном времени не приносят финансовой отдачи (такие как социальная помощь, образование и т.д.). Вследствие этого для

описания математической модели бюджета можно предположить, что каждая единица поступлений бюджета пропорционально распределяется на все статьи расходования. Отсюда некоторая переменная a_{ij} есть доля поступлений j -й статьи в i -й статье расходов.

Связь между статьями дохода и расхода представлена матричным выражением:

$$\vec{Y} = \frac{1}{m} A \vec{X}, \quad (1)$$

где A — матрица взаимодействия дохода и расхода, состоящая из n строк и m столбцов.

Элементы матрицы A соответствуют значениям:

$$a_{ij} = \frac{y_i}{x_j}, \quad (2)$$

где a_{ij} — элементы матрицы взаимодействия дохода и расхода,

y_i, x_j — абсолютные значения i -й j -й статьи

($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$).

В теории анализа кибернетических систем соотношение (2) является показателем внутреннего состояния системы или коэффициентом взаимодействия входных и выходных ее параметров.

2. Состояние бюджета должно быть сбалансировано, т.е. требуется выполнение условия $\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{j=1}^m x_j$ для любого уровня бюджетной классификации.

Матрица взаимодействия должна приводить к балансовому состоянию статьи бюджета и сохранять его при возможных текущих корректировках. При условии балансового состояния бюджета должно выполняться требование:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}^0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^0}{x_j^0} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j^0}{x_j^0}. \quad (3)$$

Следовательно, выражение (3) является достаточным условием балансового состояния бюджета. Если предположить, что в некотором промежутке времени коэффициенты a_{ij} будут постоянны и зависимы от сложившейся стратегии развития государства и известен размер предполагаемого бюджета (VB), то, имея матрицу взаимодействия статей бюджета предыдущих лет, элементы векторов дохода и расхода рассчитываются по формуле:

$$x_j = \frac{VB}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^0}; \quad y_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_j. \quad (4)$$

Следовательно, из (3) можно вывести параметр состояния бюджета:

$$E(A) = \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right) = 1. \quad (5)$$

Если рассматриваемое выражение больше единицы, то доли статей доходов превышают размер бюджета, что соответствует состоянию профицита.

$$P = (1 - E(A)) \cdot 100\%.$$

Если выражение (5) меньше единицы, то состояние бюджета дефицитное.

$$D = (1 - E(A)) \cdot 100\%.$$

Вышеизложенное свидетельствует о том, что состояние бюджета можно анализировать и проектировать на основе введенной матрицей взаимодействия бюджетных статей. Использование данной модели позволит отслеживать изменения и зависимости статьи расхода от изменения отдельной статьи дохода, что делает распределение бюджета прозрачным для исследователя.

В качестве стабильной модели бюджета (под моделью понимаем матрицу взаимодействия статей бюджета) можно принять матрицу A^0 . Элементы эталонной модели могут быть получены путем усреднения элементов модели за время стабильного развития государства. Матрица A' — модель реального (текущего) бюджетного периода. Определим изменение матрицы при различных изменениях векторов дохода и расхода:

$$\Delta a_{ij} = a'_{ij} - a_{ij}^0 = \frac{\Delta y_i}{(x_j^0 + \Delta x_j)} - a_{ij}^0 \frac{\Delta x_j}{(x_j^0 + \Delta x_j)}. \quad (6)$$

Располагая значениями элементов матрицы в динамике, можно провести анализ и сравнение стабильного и кризисного состояний бюджета. При стабильном развитии и стабильной экономике можно предположить, что принцип пропорционального распределения бюджетных средств сохраняется в течение определенного периода времени. В таком случае элементы матрицы взаимодействия на отдельных уровнях бюджета будут неизменны и могут быть приняты для расчета бюджета на следующий год.

Таким образом, статическая модель базируется на матричном соотношении взаимодействия статей бюджета. Элементы матрицы взаимодействия можно использовать в двух направлениях:

- в теоретическом плане — для анализа стабильного и кризисного состояния бюджета, распределения функций государства и т.д.;

- в практическом плане — в качестве источника информации о степени взаимодействия статей расхода и дохода при принятии решения об изменении бюджета.

В процессе исполнения бюджета нередки ситуации, когда в утвержденном сводном проекте необходим обоснованный выбор статьи для внесения текущих изменений. Логично предположить, что вероятности отклонения от плановых ожиданий подвержена доходная часть бюджета, что требует в дальнейшем определенных корректировок в расходах. Поскольку статьи бюджета различны по абсолютной величине, процент изменения статьи одной части бюджета может по-разному отразиться на статьях

другой части. Поскольку в определенной выше системе бюджета возмущениями являются изменения доходов, определим чувствительность расходов на данные изменения [2].

В целях рационального использования бюджетных средств необходимо определение уровня изменения статей бюджета, способного существенно повлиять на ее использование. Изменение не должно быть мизерным, что не принесет эффекта от вложения, и не должно быть велико, чтобы не допустить нецелевого использования средств.

Для более корректного планирования рассматриваются только случаи текущего изменения бюджета (целевые финансирования не рассматриваются). На основании вышесказанного пусть $\delta_{\max} y_i \%$, $\delta_{\min} y_i \%$ — *максимально и минимально допустимая степень изменения* Δy_i . Процент изменения j -й статьи дохода находится по формуле:

$$\delta x_j = \frac{\Delta x_j}{x_j} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Введем понятие *нормы максимальной и минимальной чувствительности расхода относительно x_j* :

$$e_{x_j}^{\max} = \frac{\delta_{\max} y_i}{\delta x_j} \text{ и } e_{x_j}^{\min} = \frac{\delta_{\min} y_i}{\delta x_j}. \quad (8)$$

Следовательно, допустимые к изменению статьи расхода выбираются согласно условию:

$$e_{x_j}^{\min} < e_{x_j} < e_{x_j}^{\max}. \quad (9)$$

При выборе статьи расхода, допустимой к изменению, размер статьи должен находиться в интервале:

$$y_i \in \left[\frac{\Delta x_j \cdot 100}{\delta_{\max} y}; \frac{\Delta x_j \cdot 100}{\delta_{\min} y} \right],$$

где $i = \overline{1, n}$.

В задачах планирования бюджета возможно использование обратной задачи: зависимости статей доходов от изменения статей расходов. Поскольку на исполнение доходной части бюджета не накладывается ограничений на изменения, рассматриваются лишь показатели чувствительности, как коэффициент изменения статей дохода.

Планируемые к финансированию программы представляют собой совокупность обоснованных и актуальных вопросов текущего развития государства. Каждая программа является важной и насущной, поэтому при выборе адресного направления средств возникают сложности при попытке ранжирования их в порядке предпочтения. Для решения данного вопроса разработана модель оценки приоритетности статей бюджета, учитывающая структурное положение статьи и ее функциональный объем.

Для обеспечения анализа расходов на произвольном уровне всей структуры бюджета стало необходимым определение степени приоритета

каждой статьи, независимо от структурного уровня [3]. С этой целью на уровнях специфики, подпрограмм, программ и функциональных групп экспертам — специалистам в исследуемой области — предложено ввести параметры для определения приоритета по следующему принципу:

параметр «2» — для статей приоритетного направления;

параметр «1» — для статей условно-постоянных;

параметр «0» — для статей постоянных.

Для определения приоритета статей относительно одной категории расходов для каждого уровня бюджетных статей эмпирическим путем выведены расчеты степени приоритета, которые зависят от приоритетности самой статьи и количества входящих в нее приоритетных статей нижнего уровня. Общая форма расчета степени приоритета выглядит следующим образом:

$$st_{\delta\bar{a}}^{\delta} = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum st_{i\delta}^n = 0; \\ \sum st_{i\delta}^n, & \text{если } ki_{\delta\bar{a}}^m = 1; \\ \frac{1}{-\sum st_{i\delta}^n}, & \text{если } ki_{\delta\bar{a}}^m = 0 \text{ и } \sum st_{i\delta}^n > 1; \\ \sum st_{i\delta}^n, & \text{если } ki_{\delta\bar{a}}^m = 0 \text{ и } \sum st_{i\delta}^n < 1 \end{cases} \quad (10)$$

Здесь $st_{\delta\bar{a}}^m$ — степень приоритета статьи бюджета;

$ki_{\delta\bar{a}}^m$ — параметр приоритета статьи, определенный экспертом;

$\sum st_{i\delta}^n$ — сумма приоритетов нижестоящих статей, вложенных в рассматриваемую статью.

Полученные натуральные значения степени приоритета отображаются безразмерными центрированными значениями относительно нуля: если меньше нуля — статья бюджета не приоритетна; если больше нуля — статья приоритетна. Таким образом, каждая статья бюджета имеет индивидуальную степень приоритетности в зависимости от количества и приоритета вложенных в нее статей нижнего уровня. При этом возможно рассмотрение бюджета на любом уровне составляющих его элементов. Выбор статей для внесения изменений дохода (в сторону увеличения или сокращения) происходит по единому алгоритму на всех уровнях структуры расходов. Использование разработанного инструмента привлекательно тем, что расстановка параметров для статей бюджета происходит на основе индивидуальной оценки статьи, что во многом упрощает процесс оценки общей приоритетности. Выведенные формулы степени приоритета просты в понимании и удобны для алгоритмизации. Автоматизация расчета по предложенному методу ускоряет процесс анализа, предоставляет данные в произвольном разрезе структуры бюджета и исключает субъективное мнение лица, принимающего решение.

Любая экономико-математическая модель ориентирована на возможность практической реализации. Результатом практической реализации статической модели бюджета ставится задача определения допустимой статьи для внесения

текущих изменений. Такая статья выбирается по следующему принципу: для каждой статьи бюджета рассчитывается значение

$$s_i = st_i \cdot e_{ij}.$$

При условии $e_{x_j}^{\min} < e_{ij} < e_{x_j}^{\max}$. Критериями выбора статьи расходования являются:

$$f(\Delta y_i) = \begin{cases} \max(s_i), & \text{если } \text{sign}(\Delta x) = 1, \\ \min(s_i), & \text{если } \text{sign}(\Delta x) = -1. \end{cases} \quad (11)$$

Если коэффициенты матрицы эластичности меньше минимально допустимого изменения статей расходов, то выбираются такие статьи, у которых сумма максимальных коэффициентов стремится к $e_{x_j}^{\max}$.

Если наоборот, элементы матрицы эластичности больше максимально допустимого изменения статей расходов, то для статьи с максимальной степенью приоритета величина изменений разносится на статьи более низкого уровня, включенные в данную статью. Таким образом, результатом работы модели является обоснованный перечень допустимых к изменению статей расхода, которые могут быть представлены на рассмотрение местным исполнительным органам. Автоматизация предложенного решения упростит обработку данных большого объема для обсуждения вопросов формирования, внесения изменений и анализа исполнения бюджета.

Аналогичным образом возможна реализация обратной задачи, т.е. степени изменения доходов при корректировках статей расходов. Анализ на основе данной модели предоставляет возможности: корректирования использования бюджетных средств; упрощения процесса планирования бюджета; моделирования различных текущих ситуаций; проведения дальнейшего анализа в рамках исследования бюджетной системы и т.д.

Объемность и сложность системы бюджета требует разработки машинных инструментов обработки информации. В целях структурирования и распознавания организационной структуры системы бюджета на основе принятой единой бюджетной классификации и функций бюджетных статей построены модели представления знаний о бюджете. Для отражения взаимосвязей таких понятий бюджета, как структура, статьи и показатели элементов разработана семантическая модель бюджета. Семантическая модель объединяет все понятия, используемые в бюджетном процессе. Подмодель «Структура» отражает иерархическую структуру построения бюджетных статей. Подмодель «Значения» в виде модулей обработки данных организует расчет и вывод всей информации, присваиваемой статьям и рассчитываемой в процессе обработки. Подмодель «Статья» является связующим звеном модели знаний бюджета: составным элементом подмодели «Структура» и ключевым элементом подмодели «Значения». Семантическая модель организует внутреннюю целостность понятий и элементов системы бюджета. Разработана фреймовая модель бюджета, организованная по принципу

вложенности элементов системы в элемент более высокого класса. Фреймовая модель знаний позволяет в удобном виде вносить данные и просматривать их в произвольном разрезе структуры бюджета, с предоставлением всех сопровождающих значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыров Б.Е., Шинтемирова А.У. Математическая модель бюджета // Труды междунар. науч. конф. Караганда: КарГТУ, 2002. С. 298-300.
2. Шинтемирова А.У. Математическая модель эластичности статей бюджета // Там же. С. 304-306.
3. Шинтемирова А.У. К вопросу определения приоритета статей бюджета // Материалы междунар. науч.-практ. конф. Караганда: КарГУ, 2002. С. 100-103.

Раздел 7

Химия. Физика

УДК 622.7

*Н.К. ОМАРОВА
А.С. ЖАКУПОВА*

Удаление хлорита и серицита из сульфидных концентратов

При флотации сульфидных свинцово-цинковых руд Зырянского месторождения замечено, что отдельные участки его содержат в значительном количестве хлорит и серицит, легко флотирующиеся вместе с сульфидами. Явления загрязнения сульфидных концентратов легкофлотирующимся серицитом было обнаружено при испытании обогатимости технической пробы сульфидно-окисленной руды Зырянского месторождения [1]. Было установлено, что после десорбции ксантогената с поверхности сульфидов сернистым натрием значительная часть серицита и хлорита может быть отфлотирована в среде сернистого натрия, в то время как сульфиды остаются в камерном продукте.

Наши исследования были направлены на разработку и усовершенствование технологии обогащения сульфидных руд Зырянского месторождения. В процессе опытов было установлено, что депрессия серицита и хлорита добавками жидкого стекла в процессе коллективной флотации сульфидов оказалась малоэффективной. Наиболее эффективным оказался метод флотации легкофлотирующихся силикатов из коллективного концентрата. В основу разработанного метода положено подмеченное В.Г.Даниловым свойство серицита и хлорита флотировать в среде сернистого натрия при концентрации последнего в пульпе, отвечающей депрессии сульфидов. В процессе флотации

установлено, что в пенный продукт вместе с флотоактивными силикатами увлекалось значительное количество сульфидов.

Поэтому потребовалось разработать и уточнить режим серицито-хлоритовой флотации и дополнить ее операцией гравитационного удаления сульфидов, оставшихся в конечном серицито-хлоритовом продукте. В итоге проведенных исследований разработана схема удаления из коллективного свинцово-медно-цинково-пиритного концентрата легкофлотирующихся силикатов (см. рис). Сущность разработанного метода заключается в том, что коллективный концентрат перемешивается с сернистым натрием в течение пяти минут с целью десорбции ксантогената с поверхности сульфидов (по методу А.С.Конева) [2], после чего производится флотация (без добавок реагентов) легкофлотирующей породы, а сульфиды выдаются камерным продуктом и поступают на отмывку сернистого натрия и десорбированных в водную фазу реагентов. Затем коллективный сульфидный концентрат перемешивается с депрессорами и подвергается селекции.

Флотацию серицита и хлорита следует вести при малом количестве засасываемого воздуха. В этом случае наблюдается наименьшее извлечение сульфидов с этими минералами. Полученный концентрат основной флотации подвергают

двойной перечистке, однако содержание сульфидов во флотационном хлорито-серицитовом концентрате остается еще значительным (табл. 1).

Таблица 1

СОСТАВ ФЛОТАЦИОННОГО ХЛОРИТО-СЕРИЦИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %			Распределение, %		
		Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu
-0,4+0,1	6,3	0,14	0,78	0,13	0,2	0,7	0,9
-0,1+0,074	11,1	0,57	0,64	0,13	1,5	1,1	1,7
-0,074+0,025	16,4	5,18	5018	0,6	10,3	12,9	11,4
-0,025+0,019	20,8	6,91	6091	0,82	22,95	21,84	19,74
-0,019+0,01	35,3	9,28	9,28	1,21	2,3	9,6	9,5
-0,01+0	10,1	9,07	9,07	1,43	12,8	13,9	16,8
Хлорито-серицитовый концентрат	100,0	6,60	0,86	0,86	100,0	100,0	100,0

Из табл. 1 видно, что 66% хлорито-серицитового концентрата представлено материалом крупностью меньше 0,025 мм и что основные потери ценных металлов сосредоточены в материале тоньше 0,074 мм. Возможность удаления части сульфидов из окончательного флотационного серицитового продукта была установлена опытами разделения в тяжелых жидкостях класса -0,1+0,01 мм. Эти опыты (табл.2) подтверждают, что часть сульфидов находится в концентрате в свободном состоянии. Для

выделения сульфидов, находящихся в свободном виде, использовали концентрационный стол.

Таблица 2

РАЗДЕЛЕНИЕ СЕРИЦИТО-ХЛОРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА В ТЯЖЕЛЫХ СУСПЕНЗИЯХ

Продукт	Выход, %	Содержание Pb, %	Распределение, %
1 Материал уд. веса меньше 2,7	5,5	0,46	0,66
2 Материал уд. веса больше 2,7, но меньше 3,3	60,6	0,41	22,42
3 Материал уд. веса больше 3,3	17,5	13,55	62,48
4 Класс -0,4+0,1 мм	6,3	0,14	0,23
5 Класс -0,05 мм	10,1	5,35	14,21
Серицитовый концентрат	100,0	3,81	100,0

На рисунке приведены содержание и распределение металлов в продуктах отдельных операций для одной из испытанных проб руды. Разработанный метод и схема были применены для выделения легкофлотирующейся породы из свинцово-медного концентрата перед его разделением. По схеме свинцово-медный концентрат перемешивался со 100г/т руды сернистого натрия, затем в течение 5 минут флотировались хлорит и серицит. Концентрат основной флотации перечищался с добавкой 25г/т сернистого натрия, поступал на перемешивание с жидким стеклом и делился на шламовом концентрационном столе.

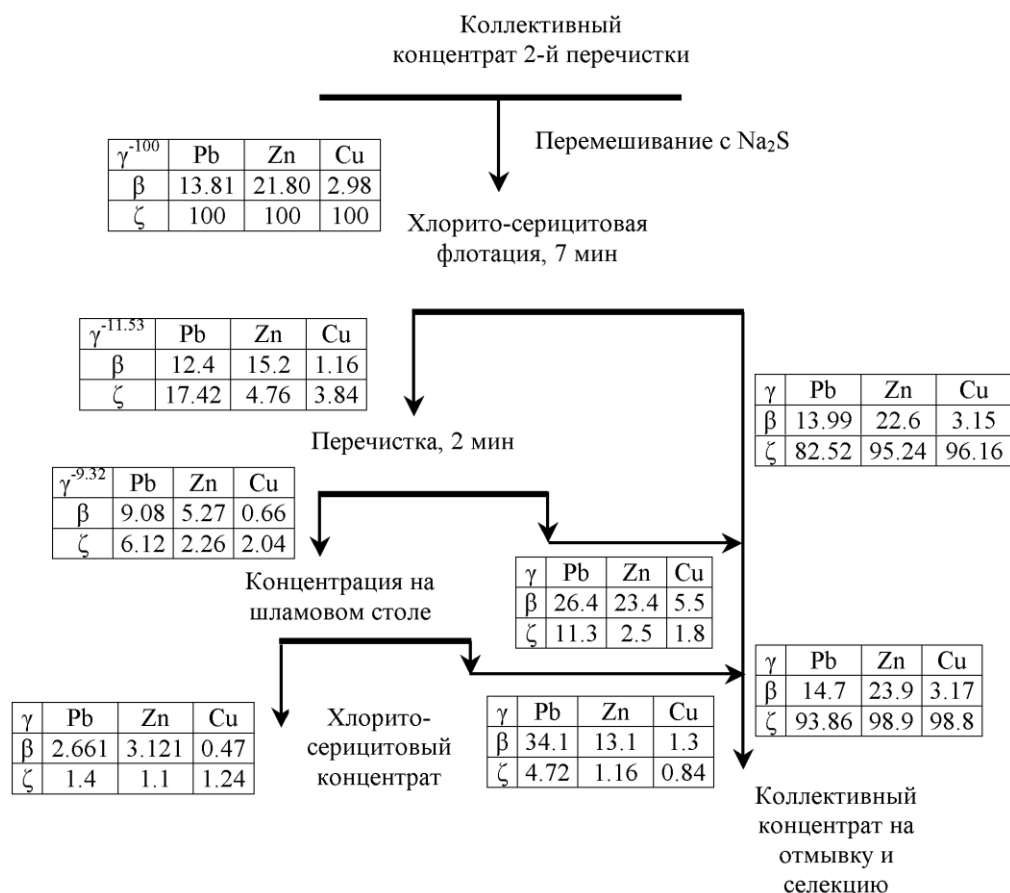


Схема выделения хлорито-серицитового концентрата

Результаты опытов представлены в табл.3.

Таблица 3

ВЫДЕЛЕНИЕ ХЛОРИТА И СЕРИЦИТА ИЗ
СВИНЦОВО-МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Продукт (концентрат)	Вых од, %	Содержание, %			Распределение, %		
		Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu
Окончательный свинцово-медный	87,0	47,23	7,01	9,97	98,6	98,2	99,0
Хлорито- серицитовый	13,0	4,80	0,81	0,70	1,4	1,4	1,0
Исходный свинцово-медный	100,0	41,5	6,2	8,75	100,0	100,0	100,0

Разработанный метод позволяет получить в процессе последующей селекции высококачественные свинцовые, цинковые и медные концентраты независимо от содержания в руде легкофлотирующихся силикатных минералов — серицита и хлорита (табл.4).

Таблица 4

КАЧЕСТВО КОНЦЕНТРАТА, ПОЛУЧАЕМОГО ПО СХЕМЕ С
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УДАЛЕНИЕМ ХЛОРИТА И СЕРИЦИТА
ПЕРЕД СЕЛЕКЦИЕЙ КОЛЛЕКТИВНОГО КОНЦЕНТРАТА

Продукт (концентрат)	Содержание, %			Распределение, %		
	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu
Свинцовый	73,37	3,09	0,9	85,1	2,2	4,8
Цинковый	1,65	56,8	0,53	4,2	88,9	6,2
Медный	5,43	3,79	29,34	3,2	1,4	80,3
Хлорито- серицитовый	2,87	3,4	0,5	1,3	1,0	1,0

Метод может быть применен для удаления серицита и хлорита как из коллективных свинцово-медных концентратов, полученных по схеме коллективной флотации всех сульфидов, так из свинцово-медных концентратов, полученных по схеме селективной или селективно-коллективной флотации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики / Под ред. О.С.Богданова, Ю.Ф. Ненарокова. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 358с.
2. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. М.: Недра, 1984. 382с.

Т.Н. НАЛИБАЕВ

Влияние технологии активации скелетного никеля на удельную, активную поверхность кристаллов хемосорбированных легких атомов водорода и кислорода

Рассеивание медленных электронов легкими атомами (H, O), хемосорбированными на металлических кристаллах, не дает на поверхности однозначной интеграции результатов об устройстве атомных факторов. Адсорбция атомов легких элементов на поверхности кристаллов сопровождается сильной перестройкой атомов металла в поверхностном слое. В процессе сильного взаимодействия между атомами газа и металла, больше чем между поверхностными атомами самого металла, было выявлено изменение электронной дифракционной картины в неупорядоченной структуре адсорбированного слоя [1, 2].

По результатам электронограмм, на поверхности было обнаружено несколько атомных слоев, состоящих из молекулы водорода и кислорода в адсорбированном состоянии и частично ионизированных, так как сечение могло быть большим.

Гипотезу перестройки (реконструкции) поверхности под действием хемосорбции атомов газа лучше интерпретировать в рамках модели «неконструированной поверхности металла», считая, что дифракционная картина отражает структуру хемосорбированного слоя газа. Видимо, по вопросу об интерпретации электронограмм при дифракции медленных электронов еще немало вопросов. Количество адсорбированных молекул газов может размещаться соответственно нескольким монослоям.

Теплота, выделяемая при хемосорбции, значительно больше, чем при физической адсорбции, которая соответствует образованию поверхностного химического соединения [3, 4]. Адсорбированная молекула может сохранить свою индивидуальность, несмотря на то, что она участвует в образовании химической связи. На поверхности катализаторов из сплава порошков после активации происходит полное разрушение структуры исходных фаз и формируются новые неупорядоченные дефектные структуры с большой кристаллографической анизотропией кристаллов.

Расчеты теплоты образования гипотетических гидридов железа, никеля, платины имеют значения, близкие к нулю, т.е. гидриды экзотермичны, что может объяснить легкую адсорбцию молекулы водорода, которая обуславливает хорошо известную природу каталитических свойств этих металлов.

На основании гидридной теории можно правильно рассчитать энергию кристаллических решеток и межионные расстояния, тогда как протонная теория объясняет подвижность атомов водорода в диффузионных и релаксационных процессах.

Во многих предполагаемых результатах были показаны состояния атомов водорода в составе кристаллической решетки металлов, который находится в основном в двух формах $H^{\delta+}$ и $H^{\delta-}$. До настоящего времени реальные результаты о

существовании равновесия между зарядами (H^+ и H^-) пока отсутствуют.

Сложность заключается в том, что миграция атома водорода и другие подобные явления обусловлены специфическим размером протона. Вся поверхность реальных скелетных катализаторов состоит лишь из одних дефектов [5] и неупорядоченных кристаллических структур. В составе катализаторов присутствие малого количества примесных атомов приводит к возникновению в спектре локальных колебаний, известных по экспоненту. Свободную поверхность катализаторов можно рассматривать как дефект и вакансии в решетке, где энергия взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния от вакансии до свободной поверхности. Работы [6,7], посвященные взаимодействиям примесного атома с поверхностными колебаниями в спектре, представляются более ценными как новые экспериментальные результаты в этой области. Эти авторы наблюдали поглощение водорода поверхностными колебаниями, связанными с адсорбированием на платине. Были выявлены два пика поглощения, которые были отнесены к двум различным типам химической связи атома водорода с поверхностью платины.

Свободная поверхность — это активная, частично измененная удельная поверхность, которая способна точно хемосорбировать атомы легких газов водорода и кислорода.

Результаты теоретических и опытных данных по определению удельной поверхности катализаторов никеля показаны в таблице. Она имеет определенную зависимость химического состава [8] от температуры и концентрации активации щелочи. Наблюдение в широком диапазоне за ходом изменения поверхностной характеристики с изменением концентрации щелочи и температуры среды выявило уменьшение значения удельной поверхности и дисперсности катализаторов. С повышением температуры происходила рекомбинация формы водорода и одновременно наблюдалось формирование новой структуры сложного состава с увеличением энергии связи водорода с металлом. В свое время по дифракции медленных электронов было доказано формирование поверхностных фазовых составов с изменением температуры среды [8]. В отдельных областях поверхностей формировались новые смешанные фазы металлов и окислы металлов. Существование определенных форм зарядов металлов [9] было доказано методом рентгенофотоэлектронной спектроскопией.

Результаты анализа на содержание количества водорода в составе катализатора, приготовленного из двойных систем Ni-Al сплавов и из индивидуальных алюминидов Ni_2Al_3 , $NiAl_3$, показаны в таблице.

Было доказано [8], что в исходной Ni-Al сплав, в основном, состоят из фазы - $NiAl_3$ (~33%), Ni_2Al_3 (до

60%) и свободного алюминия (~10%). Трудно представляемы механизмы разрушения в щелочи при активации сплавов, где в тесном контакте внутри состава сплавов находились две разные структуры — интерметаллиды (NiAl_3 , Ni_2Al_3) никеля. Мгновенное разрушение до конца происходит в процессе активации ромбической структуры NiAl_3 , а в триклинной структуре Ni_2Al_3 — значительно медленнее. Трудно оценить реальный вклад каждого алюминиды для полной характеристики объема и поверхностного состояния катализаторов из-за сложности объекта: разнообразие в физико-химических свойствах алюминидов и их совместное присутствие.

СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ И СКЕЛЕТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Катализаторы сплавов	Количество адсорбции, H_2 мл/г Ni	Количество адсорбции, H_2 мл/г Ni	Фазовый состав поверхности	Размеры кристаллитов, Z, А	Содержание свободного алюминия, %	
NiAl_3	1	95	$\text{Ni} >$ NiO	3-42	3	6
Ni_2Al_3	2	10	$\text{Ni} <$ Ni_2Al_3	5-25	1	4-5
Ni-50\%Al	3	12	$\text{Ni} >$ $\text{Ni}_2\text{Al}_3, \text{NiO}$	10-30	2	6-8
Ni-70\%Al	4	14	$\text{Ni} >$ $\text{NiO}, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	24	-	10-12

Из-за неполного распада, особенно триклинной структуры Ni_2Al_3 , несколько осложняется вопрос о разборе состояния поверхностного состава и его связи с носителем.

Возможно, сильный экзотермический процесс распада NiAl_3 в щелочи одновременно ускоряет разрушение структуры Ni_2Al_3 . Кроме того, размеры кристалликов, сформированных Г.Ц.К. никеля, отличались в катализаторах, приготовленных из NiAl_3 и Ni_2Al_3 , а также они отличались по удельной поверхности.

Свободные атомы алюминия в составе катализатора оказывают своеобразное влияние на

формирование структуры решетки никеля: не дают рост кристаллов никеля, и рыхлые окислы с большим дефектом образуются быстро.

Возможно, все эти факторы играют положительную роль для оптимизации поверхностной структуры катализаторов.

Анализ на содержание алюминия в составе катализаторов показан в следующих количественных последовательностях: $4 \geq 3 \geq 1 \geq 2$ ($\text{Ni-70\%Al} \geq \text{Ni-50\%Al} \geq \text{NiAl}_3 \geq \text{Ni}_2\text{Al}_3$). Свободный металлический алюминий значительно больше содержит молекулярного водорода, чем другие катализаторы, которые соответствуют четвертому номеру катализатора (№4), в составе поверхности преобладает новоформирующийся $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

По-видимому, молекулярный водород адсорбирован больше в структуре $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, чем в других соединениях.

На основе результатов физико-химических исследований, полученных с помощью активации щелочи в исходных Ni-Al сплавах и алюминидов (Ni_2Al_3 и NiAl_3), можно определить зависимость: что с ростом концентрации активирующих щелочей происходит плавное понижение величины удельной поверхности катализаторов.

Уменьшение площади удельной поверхности и повышение температуры и концентрации щелочи имеет прямое отношение к росту кристаллов катализаторов никеля. С ростом размеров кристаллов хемосорбционный процесс водорода и энергии связи металл-водород значительно повышаются.

Для получения оптимального катализатора, по-видимому, низкотемпературная активация и низкая концентрация щелочи имеют важное значение для сохранения высокой удельной поверхности и мелкодисперсного состояния (~ 20 ÷ 25А).

Оказалось, не менее важную роль играет количественное содержание алюминия в составе катализатора, которое оказывает влияние на взаимосвязи М-Н и на фазовый состав поверхности (см. табл.).

Возможно, существование определенной заряженной формы атомов алюминия влияет на формирование гидридной формы сложного переходного комплекса, а в дальнейшем, быстро разрушаясь, образуют окиси алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L.H.Germer, Phys.Today, 17(7), 19(1964); in Fundamental Phenomen in the Materials Science, V.2, Surface phenomena, ed by L.J.Bonis, H.H.Hausner, Plenum Press, №4, 1966, P.23
2. L.H.Germer, Surface Science 5,147 (1966).
3. Даниэльс Д., Альберт Р. Физическая химия / Пер. с англ. М.: Высшая школа, 1967. 769 с.
4. Киселев В.Ф., Крылов О.В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М.: Наука, 1978. 256 с.
5. Марадунин А. Дефекты и колебательный спектр кристаллов, М.: Мир, 1968. 410 с.
6. Pliskin W.L, Eischens R.P. / Zs.Phys.chem, 24,11.1960
7. Тоуа Т. Progr. Theoh. Phys., Suppl., 23,250,1962.
8. Талипов Г.Ш., Налибаев Т.Н., Фасман А.Б., Султанов А.С. Электронографическое исследование структуры и фазового состава никелевых скелетных катализаторов // Кинетика и катализ, 15,744,1974.
9. Налибаев Т.Н. Исследование поверхности скелетных никелевых катализаторов Ренея методом электронной спектроскопии // Доклады АН РК 1999, №2.

УДК 539.2

К.Р. КУРБАНОВ
В.М. ЮРОВ

Экситон-фононное взаимодействие в кристаллах оксогалогенидов висмута сложного состава

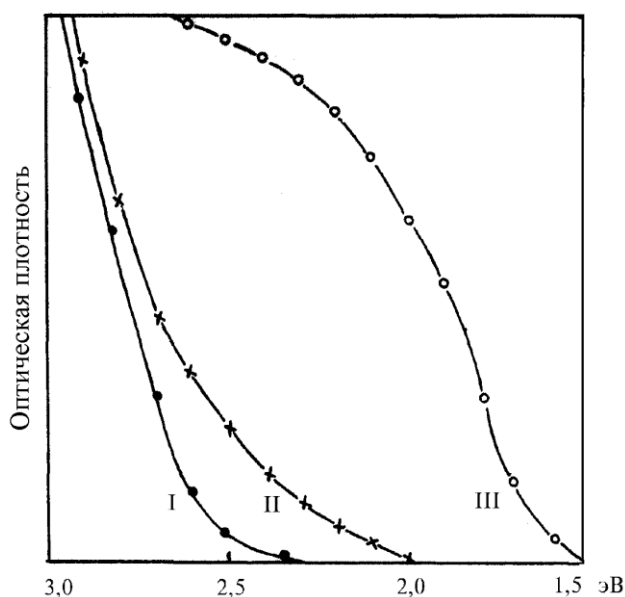
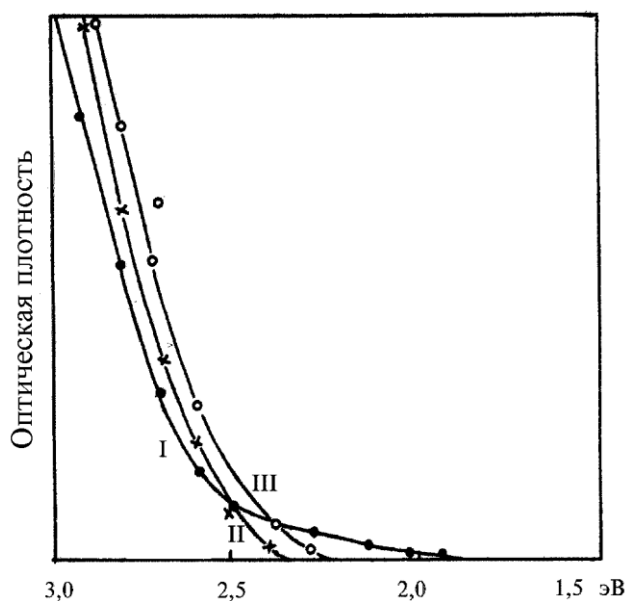
Методом твердофазного взаимодействия в вакуумированных кварцевых ампулах синтезирован ряд систем $PbO-BiOX$, где $X=Cl, Br, I$. Рентгенофазовый анализ проводился методом порошка с помощью дифрактометра ДРОН-4 на K_{α} -излучении рентгеновской трубки с медным антикатодом. Плотность образцов определялась пикнометрически с использованием тетрабромэтана.

Рентгенограмма $PbBiO_2Cl$ проиндцирована в ромбической сингонии. Оксобромид $PbBiO_2Br$ кристаллизуется в тетрагональной сингонии. Индцирование рентгенограммы $PbBiO_2I$ возможно лишь при удвоении параметра «а», так что симметрия ее решетки является ромбической. Кристаллическая фаза $PbBiO_2O_3Cl_2$ существует только в системе $PbO-BiOCl$. Ее рентгенограмма проиндцирована в тетрагональной сингонии. Индцирование остальных объектов проводилось методом гомологии как ромбическое искажение структуры типа флюорита или тетрагональное искажение той же структуры.

Спектры фундаментального поглощения оксогалогенидов висмута и сурьмы простого состава нами рассматривались [1, 2]. На рис. 1 показан длинноволновый край фундаментального поглощения кристаллов $PbBi_3O_4X$ и на рис. 2 — кристаллов $PbBiO_2X$ соответственно. По сравнению с кристаллами $BiOX$ [1], поглощение начинается в более длинноволновой области, следуя уменьшению ширины запрещенной зоны. Край поглощения хорошо аппроксимируется кривой Урбаха $\chi(\pi\omega) = \chi_0 e^{-\delta[(\pi\omega_0 - \pi\omega)/kT]}$ с параметром δ значения которого приведены в таблице.

ПАРАМЕТР δ В КРИСТАЛЛАХ $PbBiO_2X$ И $PbBi_3O_4X$

	$PbBiO_2Cl$	$PbBiO_2Br$	$PbBiO_2I$	$PbBi_3O_4Cl_3$	$PbBi_3O_4Br_3$	$PbBi_3O_4I_3$
δ	0,16	0,10	0,04	0,15	0,08	0,05

Рис. 1. Длинноволновый край поглощения кристаллов $PbBi_3O_4Cl_3$ (I), $PbBi_3O_4Br_3$ (II) и $PbBi_3O_4I_3$ (III) при $T = 300$ КРис. 2. Длинноволновый край поглощения кристаллов $PbBiO_2Cl$ (I), $PbBiO_2Br$ (II) и $PbBiO_2I$ (III) при $T = 300$ К

Параметр δ характеризует величину экситон-фононного взаимодействия: и в галогенидах щелочных металлов [3], и галогенидах висмута [4] он близок к единице, что говорит о том, что в этих системах в формировании спада длинноволнового поглощения участвуют акустические фононы. Значения δ из таблицы на порядок меньше, но близки к значениям δ в оксогалогенидах висмута и сурьмы простого состава [2]. Считается [3, 4], что в ионных и целом ряде ионноковалентных кристаллах на длинноволновом спаде экситонных полос проявляются оптические переходы в различные

колебательные состояния автолокализованных экситонов (АЛЭ). В отличие от ШГК в кристаллах типа BiOX автолокализация экситонов происходит благодаря автолокализации электронов, а не дырок [2]. Это приводит к резкому уменьшению эффективной массы АЛЭ и взаимодействию экситонов оптическими фононами, так что δ становится малой величиной (см. таблицу).

В кристаллах PbBiO_2X и $\text{PbBi}_3\text{O}_4\text{X}$ электронная структура АЛЭ аналогична таковой, как и в системах BiOX . Уменьшение δ в ряду $\text{Cl}-\text{Br}-\text{I}$ связано с увеличением спин-орбитального взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юров В.М., Лозинский Д.М., Кукетаев Т.А. Спектры фундаментального поглощения, фото-, термо- и рентгенолюминесценция слоистых кристаллов оксогалогенидов висмута и сурьмы // Тезисы докл. VIII Всес. совещ. ВУФ-89. Иркутск, 1989. С.64-65.
2. Юров В.М., Лозинский Д.М., Кукетаев Т.А. Автолокализованные экситоны и экситон-фононное взаимодействие в оксогалогенидах висмута и сурьмы // ФТТ, 1991. Т.33. №2. С.623-625.
3. Соболев В.В. Экситоны и зоны щелочно-галогидных кристаллов. Кишинев: Штиинца, 1984. 302 с.
4. Соболев В.В. Зоны и экситоны галогенидов металлов. Кишинев: Штиинца, 1987. 264 с.

УДК 539.19+541.27+541.6

В.П. МАЛЫШЕВ
Т. СУЛЕЙМЕНОВ
К.С. КАКЕНОВ

Свойства упругих волн в электронных расплавах и периодический закон Д.И. Менделеева

Свойства электронных расплавов, в том числе и упругие, существенно зависят от обобществленных или свободных электронов. Это очевидно, но упругость — неотъемлемое свойство материи в любом состоянии, независимо от того, имеется в материальной системе подсистема свободных электронов или нет. Это относится и к жидкому состоянию вещества. В самом деле, как указывалось в работе [1], все жидкости — и квантовые, и молекулярные, и ионные, и электронные — обладают упругостью.

Для описания скорости распространения упругих волн можно привлечь некоторые фундаментальные свойства материальных сред, такие как: масса частиц, пространство, занимаемое ими, и жесткость связей между частицами вещества [2]. Этих факторов, а именно: инерционного фактора — масса частиц, пространственного фактора — объема, приходящегося на одну частицу, фактора жесткости между частицами — сжимаемости, достаточно для общего описания поглощения и скорости распространения упругих волн. Обозначим эти факторы соответственно символами — M , V_A , β_S . Следует отметить, что при таком общем подходе нет необходимости детализировать эти факторы состоянием электронов связи, взаиморасположением частиц и т.д. Напротив, из анализа этих факторов можно составлять некоторые представления о последних.

Как известно из уравнения Лапласа, скорость упругих волн выражается следующим образом:

$$v_s^2 = \frac{1}{\beta_S \rho}, \quad (1)$$

где β_S — сжимаемость вещества; ρ — плотность.

Принимая во внимание, что $\rho = \frac{m}{V} = \frac{N_A M_A}{N_A V_A}$,

выражение (1) можно записать следующим образом:

$$v_s^2 = \frac{V_A}{\beta_S M_A}, \quad (2)$$

где N_A — число Авогадро.

Как известно из работы [3], удобно выделить один из факторов, на основе которого можно было бы проанализировать экспериментальные данные.

Адиабатическую сжимаемость β_S электронных расплавов невозможно определить независимым методом. Объем, приходящийся на одну частицу, можно рассчитать из данных объемных измерений, зная массу частиц. Но объемные измерения в высокотемпературных расплавах не всегда точны. Поэтому анализ экспериментальных данных по скорости ультразвука будем проводить на основе инерционного фактора. Перепишем уравнение (2) в виде

$$v_s^2 = \frac{1}{b_S M_A}, \quad (3)$$

где величиной $\frac{1}{b_S}$ обозначено $\frac{V_A}{\beta_S}$. Эта величина

обобщенно выражает зависимость скорости распространения упругих волн от химической связи между частицами. Таким образом, уравнение (3) устанавливает зависимость квадрата скорости распространения упругих волн отдельно от двух

величин: $\frac{1}{b_S}$ — выражающей характеристики связи

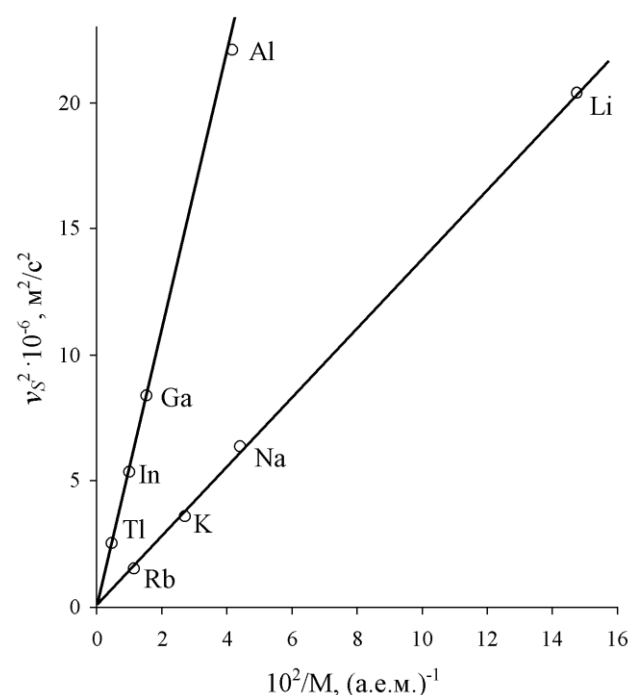
между частицами, $\frac{1}{M_A}$ — выражающей только

инерцию частиц.

Такое разделение упрощает анализ и обобщение экспериментальных данных по скорости ультразвука в расплавах простых веществ. Поскольку химическая связь между частицами в конденсированных телах определяется внешними электронными оболочками атомов, которые, в свою очередь, подчинены закону Д.И. Менделеева, то анализ и обобщение экспериментальных данных по уравнению (3) следует проводить с учетом периодического закона. Имея в виду, что внешние электронные оболочки атомов построены аналогично по группам периодической системы элементов, представлять данные в координатах $v_s^2 - \frac{1}{M_A}$ необходимо по группам периодической системы. Кроме того, значения скорости ультразвука для такого обобщения желательно брать при общих состояниях для всех простых жидкостей. В качестве такого общего состояния можно принять состояние в момент плавления.

На

рисунке представлены экспериментальные данные по скорости ультразвука из работы [3].



Зависимость v_s^2 от массы атомов некоторых простых веществ при температурах кристаллизации

Видно, что наблюдается прямая пропорциональность v_s^2 величине $\frac{1}{M_A}$ по группам периодической системы. За M_A приняты массы атомов в атомных единицах массы. Таким образом, существует четкая корреляция между параметрами упругих волн в электронных расплавах и периодическим законом Д.И. Менделеева. Это может положить начало разработке нового типа диаграмм для исследования сложных веществ, $v_s^2 - \frac{1}{M_A}$, наряду с традиционными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регель А.Р., Глазов В.М. Физические свойства электронных расплавов. М.: Наука, 1980. 296 с.
2. Регель А.Р., Глазов В.М., Ким С.Г. Акустические исследования структурных изменений при нагреве расплавов полупроводников и полуметаллов (обзор) // ФТП. Т.20, В.20. С.1353-1376.
3. Сулейменов Т. Разработка методики исследования поглощения и скорости распространения ультразвука в расплавах полупроводников и полуметаллов: Дис. ... канд. хим. наук. М., 1989. 155 с.

УДК 539.182/184

В.П. МАЛЫШЕВ
Т. СУЛЕЙМЕНОВ

О свойстве аппроксимирующего квазичастичного функционала плотности, истекающего из теоремы Вириала

Квантово-химический метод функционала плотности (ФП) является одним из мощных расчётных методов квантовой теории строения вещества [1,2], поскольку функционал плотности представляет энергию основного состояния атомной и

молекулярной системы и определяет соответствующее ей распределение плотности. ФП довольно сложен и поэтому для практического расчёта молекул обычно применяют аппроксимирующий квазичастичный функционал плотности (АКФП) в приближении

модели «желе». Согласно этой модели в работе [3], найдены выражения для псевдопотенциала обменно-корреляционного взаимодействия электронов в молекуле водорода:

$$E_Q^l(R) = E_Q^0(R) + (2\pi\hbar/2m)^2 \int \sum_{v=1}^2 (\nabla\rho'_v)^2 / \rho'_v dx - \\ - (e^2/2) \int \int \sum_{v=1}^2 \{[\rho'_v(x)\rho'_v(x)]/2(r-r')\} dx' dx' + \\ + \int \{3[(\hbar/2\pi)^2/10m](6\pi^2)^{2/3} [(\sum_{v=1}^2 \rho'_v)^{5/3} - \sum_{v=1}^2 (\rho'_v)^{5/3}] - \\ - (3e^2/4)(6/\pi)^{1/3} [(\sum_{v=1}^2 \rho)^{4/3} - \sum_{v=1}^2 (\rho'_v)^{4/3}]\} dx, \quad (1)$$

где $E_Q^0(R)$ — полная кулоновская,

электростатическая энергия, второй член учитывает неоднородность распределения электронов, третий — электростатическое взаимодействие электронов, четвёртый — кинетическую энергию системы, последний член описывает обменную энергию.

Как видно из (1), кинетическая энергия представлена как

$$\int \{3[(\hbar/2\pi)^2/10m](6\pi^2)^{2/3} [(\sum_{v=1}^2 \rho'_v)^{5/3} - \sum_{v=1}^2 (\rho'_v)^{5/3}]\} dx.$$

Выражение $(\sum_{v=1}^2 \rho'_v)^{5/3}$ означает полную

кинетическую энергию, а член $\sum_{v=1}^2 (\rho'_v)^{5/3}$ —

кинетические энергии отдельных разделенных атомов. Плотность распределения электронов представлена функциями типа Гомбаша [4]:

$$\rho'_v = N_v (\lambda^{x+1} / 4\chi!) V_v^{x-2} \exp(-\lambda V_v),$$

где N_v — число электронов в оболочке, вариационный параметр.

Полная плотность молекулы может быть представлена как суперпозиция атомных плотностей, центрированных на разных ядрах, т.е.

$$\rho = \rho_1 + \rho_2,$$

где ρ_1, ρ_2 — электронная плотность первого и второго атома. Нами при использовании данного метода для расчёта молекулы лития обнаружено, что выражение (2) в пределах точности численного эксперимента тождественно равно нулю (для упрощения записи спиновые матрицы не указаны), т.е.

$$\int (\sum_{v=1}^2 \rho_v)^{5/3} dx = \int \sum_{v=1}^2 (\rho_v)^{5/3} dx.$$

Численные результаты представлены в таблице, приведены зависимости кинетической энергии от вариационного параметра.

Как видно из таблицы, когда достигается оптимальное значение, обе части выражения (3) становятся равными. Следовательно, данное соотношение имеет силу только при выполнении теоремы Вириала, т.е. при $2E_{кин} = -U_{потенц}$.

Это указывает на линейность интегрального оператора кинетической энергии при равновесном межъядерном расстоянии. Интеграл (2) вычислен в эллипсоидальных координатах с помощью кубатурной формулы Гаусса [5]. Область интегрирования была разделена на сетку с размерностью N .

При использовании метода АКФП данное свойство ФП может быть успешно применено для проверки корректности квантово-химических расчётов.

Вариационный параметр	Кинетические энергии, Рид		Теорема вириала
λ	$\int (\sum_{v=1}^2 \rho_v)^{5/3} dx$	$\int \sum_{v=1}^2 (\rho_v)^{5/3} dx$	ΔE
0,9	11,0008	10,9807	0,802
1,0	13,6012	13,5708	0,199
1,1	16,4823	16,4609	0,077
1,2	19,6574	19,6308	0,055
1,3	23,0008	23,0009	0,001
1,4	26,8640	26,8690	0,068
1,5	29,9680	33,1078	0,157

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киржниц Д.А., Лозовик Ю.Е., Шпатковская Т.В. // УФН. 1975. Т.63. №3. С.874.
2. Гомбаш П. Статистическая теория атома и её приложения. М.: ИЛ, 1951. С.308.
3. Мулдаметов З.М., Минаев Б.Ф., Безносюк С.А. Теория электронного строения молекул (новые аспекты). Алма-Ата: Наука, 1988. 381 с.
4. Малышев В.П., Сулейменов Т., Безносюк С.А. Электронная устойчивость атомных остовов в молекулах халькогенидов // Тезисы докладов V Междунар. конф. по химии и технологии халькогенов и халькогенидов. 20-25 марта 1995г. Караганда, 1995. С.25.
5. Арфкен Г. Математические методы в физике. М.: Атомиздат, 1970. 712 с.

РЕЗЮМЕ

УДК 621.357. О.П. МУРАВЬЕВ, Г.Г. ПИВЕНЬ.
Выбор режимов обработки штоков механизированных крепей комбинированным обкатником.

Определены рациональные режимы обработки штоков механизированных крепей на основании испытаний опытного образца комбинированного обкатника.

УДК 621.791. В.Ф. ШВОЕВ. **Особенности электроконтактной обработки в жидкой среде.**

На основе анализа работ по электроконтактной обработке предлагается гипотеза о наличии низкотемпературной плазмы, которая подтверждает экспериментальными исследованиями. В результате предлагаются направления исследований по электроконтактной обработке.

УДК 621.9-529. М.Р. СИХИМБАЕВ.
Определение параметров системы автоматического управления стабилизации положения формообразующей вершины реза.

Рассматриваются вопросы определения параметров системы автоматического управления стабилизации положения формообразующей вершины реза для эффективной и стабильной работы системы при компенсации упругих отжатий в процессе механической обработки.

УДК 621.744.5. С.Б. КУЗЕМБАЕВ. **Рабочий процесс пневматической высокоскоростной прессовой головки.**

Приведена методика построения индикаторной диаграммы и анализа рабочего процесса высокоскоростной прессовой машины. Определено влияние основных параметров на процесс.

УДК 343.37. М.Р. СИХИМБАЕВ, Д.А. ИСАГУЛОВ. **Экспертиза в таможенном деле Республики Казахстан.**

Рассмотрена деятельность таможенных органов по проведению экспертизы товаров и транспортных средств. Обосновано перспективное направление нового класса экспертизы – таможенной.

УДК 621.9:658.512. В.Г. БОЯРСКИЙ, В.В. ЮРЧЕНКО. **Методика создания системы автоматизированного проектирования штампов для холодной штамповки.**

Приводится методика создания системы автоматизированного проектирования штампов для холодной штамповки.

УДК 541.1+669.168. С.Т. ГАБДУЛЛИН, Т.Д. ТАКЕНОВ, М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ, Л.В. ОСИПОВА. **К термодинамике процессов испарения марганца, свинца и цинка в условиях электротермии ферромарганца.**

Рассчитаны значения равновесного давления $Pb(r)$, $Pb_2(r)$, $Zn(r)$, $Mn(r)$, $Mn_2(r)$, обусловленного диссоциацией $PbO(тв)$, $ZnO(тв)$ и $MnO(тв)$ в атмосфере CO , а также $PbO(r)$, $MnO(r)$. Прогнозируется удаление в возгоны основной массы свинца и цинка из марганцевых руд месторождения Ушкатын III при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца.

УДК 621.74:669.15.194. А.А. СМОЛЬКИН, А.З. ИСАГУЛОВ, О.А. ШАРАЯ. **Разработка и**

ӨЖ 621.357. О.П. МУРАВЬЕВ, Г.Г. ПИВЕНЬ.
Механикаландырылған бекітпелердің штоктарын құрама жаттықтығырғышпен өңдеу режимдерін таңдау.

Құрама жаттықтығырғыштың тәжірибелік үлгісін сынау негізінде механикаландырылған бекітпелердің штоктарын өңдеудің ұтымды режимдері анықталған.

ӨЖ 621.791. В.Ф. ШВОЕВ. **Сұйық ортада электр түйіспелік өңдеудің ерекшеліктері.**

Электр түйіспелік өңдеу жұмыстарын талдау негізінде төмен температуралы плазманың бар болуы туралы болжам ұсынылады, ол эксперименттік зерттеулермен расталады. Нәтижесінде электр түйіспелік өңдеу бойынша зерттеулердің бағыттары ұсынылады.

ӨЖ 621.9-529. М.Р. СИҚЫМБАЕВ. **Кескіштің қорам жасайтын ұшының орналасуын тұрақтандыруды автоматтық басқару жүйесінің параметрлерін анықтау.**

Механикалық өңдеу процесінде серпінді қысылуын қайыру кезінде жүйенің тиімді және тұрақты жұмысы үшін кескіштің қорам жасайтын ұшының орналасуын тұрақтандыруды автоматтық басқару жүйесінің параметрлерін анықтау мәселелері қарастырылады.

ӨЖ 621.744.5. С.Б. КУЗЕМБАЕВ. **Пневматикалық жоғары жылдамдықты баспалайтын бастиектің жұмыс процесі.**

Индикаторлық диаграмманы салу және жоғары жылдамдықты баспалайтын машинаның жұмыс процесін талдау әдісі емесі келтірілген. Негізгі параметрлердің процеске әсер етуі анықталған.

ӨЖ 343.37. М.Р. СИҚЫМБАЕВ, Д.А. ИСАГУЛОВ. **Қазақстан Республикасының кеден ісіндегі сараптама.**

Тауарлар мен көлік құралдарына сараптама жүргізу бойынша кеден органдарының қызметі қарастырылған. Сараптаманың жаңа класы – кеден класының перспективасы бағыты дәлелденген.

ӨЖ 621.9:658.512. В.Г. БОЯРСКИЙ, В.В. ЮРЧЕНКО. **Суықтай қалыптауға арналған қалыптарды автоматтандырылған жобалау жүйесін жасау әдістемесі.**

Суықтай қалыптауға арналған қалыптарды автоматтандырылған жобалау жүйесін жасау әдісі емесі келтіріледі.

ӨЖ 541.1+669.168. С.Т. ГАБДУЛЛИН, Т.Д. ТАКЕНОВ, М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ, Л.В. ОСИПОВА. **Ферромарганецтің электротермиясы жағдайларында марганецтің, қорғасын мен мырыштың булану процестерінің термодинамикасына.**

$PbO(к)$, $ZnO(к)$ және CO атмосферасындағы $MnO(к)$ диссоциациясымен қамтамасыз етілген, $Pb(r)$, $Pb_2(r)$, $Zn(r)$, $Mn(r)$, $Mn_2(r)$, сондай-ақ $PbO(r)$, $MnO(r)$ тепе-тең қысымының мәндері есептелген. Жоғары көміртекті ферромарганецті балқыту кезінде Ушкатын III кен орнының марганецті рудаларынан қорғасын мен мырыштың негізгі массасын айдау болжанады.

ӨЖ 621.74:669.15.194. А.А. СМОЛЬКИН, А.З. ИСАГУЛОВ, О.А. ШАРАЯ. **Хром-никельді**

UDC 621.357. O.P. MURAVYEV, G.G. PIVEN.
Selection of Conditions of Machining Powered Support Rods by Combined Spinner.

Rational conditions of machining powered support rods have been determined on the basis of testing a combined spinner prototype.

UDC 621.791. V.F. SHVOYEV. **Special Features of Electric Resistance Machining in Liquid Medium.**

A hypothesis of presence of low-temperature plasma is suggested on the basis of analyzing works on electric resistance machining and it is proved by experimental investigations. As a result the trends of investigations on electric resistance machining are suggested.

UDC 621.9-529. M.R. SIKHIMBAYEV. **Evaluating Parameters of System of Automatic Control of Stabilizing Position of Shape-Forming Cutting Tool Tip.**

The problems of evaluating parameters of a system of automatic control of stabilizing the position of a shape-forming cutting tool tip for the effective and stable operation of the system at compensating elastic pressing in the process of machining are considered.

UDC 621.744.5. S.B. KUZEMBAYEV. **Pneumatic High-Speed Pressing Head Operation.**

The technique of constructing an indicator diagram and analyzing a high-speed pressure machine operation has been given. The main parameters influence on the operation has been determined.

UDC 343.37. M.R. SIKHIMBAYEV, D.A. ISAGULOV. **Expertise in Custom Business of Republic of Kazakhstan.**

The custom bodies' activity in carrying out an examination of goods and transport facilities has been considered. A promising trend of a new class of examining, a custom one, has been substantiated.

UDC 621.9:658.512. V.G. BOYARSKY, V.V. YURCHENKO. **Technique of Creating Computer-Aided Design System of Dies for Cold Stamping.**

The technique of creating a computer-aided system to design dies for cold stamping is given.

UDC 541.1+669.168. S.T. GABDULLIN, T.D. TAKENOV, M.Zh. TOLIMBEKOV, L.V. OSIPOVA. **To Thermodynamics of Processes of Evaporating Manganese, Lead and Zinc in Conditions of Ferromanganese Electrothermics.**

The values of $Pb(r)$, $Pb_2(r)$, $Zn(r)$, $Mn(r)$, $Mn_2(r)$ equilibrium pressure caused by dissociation of $PbO(тв)$, $ZnO(тв)$ and $MnO(тв)$ in the CO atmosphere as well as $PbO(r)$, $MnO(r)$ have been calculated. Removing into sublimates the most mass of lead and zinc from manganese ores of the Ushkatin-III deposit in smelting high-carbon ferromanganese is forecast.

UDC 621.74:669.15.194. A.A. SMOLKIN, A.Z. ISAGULOV, O.A. SHARAYA. **Developing and**

исследование способа предотвращения поверхностного науглероживания коррозионно-стойких отливок из хромоникелевых сталей.

Предложены, исследованы и внедрены способы и составы покрытий, предотвращающие поверхностное науглероживание арматурных отливок из высоколегированных сталей аустенитного класса с минимально допустимым содержанием углерода.

УДК 621.785.9:669.13. О.А. ШАРАЯ, А.А. СМОЛКИН, Л.А. ДАХНО, В.И. ШАРЫЙ. **Применение карбонитрации для упрочнения чугуна.**

Приведены результаты исследования процесса карбонитрации чугуна, применительно к изделиям, работающим в условиях трения и износа.

УДК 669.168. М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ. **Изучение особенностей режимов работы руднотермических печей при выплавке карбида кальция и углеродистого ферромарганца.**

Проведен анализ технологических режимов, электрических и геометрических параметров работы руднотермической печи при выплавке карбида кальция с целью оценки возможности перевода ее на выплавку углеродистого ферромарганца.

УДК 622.7(6). Св.С. КВОН. **Роль кристаллохимического строения магнетита в процессе его окисления.**

На базе магнетитов различного кристаллохимического строения рассмотрена кинетика процесса его окисления и изучен состав окисленного продукта.

УДК 669.018.44. С.Г. КАНУННИКОВА, Т.Ж. ЖУКЕБАЕВА, Д. ТОРБАЕВА. **Образование сетки разгара на отливках из серого чугуна в условиях термоциклирования.**

Поверхностное модифицирование и легирование отливок из серого чугуна в литейной форме позволяют значительно улучшить качество поверхностного слоя отливки за счет изменения микроструктуры чугуна. В результате этого явления изменяются и механические свойства, а также поверхностный слой отливки приобретает особые свойства. Кроме того, исследован механизм взаимодействия «активных покрытий» с заливаемым сплавом.

УДК 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ. **Магнитное поле в скважине конечных размеров. III. Однородно намагниченный пласт.**

На основе аналитического решения задачи о магнитном поле в скважине конечных размеров получены формулы для осевой и радиальной составляющих магнитного поля и их связь с размерами скважины. Результаты теории сравниваются с экспериментальными данными.

УДК 622.232.8.001.41:622.33.012. В.Ф. ДЕМИН. **Влияние горно-геологических факторов на эффективную эксплуатацию механизированных комплексов.**

Рассмотрены вопросы влияния горно-геологических факторов на эффективность работы очистных высокопроизводительных забоев для преодоления их негативного влияния. Предложены рекомендации.

УДК 622.26.002. П.П. ПАЛЕВ, Т.С. ФИЛИПОВА. **Модель высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа горных комбайнов. I часть.**

На основе анализа процесса разрезания угля резцовым инструментом и результатов экспериментальных исследований дано

болаттардан коррозиялық-төзімді құймалардың беттік көміртектенуін болдырмау тәсілін әзірлеу және зерттеу.

Құрамында ең аз рауалы көміртек бар аустениттік кластың жоғары қоспаланған болаттарынан арматуралық құймалардың беттік көміртектенуін болдырмайтын қаптаулардың тәсілдері мен құрамдары ұсынылған, зерттелген және ендірілген.

ӨЖ 621.785.9:669.13. О.А. ШАРАЯ, А.А. СМОЛКИН, Л.А. ДАХНО, В.И. ШАРЫЙ. **Шойынды беріктендіру үшін карбонитраттауды қолдану.**

Үйкелу және тозу жағдайларында жұмыс істейтін бұйымдарға қатысты, шойынды карбонитраттау процесін зерттеу нәтижелері келтірілген.

ӨЖ 669.168. М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ. **Кальций карбидін және көміртекті ферромарганецті балқыту кезінде рудатермиялық пештердің жұмыс режимдерінің ерекшеліктерін зерделеу.** Кальций карбидін балқыту кезінде оны көміртекті ферромарганецті балқытуға ауыстыру мүмкіндігін бағалау мақсатымен рудатермиялық пештің жұмысының технологиялық режимдерін, электрлік және геометриялық параметрлерін талдау жүргізілген.

ӨЖ 622.7(6). Св.С. КВОН. **Магнетиттің тотығу процесінде оның кристаллохимиялық құрылысының ролі.**

Әр түрлі кристаллохимиялық құрылысты магнетиттердің базасында оның тотығу процесінің кинетикасы қарастырылған және тотыққан өнімнің құрамы зерделенген.

ӨЖ 669.018.44. С.Г. КАНУННИКОВА, Т.Ж. ЖУКЕБАЕВА, Д. ТОРБАЕВА. **Термоциклдену жағдайларында сұр шойыннан жасалған құймаларда жоғары температуралық торламаның пайда болуы.**

Қорамдағы сұр шойыннан жасалған құймалардың беттік түрін өзгерту және қоспалау шойынның микроқұрылымын өзгерту есебінен құйманың беттік қабатының сапасын едәуір жақсартуға мүмкіндік береді. Осы құбылыстың нәтижесінде механикалық қасиеттері де өзгереді, сондай-ақ құймалардың беттік қабаты ерекше қасиеттері иеленеді. Бұдан басқа, «активті қаптаудың» құйылатын қорытпамен өзара әрекеттесу механизмі зерттелген.

ӨЖ 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ. **Шеткі өлшемдер ұңғымасындағы магнит өрісі. III. Біртекті магниттелген қабат.**

Шеткі өлшемдер ұңғымасындағы магнит өрісі туралы есепті аналитикалық шешу негізінде магнит өрісінің осьтік және радиал құраушылары үшін формулалар және олардың ұңғыма өлшемдерімен байланысы алынған. Теория нәтижелері эксперименттік деректермен салыстырылады.

ӨЖ 622.232.8.001.41:622.33.012. В.Ф. ДЕМИН. **Тау-кен-геология факторларының механикаландырылған кешендерін тиімді пайдалануға әсер етуі.**

Тау-кен-геология факторларының олардың жағымсыз әсеріне төзу үшін жоғары өнімді тазарту забойларының жұмыс істеу тиімділігіне әсер ету мәселелері қарастырылған. Ұсыныстар берілген.

ӨЖ 622.26.002. П.П. ПАЛЕВ, Т.С. ФИЛИПОВА. **Тау-кен комбайндарының атқарушы органының кескішіндегі кесу күшін жоғары жиілікті құраушының үлгісі.**

I-бөлім. Көмірді кескіш сайманмен бұзу процесін талдау

Investigating Methods of Preventing Surface Carburizing Corrosion-Resistant Castings of Chromium-Nickel Steels.

The methods and compositions of coatings preventing surface carburizing of reinforcing castings made of high-alloy austenite-class steels with the minimum allowed carbon content have been suggested, investigated and introduced.

UDC 621.785.9:669.13. O.A. SHARAYA, A.A. SMO-LKIN, L.A. DAKHNO, V.I. SHARY. **Applying Carbonitration to Harden Pig Iron.**

The results of investigating the process of carbonitration of pig iron with reference to products operating in the friction and wear conditions have been given.

UDC 669.168. M.Zh. TOLIMBEKOV. **Studying Special Features of Modes of Operation of Ore-Smelting Furnaces in Smelting Calcium Carbide and Carbon Ferromanganese.**

The analysis of the process modes, electric and geometric parameters of operation of an ore-smelting furnace in smelting calcium carbide with the aim of evaluating the possibilities of converting it into smelting carbon ferromanganese has been given.

UDC 622.7(6). Sv.S. KVON. **Role of Crystal and Chemical Structure of Magnetite in Process of its Oxidation.**

On the basis of magnetite of various crystal and chemical structure kinetics of its oxidation process has been considered and the oxidized product composition has been studied.

UDC 669.018.44. S.G. KANUNNIKOVA, T.Zh. ZHU-KEBAYEVA, D. TORBAYEVA. **Forming Erosion Mesh on Castings of Grey Cast Iron in Thermocycling Conditions.**

Surface modifying and alloying grey cast iron castings in a mould allow to improve greatly the quality of the casting surface layer at the expense of changing the cast iron microstructure. As a result of the phenomenon mechanical properties are changed, the casting surface layer acquires particular properties as well. In addition the mechanism of interacting «active castings» with the alloy cast has been studied.

UDC 550.838.08. V.S. PORTNOV. **Magnetic Field in Finite-Size Hole. III. Uniformly Magnetized Seam.**

On the basis of the analytical solution of the problem of a magnetic field in a finite-size hole the formulae for the axial and radial components of the magnetic field and their relation to the hole sizes have been obtained.

UDC 622.232.8.001.41:622.33.012. V.F. DYEMIN. **Influence of Mining Geological Factors on Effective Use of Powered Complexes.**

The problems of influencing mining geological factors on the effectiveness of operating highly-productive breakage faces to overcome their negative effect have been considered. The recommendations have been suggested.

UDC 622.26.002. P.P. PALEV, T.S. FILIPPOVA. **Model of High-Frequency Component of Cutting Force on Cutting Tool of Cutter-Loader Actuator. Part I.**

On the basis of analyzing the process of breaking coal with cutting tools and of the results of experimental studies physical and

физико-статистическое обоснование вероятностной модели усилия резания.

УДК 550.83/84(574.243). Б.Д. БИЛЯЛОВ. **Размещение промышленных сортов руд Лисаковского месторождения.** По результатам геолого-технологического картирования приведено распределение промышленных сортов руд по участкам месторождения.

УДК 622.26.002. П.П. ПАЛЕВ, Т.С. ФИЛИПОВА. **Модель высокочастотной составляющей усилия резания на резце исполнительного органа горных комбайнов. II часть.** Построена модель высокочастотной составляющей усилия резания как случайного узкополосного процесса.

УДК 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ, В.М. ЮРОВ. **Термодинамические аспекты в магнитометрии.** Рассмотрены отклик системы магнитных диполей на внешнее первичное магнитное поле в рамках статистической термодинамики. Получена связь между магнитной восприимчивостью, содержанием магнетитового железа и термодинамическим потенциалом Гиббса рудовмещающих пород. Получена связь между температурой Кюри магнитных руд и их минеральным составом. Обсуждается влияние состава минералов, других характеристик железосодержащих руд на каротаж магнитной восприимчивости.

УДК 622.454.3:622.831.325.3.016.62:622.33.012.2(477.61/.62). В.Ф. ДЕМИН. **Эффективность схем проветривания и дегазации выемочных участков.** Приведены результаты исследований по определению рациональных технологических схем проветривания и дегазации при высокопроизводительной обработке выемочных участков.

УДК 622.233.29. А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ, Н.А. ДАНИЯРОВ. **Диагностика дизельного привода самоходного горного оборудования по параметрам рабочих жидкостей.** Рассмотрены основные причины отказов дизельного привода самоходного горного оборудования. Приводятся наиболее характерные методы по анализу и диагностике неисправностей дизельных двигателей.

УДК 622.647. Т.К. БАЛГАБЕКОВ. **Влияние нагрузок на приводную систему компенсирующего устройства и решение его задачи.** Рассматриваются вопросы влияния нагрузок на привод компенсирующего устройства, его взаимодействия с элементами и переходные процессы. Определены действия прокручивающего момента в двух- и трехмассовой системе, охвачены вопросы для решения этих задач.

УДК 622.647. И.И. ТАЗАБЕКОВ. **Динамика функционирования компенсирующего устройства вертикального действия.** Рассмотрены динамические процессы, возникающие после падения крупнокускового груза на компенсирующее устройство. Определена динамическая нагрузка с учетом жесткости пневмошины, соединительного

және эксперименттік зерттеулер нәтижелерін талдау негізінде кесу күшінің ықтималдық үлгісін физика-статистикалық дәлелі берілген.

ӘОЖ 550.83/84(574.243). Б.Д. БИЛЯЛОВ. **Лисаковский кен орны рудаларының өнеркәсіптік сорттарын орналастыру.** Геология-технологиялық карталау нәтижелері бойынша кен орнының учаскелері бойынша рудалардың өнеркәсіптік сорттарының таралуы келтірілген.

ӘОЖ 622.26.002. П.П. ПАЛЕВ, Т.С. ФИЛИПОВА. **Тау-кен комбайндарының атқарушы органының кескішіндегі кесу күшін жоғары жиілікті құраушының үлгісі. II-бөлім.** Кездейсоқ тар жолақты процесс ретінде кесу күшін жоғары жиілікті құраушының моделі салынған.

ӘОЖ 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ, В.М. ЮРОВ. **Магнитометриядағы термодинамикалық аспектілер.** Магниттік дипольдер жүйесінің статистикалық термодинамика шеңберіндегі сыртқы алғашқы магниттік өріске берілген жаңғырығы қарастырылған. Магниттік қабылдағыштың, магнетит темірі құрамының және руда сыйымды жыныстардың Гиббс термодинамикалық потенциалының арасында байланыс алынған. Магнит рудаларының Кюри температурасының және олардың минералдық құрамының арасындағы байланыс алынған. Минералдар құрамының, құрамында темір бар рудалардың басқа сипаттамаларының магниттік қабылдағыштық каротажына әсер етуі талқыланады.

ӘОЖ 622.454.3:622.831.325.3.016.62:622.33.012.2(477.61/.62). В.Ф. ДЕМИН. **Алу учаскелерін желдету және газсыздандыру сұлбаларының тиімділігі.** Алу учаскелерін жоғары өнімді қазымдау кезінде желдету және газсыздандырудың ұтымды технологиялық сұлбаларын анықтау бойынша зерттеулер нәтижелері келтірілген.

ӘОЖ 622.233.29. А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ, Н.А. ДАНИЯРОВ. **Жұмыс сұйықтықтарының параметрлері бойынша өздігінен жүретін тау-кен жабдықтарының дизельді жетегін тексеру.** Өздігінен жүретін тау-кен жабдықтарының дизельді жетегінің істен шығуының негізгі себептері қарастырылған. Дизельді қозғалтқыш ардың ақаулықтары талдау және тексеру бойынша оған тән әдістер келтіріледі.

ӘОЖ 622.647. Т.К. БАЛГАБЕКОВ. **Теңгеру қондырғысының қозғалтқыш жүйесіне түсетін жүктемелердің әсерлесу түрі және оны шешу есептері.** Жүктемелердің қайырушы құрылғының жетегіне әсер ету мәселелері, оның элементтерімен өзара әрекеттесуі және өтпелі процестер қарастырылады. Бұраушы моменттің екі және үш массалы жүйедегі әрекеттері анықталған, осы есептерді шешу мәселелері қамтылған.

ӘОЖ 622.647. И.И. ТАЗАБЕКОВ. **Тік әрекетті қайырушы құрылғының жұмыс істеу динамикасы.** Ірі кесекті жүктің қайырушы құрылғыға түсуінен кейін пайда болатын динамикалық процестер қарастырылған. Пневмошинаның жалғағыш көпір мен серіппегіштің қаттылығын есепке алумен динамика жүктеме

statistical reasons of a stochastic model of cutting force is given.

UDC 550.83/84(574.243). B.D. BILYALOV. **Disposition of Commercial Grades of Ores of Lisakovsk Deposits.** The disposition of commercial grades of ores through deposit sections has been given in the result of geological and technological mapping.

UDC 622.26.002. P.P. PALEV, T.S. FILIPPOVA. **Model of High-Frequency Component of Cutting Force on Cutting Tool of Cutter-Loader Actuator. Part II.** A model of a high-frequency component of cutting force as a random narrow-strip process has been constructed.

UDC 550.838.08. V.S. PORTNOV, V.M. YUROV. **Thermodynamic Aspects in Magnetometry.** The response of a magnetic dipoles system to the external primary magnetic field within statistic thermodynamics has been considered. The relation between the magnetic susceptibility, the magnetite iron content and Gibbon thermodynamic potential of ore-containing rocks has been obtained. The relation of Curie temperature of magnetic ores and their mineral composition has been obtained. The influence of mineral composition, other features of iron-bearing ores on logging of magnetic susceptibility is being considered.

UDC 622.454.3:622.831.325.3.016.62:622.33.012.2(477.61/.62). V.F. DYEMIN. **Effectiveness of Schemes of Ventilating and Degassing Getting Sections.** The results of investigations to determine rational technological schemes of ventilating and degassing at highly productive working getting sections have been given.

UDC 622.233.29. A.Z. ZHALGASBEKOV, N.A. DANIYAROV. **Diagnosis of Diesel Drive of Self-Propelled Mining Equipment by Working Fluids Parameters.**

The main reasons of failure of a diesel drive of self-propelled mining equipment have been considered. The most characteristic methods for analysis and diagnosis of diesel engine troubles are given.

UDC 622.647. T.K. BALGABEKOV. **Influence of Loads on Drive System of Compensating Device and Solving its Task.** The problems of influencing loads on the drive of a compensating device, its interaction with elements and transient processes are considered. The effects of a motoring moment in a two- and three-mass system have been determined, the problems to solve these tasks have been considered.

UDC 622.647. I.I. TAZABEKOV. **Dynamics of Functioning Compensating Device of Vertical Action.** Dynamic processes resulting from falling a coarse-lump load on a compensating device have been considered. The dynamic load has been determined taking into account a pneumatic tyre rate, a connecting bridge and

мостика и рессор, а также исследовано поведение соединительного мостика со стволom конвейера.

анықталған, сондай-ақ жалғағыш көпірдің конвейер оқпанымен әрекеттесуі зерттелген.

springs, and the connecting bridge behaviour with a conveyor shaft has been studied as well.

УДК 622.684.001.25. М.К. ИБАТОВ. **Результаты стендовых испытаний опытных образцов каталитических нейтрализаторов отработавших газов для дизельных двигателей.**

Приводится анализ результатов стендовых испытаний опытных образцов каталитических нейтрализаторов отработавших газов дизельных двигателей с различными конструкциями разделительных решеток реакторов нейтрализаторов.

ӘОЖ 622.684.001.25. М.К. ИБАТОВ. **Дизельді қозғалтқыштарға арналған пайдаланылған газдарды каталитикалық бейтараптандырыштардың тәжірибелік үлгілерін стендік сынау нәтижелері.**

Бейтараптандырыш реакторлары бөлгіш торларының әр түрлі конструкциялары бар дизельді қозғалтқыштардың пайдаланылған газдарын каталитикалық бейтараптандырыштардың тәжірибелік үлгілерін стендік сынау нәтижелерін талдау келтірілген.

UDC 622.684.001.25. M.K. IBATOV. **Results of Bench Tests of Prototypes of Catalyst Neutralizers of Exhaust Gases for Diesel Engines.**

The analysis of the results of bench tests of prototypes of catalyst neutralizers of exhaust gases of diesel engines having various designs of separating grids of neutralizer reactors is given.

УДК 622.647:621.851.6. И.И. ТАЗАБЕКОВ, Т.К. БАЛГАБЕКОВ. **Дифференциальное уравнение многодвигательного конвейера с компенсирующим устройством.**

Рассмотрены передаточные функции компенсирующего устройства, установленного на межприводном участке. Используя известные передаточные функции и системы регулирования электроприводом конвейера, выведено дифференциальное уравнение взаимодействия данного устройства с приводными блоками цепного многоприводного конвейера.

ӘОЖ 622.647:621.851.6. И.И. ТАЗАБЕКОВ, Т.К. БАЛГАБЕКОВ. **Теңгеру қондырғысы бар көп қозғағыш конвейердің дифференциалдық теңдеуі.**

Жетек аралық учаскеде орнатылған қайырушы құрылғының берілістік функциялары қарастырылған. Белгілі берілістік функцияларды және конвейердің электр жетегін реттеу жүйесін пайдалана отырып, берілген құрылғының тізбекті көп жетекті конвейердің жетекті блок арымен өзара әрекеттесуінің дифференциал теңдеуі шығарылған.

UDC 622.647:621.851.6. I.I. TAZABEKOV, T.K. BALGABEKOV. **Differential Equation of Multi-Engine Conveyor Having Compensating Device.**

The transfer functions of a compensating device mounted on a space between drives have been considered. Using the known transfer functions and the systems of controlling a conveyor electrical drive a differential equation of interacting the given device with the drive units of a multi-drive conveyor has been derived.

УДК 621.343. В.М. СИН. **Использование программного комплекса MATLAB для расчета высоковольтных электрических сетей.**

Показаны возможности программного комплекса MATLAB при синтезе систем электроснабжения. Установлена высокая эффективность визуальных инструментов программных средств по сравнению с традиционными способами анализа режимов работы электрических сетей.

ӘОЖ 621.343. В.М. СИН. **Жоғары вольтті электр тораптарын есептеу үшін MATLAB программалық кешенін пайдалану.**

Электрмен жабдықтау жүйелерін синтездеу кезінде MATLAB программалық кешенінің мүмкіндіктері көрсетілген. Электр тораптарының жұмыс режимдерін талдаудың дәстүрлі тәсілдерімен салыстырғанда программалық құралдардың көрінетін саймандарының жоғары тиімділігі анықталған.

UDC 621.343. V.M. SIN. **Applying MATLAB Program Complex to Calculate High-Voltage Power Networks.**

The possibilities of a MATLAB program complex in synthesizing a power-supply system have been shown. The high efficiency of visual instruments of program means in comparison with the traditional ways of analyzing the operation of power networks has been stated.

УДК 621.343. Т.С. УМБЕТАЛИН. **Особенности построения переходных процессов в электроприводе с двигателем последовательного возбуждения при постоянном моменте сопротивления.**

Рассматривается методика построения переходных процессов графоаналитическим способом с учетом особенностей двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.

ӘОЖ 621.343. Т.С. УМБЕТАЛИН. **Кедергінің тұрақты моментінде тізбекті қозатын қозғалтқышы бар электр жетегіндегі өтпелі процестерді құру ерекшеліктері.**

Тізбекті қозатын тұрақты ток қозғалтқыштарының ерекшеліктерін есепке алумен графика-аналитикалық тәсілмен өтпелі процестерді құру әдістемесі қарастырылады.

UDC 621.343. T.S. UMBETALIN. **Peculiarities of Constructing Transient Processes in Electric Drive with Motor of Series Excitation at Constant Moment of Resistance.**

The methods of constructing transient processes with a graphical-and-analytical method taking into account the peculiarities of a d.c. motor of series excitation are considered.

УДК 681.323:697.34. Н.И. КАРАСЕВ, А.Б. КРИЦКИЙ, Н.И. ТОМИЛОВА, Г.Н. ЦОК. **Анализ архитектурных моделей программных компонентов в информационных технологиях АСУ ТП сферы эксплуатации больших теплоснабжающих систем.**

Выполнен системный анализ энергетики как объекта информатизации и детализированы архитектурные решения построения автоматизированной системы управления технологическими процессами больших теплоснабжающих систем мегаполисов.

ӘОЖ 681.323:697.34. Н.И. КАРАСЕВ, А.Б. КРИЦКИЙ, Н.И. ТОМИЛОВА, Г.Н. ЦОК. **Жылумен қамтитын үлкен жүйелерді пайдалану сферасының ТП БАЖ ақпараттық технологияларындағы программалық компоненттердің сәулеттік үлгілерін талдау.**

Ақпараттандыру объектісі ретінде энергетиканы жүйелі талдау орындалған және мегаполистерді жылумен қамтитын үлкен жүйелердің технологиялық процестерін басқарудың автоматтандырылған жүйесін салудың сәулеттік шешімдері нақтыланған.

UDC 681.323:697.34. N.I. KARASYEV, A.B. KRITSKY, N.I. TOMILOVA, G.N. TSOK. **Analysis of Architectural Models of Program Components in TP ACS Information Technologies in Field of Using Large Heat Supplying Systems.**

The system analysis of the power industry as an object of informatization has been carried out, and the architectural solutions of constructing a computer-aided system of controlling processes of large heat supplying systems of cities have been presented in details.

УДК 534.86. Т.С. УМБЕТАЛИН. **Методика неразрушающего контроля работоспособности многоцелевого манипулятора МЦМ.**

Приводится методика неразрушающего контроля работоспособности многоцелевого манипулятора МЦМ, позволяющая эффективно проводить оценку прочности и работоспособности как отдельных узлов, так и всей конструкции манипулятора.

ӘОЖ 534.86. Т.С. УМБЕТАЛИН. **МЦМ көп мақсатты манипулятордың жұмысқа қабілеттігін бұзбай бақылау әдістемесі.**

Жеке тораптардың да, манипулятордың барлық конструкциясының да беріктігі мен жұмысқа қабілеттігін бағалауды тиімді жүргізуге мүмкіндік беретін, МЦМ көп мақсатты манипулятордың жұмысқа қабілеттігін бұзбай бақылау әдістемесі келтіріледі.

UDC 534.86. T.S. UMBETALIN. **Methods of Non-Destructive Monitoring of Serviceability of MTsM Multipurpose Manipulator.**

The methods of non-destructive monitoring of the serviceability of a MTsM multipurpose manipulator are given. It allows to evaluate effectively the strength and serviceability both of separate units and the whole manipulator structure.

УДК 621.3.083.92. Г.Д. КОГАЙ, Т.Л. ТЕ. **Схема функционирования многомерной системы телемеханики.**

Рассмотрена структурная схема трехмерной системы телемеханики на основе трехмерных и линейных распределителей.

ӘОЖ 621.3.083.92. Г.Д. КОГАЙ, Т.Л. ТЕ. **Телемеханиканың көп шамалы жүйесінің жұмыс істеу сұлбасы.**

Үш шамалы және сызықтық таратқыш арнегізінде телемеханиканың үш шамалы жүйесінің құрылымдық сұлбасы қарастырылған.

UDC 621.3.083.92. G.D. KOGAY, T.L. TYE. **Diagram of Functioning Multivariable System of Teleautomatics.**

A block diagram of a three-dimensional system of teleautomatics on the basis of three-dimensional and linear distributors has been

Положительный эффект достигается за счёт выполнения обычного распределителя импульсов в виде многомерного распределителя импульсов (МРИ), а также введением в передающем и приёмном подкомплексе счётчика-дешифратора составных МРИ, анализатора ситуаций, блока управления линейными и комбинированными распределителями, что позволяет телемеханизировать большое число объектов телемеханизации (10^7-10^8).

UDC 681.3:62-52. Д.Ф. СЕЛИВАНОВ. **Структура автоматизированной системы обучения компьютерного тренажерного комплекса.** Рассматриваются структурная схема и основные свойства автоматизированной обучающей системы.

UDC 62-519:681.3:004.4. О.А. КАН, Д.О. КАН. **Повышение помехоустойчивости передачи дискретных сигналов.** Предложен способ передачи дискретных сигналов, значительно повышающий помехоустойчивость в условиях флуктуационных и импульсных помех. На передающем устройстве формируют только сигналы «единиц» первого, второго и последующих разрядов передаваемого кода, что повышает скорость передачи двоичных кодов. Проведен сравнительный анализ энергии ищеских критериев помехоустойчивости частотного и предложенного кодов.

UDC 519.866. А.У. ШИНТЕМИРОВА. **К вопросу моделирования процесса планирования и управления бюджетом.** Рассмотрены вопросы моделирования процесса планирования и управления потоками финансовых средств в бюджете. Разработана модель оценки приоритетности статей бюджета и выведены расчеты степени их приоритета.

UDC 622.7. Н.К. ОМАРОВА, А.С. ЖАКУПОВА. **Удаление хлорита и серицита из сульфидных концентратов.** Разработана схема удаления из коллективного свинцово-цинково-медного концентрата легкофлотующихся силикатов: хлорита и серицита.

UDC 541.128. Т.Н. НАЛИБАЕВ. **Влияние технологии активации скелетного никеля на удельную, активную поверхность кристаллов хемосорбированных легких атомов водорода и кислорода.** Найдена зависимость технологии приготовления скелетных катализаторов никеля с концентрацией применяемых растворов КОН и температур. Низкотемпературная активация оказывает положительное влияние при приготовлении активных катализаторов с высокой дисперсностью ($\sim 25 \text{ \AA}$) для гидрогенизационных процессов.

UDC 539.2. К.Р. КУРБАНОВ, В.М. ЮРОВ. **Экситон-фононное взаимодействие в кристаллах оксогалогенидов висмута сложного состава.** Синтезированы кристаллы оксогалогенидов висмута сложного состава. Исследован край фундаментального поглощения и параметра экситон-фононного взаимодействия в этих кристаллах.

UDC 539.19+541.27+541.6. В.П. МАЛЫШЕВ, Т. СУЛЕЙМЕНОВ, К.С. КАКЕНОВ. **Свойства упругих волн в электронных расплавах и периодический закон Д.И. Менделеева.** Найдена корреляция между параметрами упругих волн в электронных расплавах и периодическим законом Д.И. Менделеева. Это позволяет положить начало разработкам диаграмм нового типа $v_s^2 - \frac{1}{M_A}$ для исследования сложных

Импульсарды көп шамалы таратқыш (ИКТ) түрінде импульсарды кәдімгі таратқышты орындау есебінен, сондай-ақ беруші және қабылдаушы жартылай жинаққа ИКТ күйлерін есептегіш-дешифраторды, жағдайды талдағышты, сызықтық және құрама таратқыштарды басқару блогын енгізумен оң нәтижеге қол жеткізеді, бұл телемеханизация объектілерінің үлкен санын телемеханикаландыруға мүмкіндік береді (10^7-10^8).

ӨЖ 681.3:62-52. Д.Ф. СЕЛИВАНОВ. **Компьютерлік жаттықтыру кешенін автоматтандырылған оқыту жүйесінің құрылымы.** Автоматтандырылған оқыту жүйесінің құрылымдық құрамы мен нәтиже қорытындылары берілген.

ӨЖ 62-519:681.3:004.4. О.А. КАН, Д.О. КАН. **Дискретті сигналдар берілісінің бөгетке тұрақтылығын арттыру.** Флуктуациялық және импульстік бөгеттер жағдайларында бөгетке тұрақтылықты едәуір арттыратын, дискреттік сигналдарды беру тәсілі ұсынылған. Беруші құрылымында берілетін кодтың тек бірінші, екінші және кейінгі разрядтары «бірліктің» сигналдарын ғана қалыптастырады, бұл қосарлы кодтарды беру жылдамдығын арттырады. Жілікті және ұсынылған кодтардың бөгетке тұрақтылығының энергетикалық критерийлерін салыстырмалы талдау жүргізілген.

ӨЖ 519.866. А.У. ШИНТЕМИРОВА. **Бюджетті жоспарлау және басқару процесін модельдеу мәселесіне.** Бюджеттің қаражат құралдарының тақырын жоспарлау және басқару процесін модельдеу мәселелері қарастырылған. Бюджет баптарының басымдығын бағалау моделі әзірленген және олардың басым дәрежесінің есептелуі шығарылған.

ӨЖ 622.7. Н.К. ОМАРОВА, А.С. ЖАҚЫПОВА. **Сульфидті концентраттардан хлорит пен серицитті жою.** Ұжымдық қорғасын-мырыш-мыс концентратынан оңай флотацияланатын силикаттар: хлорит пен серицитті жою құрамы әзірленген.

ӨЖ 541.128. Т.Н. НАЛИБАЕВ. **Скелеттік никельді активтендіру технологиясының сутек пен оттектің хемосорбцияланған жеңіл атомдары кристалдарының меншікті, активті бетінде әсер етуі.** КОН қолданылатын ерітінділерін шоғырландырумен никельдің скелеттік катализаторларын жасау технологиясымен температураның тәуелділігі талданған. Төмен температуралы активтендіру гидрогенизациялық процесер үшін жоғары дисперсті ($\sim 25 \text{ \AA}$) активті катализаторларды дайындау кезінде оң әсер етеді.

ӨЖ 539.2. К.Р. ҚҰРБАНОВ, В.М. ЮРОВ. **Күрделі құрамды висмут оксогалогенидтерінің кристалдарындағы экситон-фонондық өзара әрекеттесу.** Күрделі құрамды висмут оксогалогенидтерінің кристалдары синтезделген. Маңызды сипаттардың және осы кристалдардағы экситон-фонондық өзара әрекеттесу параметрінің бір бөлігі зерттелген.

ӨЖ 539.19+541.27+541.6. В.П. МАЛЫШЕВ, Т. СУЛЕЙМЕНОВ, К.С. КАКЕНОВ. **Электрондық балқымалардағы серпінді толқындардың қасиеттері және Д.И. Менделеевтің периодтық заңы.** Электрондық балқымалардағы серпінді толқындардың параметрлері мен Д.И. Менделеевтің периодтық заңының ара-қатынасы корреляция табылған. Бұл дәстүрлі типтермен қатар күрделі заттарды

considered. The positive effect is reached at the expense of making a conventional pulse distributor in the form of a multivariable pulse distributor (MPD) and by introducing an MPD state counter-decoder into a transmitter and receiver subset, a situation analyzer, a control unit of linear and combined distributors as well, which allows to telemechanize a larger number of objects of telemechanization (10^7-10^8).

UDC 681.3:62-52. D.F. SELIVANOV. **Structure of Computer-Aided Teaching System of Computer Training Complex.** The block diagram and the main properties of a computer-aided teaching system are considered.

UDC 62-519:681.3:004.4. O.A. KAN, D.O. KAN. **Increasing Performance in Terms of Error Probability of Transmitting Discrete Signals.** The way of transmitting discrete signals considerably increasing the performance in terms of error probability in the conditions of fluctuation and impulse noise has been suggested. Only the signals of ones of the first, second and following digits of the code transmitted are formed on the rate of transmitting binary codes. A comparative analysis of power criteria of the performance in terms of error probability of the frequency code and the one suggested has been carried out.

UDC 519.866. A.U. SHINTEMIROVA. **To Problem of Simulating Process of Planning and Managing Budget.** The problems of simulating the process of planning and managing the budget fund flows have been considered. A model of evaluating the priority of items in the budget has been developed, and the calculations of the degree of their priority have been deduced.

UDC 622.7. N.K. O.MAROVA, A.S. ZHAKUPOVA. **Withdrawing Chlorite and Sericite out of Sulphide Concentrates.** A scheme of withdrawing easily-floating silicates: chlorite and sericite out of a collective lead-and-zinc-and-copper concentrate has been worked out.

UDC 541.128. T.N. NALIBAYEV. **Influencing Production Process on Active Surface of Crystals of Chemisorbed Light Atoms of Hydrogen and Oxygen.** The dependence of the process of producing skeleton nickel catalysts on the concentration of the potassium hydroxide solutions applied and the temperature has been found. The low-temperature activation influences positively in producing active catalysts having high dispersivity ($\sim 25 \text{ \AA}$) for the hydrogenation process.

UDC 539.2. K.R. KURBANOV, V.M. YUROV. **Exciton Phonon Interaction in Crystals of Bismuth Oxohalogenids of Compound Composition.** Crystals of bismuth oxohalogenids of a compound composition have been synthesized. The boundary of fundamental absorption and of the parameter of exciton phonon interaction in these crystals has been studied.

UDC 539.19+541.27+541.6. V.P. MALYSHEV, T. SULEIMENOV, K.S. KAKENOV. **Properties of Elastic Waves in Electron Melts and D.I. Mendeleev's Periodic Law.** The correlation of the parameters of elastic waves in electron melts and D.I. Mendeleev's Periodic Law has been found. It will allow to begin developing diagrams of a new type $v_s^2 - \frac{1}{M_A}$ to investigate composite substances

веществ наряду с традиционными.

УДК 539.182/184. В.П. МАЛЫШЕВ, Т. СУЛЕЙМЕНОВ. **О свойстве аппроксимирующего квазичастичного функционала плотности, истекающего из теоремы Вириала.**

Установлена линейность интегрального оператора кинетической энергии при равновесном межъядерном расстоянии. Интеграл вычислен в эллипсоидальных координатах с помощью кубатурной формулы Гаусса.

При использовании метода аппроксимирующего квазичастичного функционала плотности найденное свойство функционала плотности может быть успешно применено для проверки корректности квантово-химических расчётов.

зерттеу үшін $v_s^2 - \frac{1}{M_A}$ және типті диаграммаларды

азірлеуге бастама салуға мүмкіндік береді.

ӨЖ 539.182/184. В.П. МАЛЫШЕВ, Т. СУЛЕЙМЕНОВ. **Вириал теоремасынан шығатын тығыздықтың аппроксимациялайтын квази-жартылай функционалының қасиеті туралы.**

Тең салмақты ядроларлық ара қашықтықтағы кинетикалық энергияның интегралдық операторының сызғыштығы белгіленген. Интеграл Гаусстың кубатуралық формуласының негізінде эллипсоидтық координаталарда есеп шығарылған.

Тығыздықтың аппроксимациялайтын квази-жартылай функционалының әдісін пайдалану кезінде тығыздық функционалының табылған қасиеті тексеру үшін табысты қолданылуы мүмкін.

together with traditional ones.

UDC 539.182/184. V.P. MALISHEV, T. SULEIME-NOV. **About Properties of Approximating Quasi-Particle Functional of Density Coming from Virial Theorem.**

The linearity of an integral operator of kinetic energy at the equilibrium inter-nuclei distance has been stated. The integral has been calculated in ellipsoidal coordinates by means of Gauss volumetric formula.

In using the method of approximating quasi-particle functional of density the density functional property found can be successfully used to check the correctness of quantum chemical calculations.

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА. 2003. №2. 101 с.

№ 1351-ж тіркеу куәлігін 2000 жылдың 4 шілдесінде Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігі берген

Регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 года выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Бас редактор — Главный редактор

Г.Г. Пивень

Жауапты редактор — Ответственный редактор

А.З. Исагулов

Әдеби редакторлар — Литературные редакторы

Т.В. Рустемова, Р.С. Искакова, Б.А. Асылбекова, Қ.Ә. Үйсін

Аудармашылар — Переводчики

А.С. Қордабаева, Л.В. Евдокимова

Компьютерлік ажарлау және беттеу — Компьютерный дизайн и верстка

М.М. Утебаев

Басуға қол қойылды	25.06.2003	Подписано к печати
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, ес.б.т.	15,7	Объем, п.л.
Таралымы	500	Тираж
Тапсырыс	2737	Заказ
Индексі	75857	Индекс
Келісімді баға		Цена договорная

Редакцияның мекен-жайы — Адрес редакции

470075, г. Караганда, бульвар Мира, 56. Издательство КарГТУ