

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

✻ 4 (25)
2006

2000 жылдан бастап шығарылады
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года
Периодичность 4 раза в год

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

МЕНШІК ИЕСІ

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

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

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)
Ахметжанов Б.А.	зав. кафедрой экономики предприятия, академик МЭАЕ, д-р экон. наук, проф.
Байджанов Д.О.	декан инженерно-строительного факультета, академик МАИН, д-р техн. 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, академик НАН РК, д-р геол.-минер. наук
Жадрасинов Н.Т.	зав. кафедрой теоретической механики, академик МАИН, чл.-кор. НИА РК, д-р техн. наук, проф.
Жумасултанов А.Ж.	профессор кафедры социально-гуманитарных дисциплин, д-р ист. наук
Исагулов А.З.	первый проректор, академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.
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.	председатель Аэрокосмического комитета МОН РК, 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. (ответственный за выпуск)
Палев П.П.	профессор кафедры теоретической механики, д-р техн. наук
Сагинов А.С.	академик НАН РК, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.
Смирнов Ю.М.	зав. кафедрой физики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.
Тутанов С.К.	зав. кафедрой высшей математики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.
Фешин Б.Н.	декан электромеханического факультета, академик МАИН, д-р техн. наук, проф. (ответственный секретарь)
Хамимолда Б.Ж.	проректор по воспитательной работе, чл.-кор. АМР РК, д-р техн. наук, проф.
Яворский В.В.	зав. кафедрой автоматизированных информационных систем, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	5
ШПАК А.В. Оценка качества использования аудиторного фонда вуза на основе нечеткого моделирования.....	5
НҰҒЫМАН А.М. Сапалы оқыту негіздері және оның бастапқы шарттары	7
УТЕГУЛОВ Б.Б., ГОВОРУН В.Ф., ГОВОРУН О.В. Требования к выпускнику вуза в эпоху внедрения новой техники и современных передовых технологий	9
КАН О.А., САДАНОВА Б.М. Способы формирования вопросов и ввода ответов в АОС	11
КОГАЙ Г.Д., НУРГУЖИНА А.М., КЕСАРЕВА Э.Г., ЯВОРСКАЯ Г.М. Средства и методы организации дистанционного обучения.....	12
КОЖАХМЕТОВА А.К., УМБЕТАЛИЕВА У.Л. Методика комбинированного применения аналитических и численных способов при выполнении расчетно-графических заданий по теоретической механике.....	14
 РАЗДЕЛ 2. ГЕОТЕХНОЛОГИИ	 18
БОЛОТКИН С.Н., СУДАРИКОВ А.Е. Расчет шахтных статически неопределимых крепей без использования методов сил или перемещений.....	18
ПУЗЕЕВА М.П., ПОРТНОВ В.С., ЮРОВ В.М. Влияние давления и температуры на удельное сопротивление осадочных горных пород.....	19
ЕГОРИНА А.В. Высотная поясность Юго-Западного Алтая и особенности структуры барьерных ландшафтов	21
ОЖИГИНА С.Б., ДОЛГОНОСОВ В.Н., ОЖИГИН С.Г. Исследование закона распределения коэффициента запаса устойчивости	25
ХАМИМОЛДА Б.Ж., ТУТАНОВ М.С., ТУТАНОВА М.С. Исследование устойчивости бортов карьеров с учетом их напряженно-деформированного состояния	27
БАРУЛИН А.И., РАХИМОВ З.Р. Оценка устойчивости откосов слабых горных пород методом конечных элементов.....	29
ЗЕЙНУЛЛИН А.А., ЖАКЕНОВ А.Г., ЖУКОВ Г.И. Нейтрализация отработавших газов дизелей.....	34
БЕКМУХАМЕТОВА З.А. Особенности формирования и рудогенеза офиолитовых плутонов кемпирсайского комплекса и их перспективы на промышленные руды хромитов, титаномагнетитов и платиноидов	36
ЖОЛМАҒАМБЕТОВ Н.Р. Аспирациялық жүйенің құбырында тұнып қалған шаңды сығылған ауаның көмегімен үрлеу	42
ДЕМИН В.Ф., ТУЛЕПОВ Н.Н., ДЕМИН В.В. Обоснование эффективного способа охраны выемочных выработок при обработке маломощных пластов.....	44
 РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬСТВО. ТРАНСПОРТ. МЕТАЛЛУРГИЯ. МАШИНОСТРОЕНИЕ.....	 49
КАСИМОВ А.Т. Уточненные теории расчета многослойных конструкций.....	49
СӘРСЕМБАЕВ Т.У., ҚОҢЫРОВА Ж.Ә. Тасымалдаудың гравитациялық тәсілінің ұтымды параметрлерін анықтау.....	51
БАКИРОВ Ж.Б., ТАЖЕНОВА Г.Д. Динамика привода с упругой муфтой	54
ФИЛИППОВА Т.С., ПАЛЕВ П.П. Определение погрешности передаточного отношения передач, содержащих планетарные механизмы	56
ИБРАЕВ И.К. Разработка состава стали для глубокой вытяжки	59
МУХАМАДЕЕВА Р.М. Особенности финишной обработки отверстий.....	62
АКАНОВ Х.Г. К оптимизации конструкций зубчатых редукторов.....	65

МУЗДЫБАЕВ М.С. Блочно-модульный принцип конструирования и компоновки агрегатов машин.....	68
СОКОТУЩЕНКО В.Н., ТАЛАЛАЕВ Д.И., ЧИКУЛАЕВ А.В. Влияние температуры на образование пластической зоны в окрестности глухих отверстий при обработке лучом лазера.....	72

РАЗДЕЛ 4. ЭНЕРГЕТИКА. АВТОМАТИКА. УПРАВЛЕНИЕ 75

ЖЕТЕСОВА Г.С., САРТАБАЕВ Ж.Т. Достоинства и недостатки при внедрении стандартов серии МС ИСО 9000:2000	75
МАКАРЕНКО Н.В. Границы устойчивости электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности.....	77
БРЕЙДО И.В., СИВЯКОВА Г.А. Структурная оптимизация электроприводов камер башенной печи агрегата непрерывного отжига.....	78
ЭМ Г.А. Экспериментальный стенд для исследования четырехквadrантного тиристорного электропривода	81
АВДЕЕВ Л.А., ШАТОХИН В.Н., БРАТЦЕВ С.А. К вопросу автоматического распознавания предаварийных ситуаций	84
МУСТАФИН М.А. Математическая модель и программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода центробежных механизмов.....	86
БЕЙСЕНБИ М.А., ЕРЖАНОВ Б.А., САБИТОВА С.М. Построение системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для объектов с m входами и с одним выходом	89

РЕЗЮМЕ 93

Правила оформления и представления статей 98

УДК 658.562

А.В. ШПАК

Оценка качества использования аудиторного фонда вуза на основе нечеткого моделирования

«Поставив перед собой стратегическую задачу — в ближайшие 10 лет вывести страну в число 50-ти наиболее конкурентоспособных стран мира, мы должны внимательно отслеживать глобальные тенденции развития науки и технологий, развития образования... Центральным звеном реформы системы образования должно стать всеобъемлющее внедрение современных информационных технологий», — отметил в своей лекции в ЕНУ им. Л.Н. Гумилева Президент РК Н.А. Назарбаев. Внедрение в систему образования новых информационных технологий как для обучения, так и для управления учебным процессом — одна из важнейших поставленных Президентом РК задач.

Развитие интернет-технологий, их широкое внедрение в ведущих университетах Казахстана создают необходимые предпосылки для создания информационно-аналитических систем управления ресурсами вуза. В современных условиях внедрения кредитной и дистанционной технологий обучения в вузах, параллельно с традиционными, одним из проблемных направлений является управление аудиторными ресурсами.

Необходимо отметить, что отличительной особенностью понятия «качественного использования

аудиторных ресурсов» является то, что иногда эффективное их использование с экономической точки зрения может идти вразрез с основным назначением данного вида ресурсов — обеспечением качественного учебного процесса.

Для моделирования оценки качества использования аудиторного фонда лекционные аудитории целесообразно кластеризовать по критерию вместимости, причем кластер i включает в себя множество ψ_i лекционно-практических аудиторий:

$$\psi_i = \{a | (a \in A) \wedge (i \cdot G \leq V(a) < (i+1) \cdot G)\}, \quad (1)$$

число кластеров n определяется по формуле:

$$n = \left\lceil \frac{\max_{a_k \in A} \{V(a_k)\}}{G} \right\rceil, \quad (2)$$

где A — множество всех лекционно-практических аудиторий;

G — максимальное число студентов в одной учебной группе;

$V(a_k)$ — вместимость аудитории a_k .

С учетом знаний экспертов, санитарно-гигиенических требований к аудиторному фонду и организации учебного процесса была выделена система факторов,

влияющих на качество использования различных кластеров аудиторий.

Качество использования аудитории за определённый период времени зависит от доли времени простоя аудитории (окон), перегруженности и недостаточной загруженности в суммарном времени её эксплуатации.

Загруженность Z_j аудитории a_k кластера i на паре j определяется по формуле

$$Z_j(a_k) = \frac{St_j}{V(a_k)}, \quad (3)$$

где St_j — количество студентов, занимавшихся в аудитории на паре j .

Функции перегруженности, недостаточной загруженности, простоя аудитории a_k кластера i на паре j имеют вид:

$$\text{sign}_{1j}(a_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } Z_j(a_k) > H_{ir}, \\ 0, & \text{если } Z_j(a_k) \leq H_{ir}, \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{sign}_{2j}(a_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < Z_j(a_k) \leq H_{il}, \\ 0, & \text{если } Z_j(a_k) > H_{il}, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{sign}_{3j}(a_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } Z_j(a_k) = 0, \\ 0, & \text{если } Z_j(a_k) = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где H_{ir}, H_{il} — эмпирические коэффициенты.

Определим функцию S выявления соответствующих видов нерационального использования ($q=1,2,3$) аудитории a_k кластера i за период T_i в виде:

$$S_{qi}(a_k) = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{j=1}^m \text{sign}_{qj}(a_k) \leq m_{qi}, \\ \sum_{j=1}^m \text{sign}_{qj}(a_k), & \text{если } \sum_{j=1}^m \text{sign}_{qj}(a_k) > m_{qi}, \end{cases} \quad (7)$$

где m_{qi} — эмпирические коэффициенты, соответствующие предельно допустимым значениям времени видов q нерационального использования аудиторий кластера i в общем периоде эксплуатации аудиторий T_i .

Определим множество степени проявления видов нерационального использования аудитории $Y^* = \{y_1^*, y_2^*, y_3^*\}$ через отображение $\mu_{y^*}: Y \rightarrow [0, 1]$, где $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ — множество видов нерационального использования аудитории (перегруженность, недостаточная загруженность, простои).

Функция оценки степени проявления видов нерационального использования ($q=1,2,3$) аудитории a_k кластера i за период T_i имеет вид:

$$y_{qi}^*(a_k) = \frac{S_{qi}(a_k)}{m_i}, \quad (8)$$

где m_i — общее количество пар эксплуатации аудитории кластера i за период T_i .

Пусть в общем случае полное пространство предпосылок $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ — причины, полное пространство заключений $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ — виды нерационального использования аудиторий. Пусть R_{ij}, X_i^*, Y_j^* — тезисы: R_{ij} — причина x_i влечет

нерациональное использование вида y_j ; X_i^* — наличие фактора i , Y_j^* — наблюдается нерациональное использование вида j .

Введем матрицу отношений $R = [r_{ij}]$ $i=1 \dots m; j=1 \dots n$, для каждого r_{ij} как для нечеткого множества первого рода [1] введем меру причинных отношений в виде рационального числа в $[0; 1]$. При этом указанные выше состояния можно рассматривать как состояния нечеткой системы (рис. 1).

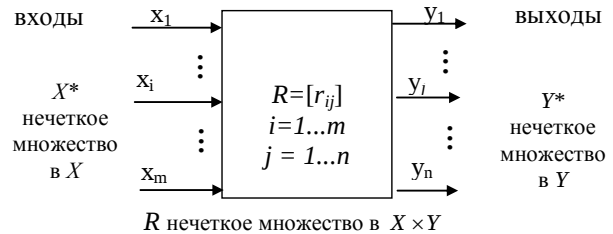


Рис. 1. Состояния нечеткой системы

Конкретные причины (входы) и виды нерационального использования аудиторий (выходы) можно рассматривать как нечеткие множества X_i^* и Y_j^* на пространстве $X \times Y$.

Формализуем задачу определения причин нерационального использования аудиторий. Обозначим отношения этих множеств как

$$Y^* = X^* \cdot R. \quad (9)$$

Знак « $\cdot$ » — правило композиции нечетких выводов, при этом направление выводов является обратным по отношению к направлению выводов для правил.

Равенство (9) можно представить в матричной форме, где в качестве правила композиции используется композиция максимум-минимум, что можно рассматривать как моделирование с помощью системы уравнений первого порядка, если заменить операции сложение на максимум, а умножение на минимум.

$$\begin{cases} y_1^* = (x_1^* \wedge r_{11}) \vee (x_2^* \wedge r_{21}) \vee \dots \vee (x_m^* \wedge r_{m1}), \\ \vdots \\ y_n^* = (x_1^* \wedge r_{1n}) \vee (x_2^* \wedge r_{2n}) \vee \dots \vee (x_m^* \wedge r_{mn}). \end{cases} \quad (10)$$

R идентифицируется по знаниям экспертов, наблюдаются выходы Y_j^* (виды нерационального использования аудиторий) и определяются входы X_i^* (причины). Числовые значения множества Y_j^* определяются из математической модели оценки качества использования аудиторного фонда вуза (8).

Согласно результатам экспертного опроса, пространство заключений Y для всех вузов независимо от топологии аудиторного фонда состоит из трёх видов нерационального использования аудиторий: перегруженность, недостаточная загруженность и простои. Полное пространство предпосылок X зависит от топологии аудиторного фонда конкретного вуза, например, для СКГУ выделено 9 причин: избыток аудиторий данной вместимости, узкая целевая направленность, наличие малокомплектных групп и т.д.

На основе описанных выше моделей для возможности создания интеллектуальной системы оценки и повышения качества использования аудиторного фонда создана продукционная модель представления знаний, при помощи которой можно автоматизировать оценку качества использования аудиторного фонда и генерирование рекомендаций по повышению качества его использования.

Общий вид продукций модели оценки качества использования аудиторного фонда кластера i приведен ниже:

1. ЕСЛИ $((\text{"}\hat{e}\hat{e}\hat{a}\hat{n}\hat{o}\hat{d}\hat{a}\hat{d}\text{"} = i) \wedge (y_{1i}^* = 0) \wedge ((y_{2i}^* + y_{3i}^*) \leq \text{const}_i))$,
ТО «используется рационально»
2. ЕСЛИ $((\text{"}\hat{e}\hat{e}\hat{a}\hat{n}\hat{o}\hat{d}\hat{a}\hat{d}\text{"} = i) \wedge ((y_{1i}^* > 0) \vee ((y_{2i}^* + y_{3i}^*) > \text{const}_i)))$,
ТО «используется нерационально» И Y^* .

Общий вид продукций модели повышения качества аудиторного фонда для аудиторий кластера i вместимости n имеет вид:

$$\text{ЕСЛИ } (x_j \wedge \dots \wedge x_i), \text{ ТО } (s_k \wedge \dots \wedge s_m),$$

где X — множество причин нерационального использования; $x_i \in X$,

S — множество рекомендаций; $s_i \in S$.

Так как решение желательно получать в форме лингвистических значений, была разработана модель с лингвистическим представлением.

Модель процесса оценки (рис. 2) строится из следующих блоков [2]: блока словаря, устанавливающего соответствие между описаниями и нечеткими числами; блока оценки, который состоит из нечетких оценочных функций, определяющих нечеткое число оценки объекта на основе нечетких чисел оценок

атрибутов; блока лингвистической аппроксимации [3], который определяет адекватное лингвистическое представление путём сопоставления словаря и нечеткой оценки.



Рис. 2. Структура оценки с лингвистическим представлением

Функции принадлежности лингвистических значений [3] изображены на рис. 3.

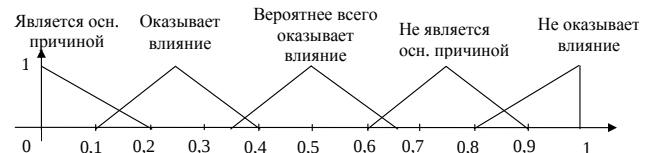


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистических значений

Достоинством описанной в статье нечеткой модели является то, что в процессе выявления новых знаний интеллектуальная система, построенная на ее основе, легко может пополняться этими знаниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Ивай и др.; Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэна. М.: Мир, 1993. 368с.
2. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М., 1981.
3. Гусаков В.П., Шпак А.В. Построение интеллектуальной системы управления аудиторным фондом на основе лингвистической модели // Материалы Международной научно-практической конференции. Т.3. Петропавловск: СКГУ, 2002.

ЭОЖ 22.21 я 73

А.М. НУҒЫМАН

Сапалы білім берудің негіздері мен алғы шарттары

Жаңа оқу технологиясына сәйкес жоғары квалификациялы мамандар даярлаудың үш деңгейде (бакалавриат, магистратура, докторантура) орындалуы, дамыта оқыту тәсіліне қатысты ғылыми көзқарасты мұқият енгізуді талап етеді. Осыған орай, жоғарғы оқу орындарындағы білім берудің бірінші сатысы бакалаврлық оқу бағдарламаларының біршама реттеліп қалғанын айтуға болады. Сонымен қатар, аталған оқу бағдарламаларына арналған оқулықтар жетіспейтіні де белгілі жағдай. Қолданыстағы оқулықтардың басым көпшілігі ескі жүйеде жазылған, ал қазақ тіліндегі оқулықтар негізінен аударма мөлшерінде және жатық тілде жазылмағандары өз алдына ашық мәселелер деп түйіндеуге тура келеді.

Оқыту сапасын жетілдірудің әдістемелік жолдарын іздеу, мемлекеттік тілдің өрісін кеңейту және ғылыми тілді қалыптастыру оқытушы ғалымдар үшін ең басты мәселелер екені талас тудырмайды. Бұл мәселелерді түпкілікті шешу үшін қолданыстағы оқулықтарды сараптау, салыстыру, жинақтау арқылы жаңа мазмұндағы базалық оқулықтар даярлау жөнінде жоғарғы дәрежелі шешімдер қабылдануы қажеттілік деп санаймыз.

Оқыту сапасын арттыру үшін нақтылы ғылыми-әдістемелік жүйе жасау бағытында мынадай алғы шарттарды атауымыз керек:

- ұстаздардың қолданыстарындағы жаңа оқыту әдістемелерді кең тарату және пайдалану;

- жаңа жүйеге сәйкес оқу бағдарламаларын жетілдіру;
- жаңа тұрғыдағы оқулықтар дайындатуды жеделдету;
- үш деңгейдегі оқу бағдарламаларын дамыта оқыту жүйесі негізінде дайындап нақтылау және алғы екі сатысы үшін бекітіп, бір орталықтан тарату;
- жоғарғы оқу орындарының материалдық-техникалық базамен толық қамтамасыз етілуін қадағалау.

Оқу әдістемелерінің теориялық дамуын қамтамасыз ету үшін жаңа теориялық бағыттарды оқыту ісіне ұсыну, әлемдік деңгейдегі әдістемелерді оқыту ісіне енгізуге жағдай жасау, оқу бағдарламаларына қажетті нақты теориялық жаңалықтардың енгізілуін қадағалау, мамандықтармен байланысты жаңа арнайы курстар тізімдерін және бағдарламаларын даярлауға жетекші ғалым-ұстаздардың әдістемелік көмек көрсетулеріне ықпал жасау қажет.

Мемлекеттік тілде оқытуға қатысты ерекшеленетін мәселелер:

- қолданыстағы атаулық ұғымдардың жүйелілігін белгіленген мерзімде сараптап отыру;
- жекелеген ұстаздар қолданып жүрген ұғымдардың ұтымды немесе олқылықтарымен байланысты түзетулер енгізу;
- ғылыми тұрғыдағы, ана тіліміздің сөз жасау мүмкіндіктерін пайдалану арқылы, жаңа атаулық ұғымдарды қабылдау қажеттілігін ұдайы ескеру.

Мақала тақырыбын механика ғылымына қатысты нақты өрбітейік. Жоғарғы оқу орындарында механика ғылымы «Механика» мамандығы ретінде классикалық тұрғыдағы университеттерде, жалпығылымдық пән ретінде математика, физика, биология тағы басқа да мамандықтардың оқу жоспарларына енген, техникалық және технологиялық жоғарғы оқу орындарының барлық дерлік мамандықтарының оқу бағдарламаларында жалпытехникалық пән ретінде орын алған. Механика ғылымына арналған пән аттары қатарында «Теориялық механика», «Аналитикалық механика», «Механика», «Гидромеханика», «Аэромеханика», «Қолданбалы механика», «Материалдар кедергісі», «Машиналар мен механизмдер теориясы», «Гидравлика», «Машина бөлшектері», «Серпімділік теориясы», «Құрылыс механикасы» және жеке мамандықтар бойынша көптеген арнаулы курстарды атауға болады. Оқу бағдарламаларының және бөлінген сағаттардың мамандықтармен байланысты айырмашылықтары бар.

Орыс тілінде баспадан шыққан оқулықтардың ұзақ тізімін санап шығудың қажеттілігі жоқ шығар деген себеппен, тек қолданыстағы оқулықтардың біразын ғана атап өтелік: Н.Н. Бухгольц, Основной курс теоретической механики; В.Г. Вильке, Теоретическая механика; Н.В. Бутенин, Введение в аналитическую механику; Н.Н. Никитин, Курс теоретической механики; С.М.Тарг, Краткий курс теоретической механики; Ю.Ф. Голубев, Основы теоретической механики; т.т.

Мұндай, қолданыстағы оқулықтарға, шолулар нәтижесі «Механика» ғылымына қатысты оқулықтардың теориялық тұрғыдағы, қолданбалы тұстары және арнаулы курстар үшін пайдалану мүмкіндіктерін аша түседі. «Механика» пәндерінің

гуманитарлық мамандықтардың «Жоғарғы математика» пәні енетін оқу жоспарларында болу қажеттілігі де ескерілуі керек. Өйткені, механика жаратылыстану ғылымдары қатарында математикамен өте тығыз байланыста: механика математиканы абстракциядан нақты құбылыстарға бейімдей алу мүмкіндіктерімен ерекшеленеді.

«Механика» пәнін мемлекеттік тілде оқытуға байланысты әлі шешімін таппаған мәселелер:

- оқулықтардың жетіспеушілігі;
- қолданыстағы оқулықтардың тілмен байланысты сапалық деңгейінің төмендігі;
- тіл мамандары көмектерінің қажеттілігі;
- өткізіліп жатқан шаралардың пәрменсіздігі, оқытушы-ғалымдармен жүйелі байланыстың әлі орнамағаны.

Мәселелердің күрделілігі соншалықты, қазіргі жағдайда мемлекеттік тілде сапалы білім беру ісінің қашан шешілетіні туралы дәлелді болжау жасау қиын. Тек барлық мүмкіндіктерімізді толық пайдалана алсақ қана оларды шешу туралы нақты қорытынды жасауға болады. Алғышарттар қатарында: ұйымдастырушылық шараларды (не істелуі қажет, қанша уақытта) нақтылау, орындаушыларды (жұмыс тобы) тағайындау, қажетті қаражаттың бөлінуін (қанша ақша) қамтамасыз етілуі туралы ашық шешімдер қабылдау.

Білім беру әдістемесін талдау механика ғылымы бойынша базалық оқу пәндерінің үш топқа бөлінгені дұрыс деген тұжырым жасауға әкеледі:

- теориялық пәндер;
- қолданбалы пәндер;
- жеке мамандықтарға қатысты арнаулы пәндер (курстар).

Ана тіліміздегі базалық алғашқы оқулықтар, мазмұндары әдістемелік орталықта бекітілген, оқу министрлігі тапсырыстары арқылы құрылған арнайы жұмыс топтары күштерімен жазылулары қажет.

I. Механика теориясына арналған базалық пәндер (оқулықтар) жөнінде.

1. Университеттік оқу бағдарламалары бойынша механика, математика, физика мамандықтарына арналған оқулықтар:

- механика теориясы;
- аналитикалық механика.

2. Қоғамдық және гуманитарлық мамандықтарға арналған оқулықтар:

- механика негіздері;
- жалпы механика.

3. Инженерлік мамандықтарға арналған оқулық:

- механика теориясының негіздері.

II. Қолданбалы механикаға арналған оқулықтар:

1) қолданбалы механика: қатаңдық, беріктілік, орынқтылық;

2) қолданбалы механика: механизмдер мен машиналар теориясы;

3) қолданбалы механика: машина бөлшектері, тағы басқа нақтыланған пәндерді атауға болады.

III. Мамандыққа қажетті арнаулы курстар, алдыңғы аталған пәндердің заңды жалғасы. Қажетті арнаулы курстар тізімі мамандар даярлайтын кафедраларда қабылданып, оқу ордасының Ғылыми кеңесінде бекітіледі.

Мысалы: «Механика» мамандығына қатысты арнаулы курстар: серпімділік теориясы, тербелістері т.т. «Технологиялық» мамандықтарына арнаулы курстар: механикалық тербелістер теориясы, реология, т.т.

Жаңа білім беру жүйесін қалыптастыру базалық оқулықтарды даярлау, оқу бағдарламаларын қайта құру, кітап мазмұны мен құрылымын бекітуден басталуы керек. Осы мәселелерді ғылыми негізде шешудің бірден-бір жолы, қолданыстағы оқу бағдарламалары мен оқулықтарды кредиттік технологияға бейімдеп, дамыта оқыту тәсіліне сәйкес жаңа тұрғыда бекітіп, баспадан шығару. Арнайы жұмыс тобын құру қажеттілігі туралы т.б. ұсыныстар жоғарыда келтірілген.

Нақты мысал ретінде, техникалық оқу орындарының бакалавр дәрежесінің оқу бағдарламасымен байланысты «Механика теориясының негіздері» оқулығы құрылымының бір нұсқасын келтірейік.

Статика бөлімі екі тарауға бөлінген:

1. Күш жиындарын қарапайым түрге келтіру.
 2. Абсолют қатты дененің тыныштықта болуы.
- Кинематика бөлімі үш тарауға бөлінген:
1. Нүкте қозғалысы.

2. Абсолют қатты дене қозғалысы.

3. Құрама қозғалыстар.

Динамика бөлімі жеті тарауға бөлінген:

1. Заттық нүкте динамикасы.
2. Механикалық жиын динамикасы.
3. Динамиканың жалпы теоремалары.
4. Кинетостатика.
5. Соққы құбылыстары.
6. Абсолют қатты дене кинетикасының теңдеулері.
7. Аналитикалық механика элементтері.

Несиелік технология тәсіліне сәйкес бөлінген сағаттар оқытушы тарапынан пәннің негіздері мен күрделі тұстары дәрістерде және тәжірибелік сабақтарда өтіліп, қалған тақырыптары студенттердің өздік жұмыстары арқылы оқылады. Кредит сандарының өзгеруі әрбір тақырыпқа арналған аудиториялық және студенттердің өздік жұмыстарына арналған сағат сандарының арақатынастарына әсер етеді. Барлық жағдайда да пәннің негізгі мақсаты, бөлімдері, құрылымы, бір сөзбен айтсақ біртұтастығы сақталуы керек.

УДК 378

**Б.Б. УТЕГУЛОВ
В.Ф. ГОВОРУН
О.В. ГОВОРУН**

Требования к выпускнику вуза в эпоху внедрения новой техники и современных передовых технологий

В период экономического спада 90-х годов кратное снижение вводов мощности электростанций и электрических сетей привело к ускоренному росту степени износа основных фондов. В то же время свертывание программ разработки и освоения новых технологий производства, передачи и распределения электрической и тепловой энергии привело к растущему отставанию технического уровня казахстанской электроэнергетики от уровня, достигнутого развитыми странами.

В настоящее время устойчивый рост потребления электро- и теплоэнергии в условиях дефицита инвестиционных ресурсов на развитие электроэнергетики вынуждает особенно тщательно оценивать существующие производственные возможности предприятий отрасли, их способность надежно и эффективно обеспечивать растущий спрос на электроэнергию и тепло, и на этой основе определять реальные масштабы необходимой модернизации и развития электроэнергетики.

Импульсом к принципиальному изменению подходов к технической политике, которые приведут к значительному увеличению доли прогрессивного оборудования, является изменение внешних условий функционирования электроэнергетики и, прежде всего, введение конкурентного рынка электроэнергии и ужесточение экологических требований.

Повышение качества технической политики в области электроэнергетики определяется

требованиями по решению следующих основных задач:

- повышение эффективности энергоснабжения и энергосбережения;
- снижение негативного воздействия ТЭС на окружающую среду;
- обеспечение промышленной безопасности;
- повышение производительности труда и улучшение условий труда;
- снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы;
- техническое перевооружение и реконструкция действующих мощностей с внедрением новой техники и современных передовых технологий;
- создание и внедрение возобновляемых принципиально новых источников энергии на основе использования плазмы, термоядерного синтеза, явления сверхпроводимости и т.д.

Успешное выполнение поставленных задач требует проведения большого комплекса работ, и в этих условиях велика роль высококвалифицированных специалистов, способных активно участвовать в эксплуатации сложного электрооборудования, внедрять достижения науки и техники, оперативно изменять направленность работ в соответствии с требованиями времени.

Какие же первостепенные требования, с нашей точки зрения, следует предъявлять к выпускникам вузов, уровню их знаний, системе подготовки?

С одной стороны, в условиях необходимости специализации производства и все более усложняющейся техники требуется узкая, но глубокая направленность знаний студента; с другой стороны, молодому выпускнику сейчас приходится ежедневно сталкиваться с такими задачами, которые под силу только инженеру с широким объемом знаний. Разве можно представить ведущего специалиста любого ранга, который в своей повседневной практике не сталкивался бы одновременно с целым рядом вопросов, может быть, непосредственно и не входящих в его прямые обязанности? Так, например, главный инженер электрической станции или начальник производственного цеха обязан не только знать процесс производства, но и детально разбираться в вопросах технологии, автоматизации и механизации, экономики, научной организации труда и т. д.

Можно утверждать, что выпускник, пришедший на предприятие, должен знать не только фундаментальные науки (математику, физику и др.) и дисциплины, имеющие прямое отношение к его специальности, но и обладать знаниями, необходимыми для решения вопросов любого современного производства.

Основная часть инженерных расчетов выполняется на ЭВМ. Практически на всех предприятиях введены АСУ технологическими процессами и системами, автоматическими устройствами регулирования, защиты, диагностики и проектирования. Поскольку год от года использование ЭВМ и микропроцессоров непрерывно расширяется, специалист должен иметь глубокие теоретические знания и практические навыки по их применению.

В условиях повышения конкурентоспособности электростанций и улучшения условий на рынке электроэнергии на первый план выдвигаются вопросы надежности оборудования и экономики. В настоящее время необходимо более внимательно относиться к проблемам, связанным с затратами на внедрение, изготовление и испытание нового изделия; более точно оценивать экономическую эффективность новой техники на предприятии. Любой инженер, проектировщик, технолог или производственник обязан обращать особое внимание как на экономические показатели внедряемых изделий, так и на надежность работы оборудования. Следовательно, инженер-электрик должен обладать более широкими, чем раньше, техническими, технологическими и экономическими знаниями. И к этому необходимо специалистов готовить.

Очень важным фактором для выпускника вуза является знание психологии, основ организации и руководства. Ведь любой молодой специалист является потенциальным руководителем какой-то группы людей с разными наклонностями, интересами, способностями. К сожалению, этому вопросу в высших технических учебных заведениях нашей страны уделяется недостаточное внимание.

Еще одна задача стоит перед вузами — подготовка специалистов, обладающих навыками творческого подхода в научно-технической или производственной деятельности. Сегодня, когда очень быстро создаются новые машины, аппараты и технологии, возникает настоятельная потребность в том, чтобы человек, окончивший вуз, следил за всеми новшествами науки и производства. Современному инженеру приходится изменять представления и понятия, полученные им в процессе учебы, поэтому очень важно научить студента творчески осмысливать свои решения, не бояться создавать и внедрять принципиально новые аппараты, предлагать и внедрять новые методы их эксплуатации, испытаний и ремонта.

Известно, что студент часто с целью экономии своего времени и труда механически переносит в курсовой или дипломный проект опыт подобной работы предыдущих лет. В условиях современного производства, когда зачастую заимствовать решение неоткуда или нет необходимых аналогов, молодой специалист, который так учился, будет чувствовать себя неуверенно.

Следующим важным моментом подготовки специалистов является, на наш взгляд, обучение их практическим навыкам еще в вузе. Поэтому вопросам совершенствования производственной практики студентов должно придаваться первостепенное значение. Во время практики у студента вырабатывается интуиция специалиста, часто помогающая будущему инженеру принимать нужные решения. В вузе студент приобретает теоретические и практические навыки при выполнении лабораторных и курсовых работ, а также при проведении самостоятельных учебных исследований (УИРС — к сожалению, в настоящее время этот вид занятий исключен из учебного плана). Находясь на практике, студент развивает и закрепляет свои знания, приобретает навыки в условиях конкретной ситуации. Но особое внимание хотелось бы обратить на производственную практику непосредственно в цехах и на участках энергетических и промышленных предприятий. Приобретение производственного навыка позволит молодому специалисту активнее и оперативнее решать вопросы и лучше понимать конечные цели учебы и результаты работы целого звена специалистов: ученых, проектировщиков, технологов и производственников. Как показывает опыт работы, именно тот молодой специалист, который еще со студенческой практики успел накопить производственные навыки, становится затем высококвалифицированным специалистом, способным занимать ведущее положение на предприятии или в научной организации. Однако в настоящее время, целый ряд предприятий отказывается от принятия студентов на практику или формально подходит к этому вопросу. Конечно, в Павлодарской области укомплектованность кадрами намного лучше, нежели в целом по стране, отсюда, вероятно, и появляются в умах некоторых руководителей предприятий соображения, что

принимать на практику студентов не обязательно. Это ошибочное мнение.

По нашему мнению, руководителем практики, как правило, должны быть ведущие специалисты предприятия. Причем студенты должны проходить практику непосредственно в производственных цехах, включаться в бригады и помогать выполнять производственные задания. Знакомство с будущим специалистом должно начинаться задолго до того, как он окончит вуз. Целесообразно, чтобы студенты проходили производственную и преддипломную практику, выбирали темы дипломных проектов и защищали их непосредственно на предприятии.

Остановимся на некоторых вопросах, касающихся формирования специалиста на производстве.

Сегодня особенно острой является социально-экономическая потребность в том, чтобы каждый выпускник занял в профессиональной структуре именно свое место. Возрастание субъективного, человеческого, личного фактора — одна из ведущих тенденций современного производства. Чем больше соответствие между требованиями профессии и индивидуальными качествами работника, тем выше у него удовлетворенность работой, уверенность в своих силах, органичнее связь между трудом и самоутверждением личности, сильнее стремление к профессиональному и общекультурному росту, самоусовершенствованию и самовоспитанию. Если же человек оказывается не на своем месте, то помимо личного морального ущерба, испытываемого им, страдают и производственные интересы. По-разному может проявляться стремление компенсировать, восполнить этот ущерб. Одни просто меняют работу, другие ищут отдушину вне своей деятельности и к делу относятся равнодушно, безынициативно, формально.

При становлении на предприятии молодого специалиста очень важную роль играют его способность и стремление к закреплению и пополнению необходимых знаний путем самостоятельной работы. Если молодой специалист не обучен работать и мыслить самостоятельно, если у него нет желания читать техническую литературу, расширять кругозор и повышать квалификацию, то очень скоро как специалист он «морально устареет». Современному инженеру важно идти в ногу со временем, постоянно пополнять свои знания. Следовательно, подготовка специалистов как в вузе, так и на предприятии должна предусматривать методы дальнейшего обучения и переподготовки в течение всей инженерной деятельности.

И еще на одном вопросе хочется остановиться.

Как правило, после окончания института молодые специалисты начинают с рабочих специальностей.

Это дает возможность адаптации на рабочем месте, выявления знаний и деловых качеств в целях наиболее правильного и рационального использования специалиста на предприятии. Однако от этой практики можно избавиться или существенно сократить испытательный срок при условии, что молодой специалист при обучении в вузе проходил учебную, производственную и преддипломную практики на этом предприятии. Во время испытательного срока молодой специалист приобретает дополнительные знания и навыки. Выявляются также и недостатки вузовской подготовки, что при наличии обратной связи между производством и вузом позволит вносить соответствующие коррективы в профиль подготовки специалистов. Обратная связь производство — наука — еще один рычаг, открывающий, на наш взгляд, перспективные пути совершенствования процесса подготовки высококвалифицированного специалиста.

Возникает также вопрос: следует ли внедрять существовавшую в некоторых странах практику узкой специализации, например, инженера-электрика? Очевидно, что для повышения производительности и улучшения качества некоторых проектных и конструкторских разработок это деление себя оправдывает, а на общей квалификации, интересе к работе, широте кругозора в условиях информационного прогресса это скажется отрицательно.

Павлодарский государственный университет им. Торайгырова является настоящей кузницей командиров и специалистов производства. В последнее десятилетие почти всех выпускников энергетического факультета принимают в ряды своих многочисленных коллективов на различных предприятиях как нашей страны, так и ближнего и дальнего зарубежья. Тем не менее, таких специалистов, как правило, не хватает, а потребность в них возрастает.

Хочется также обратить внимание руководителей предприятий на необходимость более гибкой системы подготовки специалистов с учетом проблем и направлений. Так, например, если отрасли необходимы специалисты, обладающие большим объемом знаний в других областях, то предприятия должны заказывать вузу подготовку таких специалистов.

Подводя итог сказанному, следует отметить, что подготовка специалистов высшей квалификации — задача, требующая совместных усилий научно-педагогического коллектива вуза и промышленных предприятий.

УДК 004:378.14

О.А. КАН
Б.М. САДАНОВА

Способы формирования вопросов и ввода ответов в АОС

Важную роль в АОС играет оценка степени усвояемости материала студентами. Для этого необходимо тщательное изучение способов формирования вопросов и ввода ответов, которые целесообразно использовать в автоматизированном обучении.

Среди предложенных классификаций вопросов следует отметить подход, при котором вопросы разделяются по двум уровням, в зависимости от задействованных в ответе когнитивных операций. К низкому уровню отнесены вопросы на репродукцию, к высокому уровню — вопросы на выявление знаний, умений, требующие осуществить синтез или анализ, произвести вычисления.

С точки зрения построения теста возможны две основные формы организации вопросов, которые условно можно назвать «Выбери ответ из предлагаемых вариантов» и «Напиши правильный ответ».

Организация теста по принципу «Выбери ответ из предлагаемых вариантов» обеспечивает простой диалог со студентом и быстроту прохождения теста, так как не требует от него выявления отношений, проведения синтеза, поиска правильного метода решения.

Но такая форма организации теста имеет ряд существенных недостатков, основные из которых:

- выбрать ответ из нескольких готовых вариантов легче;
- нет глубоких рассуждений над ответом;
- можно выбрать верный ответ наугад или заранее.

С другой стороны, бывают случаи, когда применение тестов такого типа оправдано.

Организация теста по принципу «Напиши правильный ответ» предполагает хорошую начальную подготовку обучающегося как пользователя персонального компьютера. Кроме этого, что немаловажно, предполагается абсолютная его грамотность при вводе ответа. Помимо этого, ответ на каждый вопрос теста может иметь различную степень подробности.

Кроме того, во многих тестовых заданиях, особенно по компьютерным, техническим и математическим дисциплинам, необходимо решать проблему распознавания вариантных ответов.

Большие перспективы с точки зрения степени усвояемости материала дает программная реализация процедур составления вопросов и проверки ответов.

На рис.1 представлена программная реализация вопроса и проверки ответа на тему «Системы счисления».

Она очень простая и наглядная. Для формирования правильного ответа учащемуся необходимо знать способ перевода двоичного числа в десятичную систему. Так как двоичное число формируется случайным образом, заранее подготовить ответ или угадать невозможно.

После нажатия кнопки Start программа выдает в левое текстовое поле случайное двоичное число в заданном диапазоне. Учащемуся требуется перевести это число в десятичную систему и ввести полученное число в правое текстовое поле. Затем нажать кнопку «Ввод ответа». Программа проверяет введенное число

с полученным программно и выдает ответ «Правильно» или «Неправильно». Тестирование по данному вопросу может продолжаться несколько раз. Общее количество попыток и число правильных ответов фиксируется в программе.

Рис. 1. Вопрос на тему «Системы счисления»

Аналогичным образом построен вопрос по переводу целого десятичного числа в двоичную систему.

На рис. 2 представлена программная реализация вопроса на тему «Логические операции».

Для формирования правильного ответа учащемуся необходимо знать правила выполнения логических операций. Так как исходные числа формируются случайным образом, заранее подготовить ответ или угадать невозможно.

После нажатия кнопки Start учащемуся требуется вычислить результат логического умножения двух чисел, сформированных случайным образом, которые исключают возможность угадывания правильного ответа.

Аналогичным образом можно программировать вопросы по математике. Например, решение квадратного уравнения вида $AX^2 + BX + C = 0$. Коэффициенты A , B , C можно задавать случайным образом из заданного диапазона. Затем программа решает квадратное уравнение с полученными коэффициентами и сравнивает с ответом учащегося.

Логическое умножение

X1 X2 Y

15 AND 8 = []

Нажмите кнопку "Start" для задания чисел X1, X2

[Start]

В полях X1, X2 появятся целые числа в диапазоне от 0 до 15. Введите в поле Y правильный ответ (целое число) и нажмите кнопку "Ввод ответа".

[Ввод ответа]

Общее количество ответов []

Количество правильных ответов []

Рис. 2. Вопрос на тему «Логические операции»

УДК 621.3.083.92

Г.Д. КОГАЙ
А.М. НУРГУЖИНА
Э.Г. КЕСАРЕВА
Г.М. ЯВОРСКАЯ

Средства и методы организации дистанционного обучения

Метод обучения — дидактическая категория, дающая теоретическое представление о системе норм взаимодействия преподавателя и обучающихся для достижения целей обучения.

Содержание обучения — это состав, структура и материал учебной информации, а также комплекс задач, заданий и упражнений, передаваемых студентам, которые формируют их профессиональные навыки и умения, способствуют накоплению первоначального опыта трудовой деятельности.

Средства обучения представляют содержание обучения, контроль и управление учебно-познавательной деятельностью обучающихся.

В традиционном учебном процессе такими средствами являются: печатные издания (учебники, учебно-методические пособия, справочники), диски с учебной информацией, записи на доске, плакаты, кинофильмы, видеофильмы, а также слово преподавателя.

Дистанционное обучение (ДО) — это компьютерное обучение, основанное на удаленном общении студентов между собой и с преподавателем. Взаимосвязь студентов между собой может осуществляться как средствами самих студентов (например, простая электронная почта), так и средствами специальной системы дистанционного обучения (СДО), которая совмещает в себе необходимые для связи студентов службы и сервисы, а также позволяет максимально удобно организовать сам процесс обучения.

ДО означает создание новых технологий, введение которых в массовом порядке можно обеспечить, только строя их на научной основе. Нельзя рассчитывать на то, что силами

Достоинством программной реализации процедур составления вопросов и проверки ответов является следующее:

- отсутствие выбора верного ответа наугад или заранее;
- нет заранее подготовленных вариантов правильных ответов, так как они вычисляются программно;
- для определения правильного ответа требуются соответствующие знания, умения и навыки;
- возможность построения сложных вопросов, требующих глубоких знаний по заданной тематике.

Вопросы, построенные на основе программной реализации, были апробированы при проведении практических занятий по дисциплине «Микроэлектроника» на кафедре АИС КарГТУ.

преподавателей-энтузиастов удастся решить все проблемы, связанные с созданием эффективных обучающих систем. Недостаточная разработка теоретических основ является одной из основных причин низкой эффективности компьютерного обучения на данный момент. По сути, ни одна из существующих теорий обучения не может быть непосредственно использована для разработки обучающих программ, поскольку существующие попытки строить компьютерное обучение в соответствии с ними оказываются малоэффективными.

В структуру СДО входят:

- учебные сведения (информация);
- средства контроля усвоения учебных сведений;
- средства управления познавательной деятельностью обучаемых;
- средства связи студентов и преподавателей.

Применение СДО позволяет улучшить управление учебной деятельностью обучаемых. Естественно, что от качества СДО зависит, будет ли достигнут желаемый результат от ее использования. При низком качестве СДО компьютер не оправдает тех надежд на повышение эффективности обучения, которые на него возлагаются. Для того чтобы применение СДО было действительно эффективным, необходимо как можно более досконально изучить многие аспекты, например, такие, как структуризация учебного материала, выбор метода обучения, методика разработки вопросов, обработки ответов.

К существующим системам относятся: Система «Прометей», «ILIAS», «Learn eXact», MOODLE,

Система «Прометей» — это программная оболочка, которая не только обеспечивает дистанционное обучение и тестирование слушателей,

но и позволяет управлять всей деятельностью виртуального учебного заведения, что способствует быстрому внедрению дистанционного обучения и переходу к широкому коммерческому использованию.

Допускаются следующие возможности:

- 1) регистрация на курсы организована по типу электронного магазина;
- 2) календарные планы изучения курсов;
- 3) гибкая подсистема учета платежей (расходов);
- 4) подсистема регистрации/выдачи сертификатов;
- 5) студент может входить в любое количество групп с одним логином;
- 6) возможность сочетания ролей (тьютор может одновременно быть и организатором);
- 7) история взаимодействия со слушателем, заполняемая организатором;
- 8) программы обучения, объединяющие несколько курсов;
- 9) автоматизация выполнения административных функций через веб-интерфейс;
- 10) подсистема тестирования (10 типов вопросов);
- 11) к курсу можно прикрепить любое число электронных книг;
- 12) средства общения (объявления, обмен файлами, групповая рассылка почты, форум, чат, книга отзывов).

ILIAS — это Система Управления Обучением с Открытым Кодом, поставляемая бесплатно, для разработки и использования *Web-ориентированного Электронного Обучения*. Система была разработана для уменьшения стоимости использования новых технологий в образовании и для предоставления максимального уровня воздействия заказчика в осуществлении Системы Управления Обучением. *ILIAS* позволяет эффективно создавать курсы дистанционного обучения и их материал. В дополнение к стандартным средствам и шаблонам для обучения и рабочего процесса дополнительно встроены навигация и администрирование.

Её возможности:

- 1) персональный рабочий стол для каждого пользователя;
- 2) репозиторий данных;
- 3) возможность поиска в пределах системы;
- 4) отдельный почтовый ящик для каждого пользователя внутри системы;
- 5) расширенные возможности администрирования;
- 6) контроль доступа на основе ролей;
- 7) представление портала в виде дерева.

Learn eXact — это мощная Система Управления Содержимым Обучения, которая позволяет вашей организации увеличить скорость процесса создания, индексирования, хранения, пересмотра и управления содержимым электронного обучения. Его модульная архитектура идеальна для специфичных нужд заказчика и содержит:

- модульную систему;
- раздельные курсы.

Система MOODLE — (*MOODLE* — Модульная Объектно-Ориентированная Учебная Система) является пакетом программного обеспечения для создания курсов дистанционного обучения и *web-*

сайтов. Этот продолжающийся развиваться проект был создан для поддержки и исследований теории «social constructionist framework of education».

Данная система имеет следующие возможности:

- 1) спроектирована с учётом достижений современной педагогики (акцент на взаимодействие между студентами, обсуждения);
 - 2) пригодна как для дистанционного обучения, так и для очного (запись на курсы, расписания, журнал)
 - 3) простой, «легкий», эффективный, совместимый web-интерфейс;
 - 4) простая установка на любую платформу, для работы которой необходима только одна база данных;
 - 5) полная абстракция базы данных (поддерживает MySQL, PostgreSQL, MSSQL, Oracle, Interbase, Foxpro, Access, ADO, Sybase, DB2 и ODBC);
 - 6) сделан акцент на защите (шифрованные сессии, SSL, аутентификация с LDAP-, IMAP-, POP3-, NNTP-серверов);
 - 7) модульный, легко модифицируемый дизайн;
 - 8) подключаемые языковые пакеты позволяют добиться полной локализации. На данный момент поддерживаются 43 языка (включая русский);
 - 9) хорошо документированный код под GPL-лицензией — модульный и легко модифицируемый;
 - 10) простая интеграция с существующими системами аутентификации:
 - 11) на основе e-mail: студент может создать свой аккаунт. E-mail адрес проверяется через подтверждение;
 - 12) LDAP-метод: аккаунты могут сверяться на LDAP сервере. Администратор может указывать, какие поля использовать;
 - 13) IMAP, POP3, NNTP: аккаунты сверяются на почтовом или новостном сервере. Поддерживаются SSL и TLS;
- Внешняя база данных: любая база данных, содержащая минимум 2 поля, может использоваться в качестве внешнего источника аутентификации.
- 1) каждый человек требует только одного пользователя на сервере, так как каждый пользователь имеет различные права в каждом курсе;
 - 2) пользователь администратора контролирует создание курсов и список преподавателей, добавляя пользователей к курсам;
 - 3) преподаватели могут не иметь прав на редактирование, например временные преподаватели, поэтому они не смогут изменить курс;
 - 4) преподаватель может добавить «кодовое слово» для своих курсов, чтобы предотвратить попадание на курсы посторонних. Он может передавать студентам ключ в личной беседе, с помощью e-mail, т.п.;
 - 5) преподаватели могут зачислять студентов на курс вручную;
 - 6) преподаватели могут отчислять студентов с курса вручную, иначе система сама отчислит студентов после установленного времени неактивности (устанавливается администратором);
 - 7) студенты могут редактировать свои аккаунты (фотографии, личные данные, реквизиты), если требуется, то почтовый адрес можно скрыть от просмотра;
 - 8) каждый пользователь может указать своё локальное время, при этом все даты в системе будут

переведены для него в местное время (время сообщений в форумах, сроки выполнения заданий, т.д.);

9) каждый пользователь может выбрать язык, используемый в интерфейсе MOODLE (русский, английский, французский, немецкий и т.д.);

10) поддерживаются различные структуры курсов: «календарный», «форум», «дерево»;

11) богатый набор модулей-составляющих для курсов — Форум, Тетрадь, Тест, Ресурс, Опрос, Анкета, Домашнее Задание;

12) почти все набираемые тексты (ресурсы, сообщения в форум, записи в тетради...) могут редактироваться встроенным WYSIWYG RichText-редактором;

13) все оценки (из Форумов, Рабочих тетрадей, Тестов и Заданий) могут быть собраны на одной странице (либо в виде файла);

14) доступен полный отчет по вхождению пользователя в систему и работе, с графиками и деталями работы над различными модулями (последний вход, количество прочтений, сообщения, записи в тетрадях);

15) e-mail-рассылки новостей, форумов, оценок и комментариев преподавателей;

16) курс может быть упакован в один zip-файл, используя функцию «Backup», который может быть восстановлен в любой системе MOODLE.

Внедрение системы дистанционного обучения будет производиться на сервере ЦКТИ КарГТУ, так, что требования системы к серверу должны удовлетворять имеющемуся в наличии серверу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ехлаков Ю.П., Яворский В.В. Моделирование структурных взаимосвязей функционирования организационных систем управления. Томск: Изд-во ТУСУР, 2000. 171 с.

УДК 531.1

А.К. КОЖАХМЕТОВА
У.Л. УМБЕТАЛИЕВА

Методика комбинированного применения аналитических и численных способов при выполнении расчетно-графических заданий по теоретической механике

Время, отводимое настоящими учебными планами на изучение теоретической механики, мало. Поэтому задача обучить студента умению оперировать с основными механическими понятиями неизбежно приводит к упрощенным постановкам решаемых ими задач (углы считаются равными 30° , 45° , 60° ; силы считаются постоянными; дифференциальные уравнения динамики трактуются как линейные алгебраические уравнения и т.п.). Такие упрощения, являясь необходимым начальным этапом обучения студентов, не оставляют места для развитых аналитических методик составления уравнений механики, для применения ЭВМ [1]. Традиционные курсы теоретической механики уделяют основное внимание вопросам составления дифференциальных уравнений движения материальных точек и систем и неслаженно малое внимание — решению этих уравнений. Это объясняется, в первую очередь, сложностью получаемых уравнений, в связи с чем в большинстве случаев они не поддаются решению аналитическими методами.

Широкое развитие современных ЭВМ позволяет использовать в учебном процессе численные методы интегрирования дифференциальных уравнений, что дает возможность доводить решение задач теоретической механики до логического завершения независимо от сложности получаемых уравнений. Применение численных методов не снижает роли аналитических методов решения дифференциальных уравнений. Правильное сочетание аналитического и численного подходов позволяет глубже вскрыть достоинства и недостатки каждого из них и необходимость их

совместного применения. В частности, без предварительного, хотя бы приближенного, аналитического исследования невозможно правильно задать шаг численного интегрирования и промежуток времени, на котором изучается движение.

Наиболее целесообразный путь внедрения ЭВМ в учебный процесс — применять их в расчетно-графических заданиях (РГЗ) по теоретической механике. Расчеты, выполняемые с помощью ЭВМ, открывают в этих условиях весьма действенные дополнительные возможности обогащения и алгоритмизации курса теоретической механики.

Основная цель — освободить студента от трудоемкой вычислительной работы и решать такие задачи, которые вручную решать практически невозможно. С этой целью выбраны по одной задаче из разделов теоретической механики (кинематика, динамика). К работе студент должен будет приложить программу и результаты счета, выведенные ЭВМ. По нашему мнению, такой расчет заданий по теоретической механике намного предпочтительнее перед старыми, традиционными способами.

Наиболее выигрышными темами, имеющими прикладное значение и дающими возможность для теоретического и практического освоения методов совместного применения аналитических и численных способов решения дифференциальных уравнений движения, являются кинематика и динамика систем с одной степенью свободы. На конкретном примере рассмотрим подробнее ход выполнения расчетно-графического задания, посвященного *кинematике плоского механизма с одной степенью свободы*.

Рассматривается механизм с одной степенью свободы и шарнирным соединением звеньев кинематических цепей. Задано вращение кривошипа OA с постоянной угловой скоростью $\omega_{1z} = \frac{2\pi}{\tau}$, где τ — время оборота кривошипа. Исходные данные определяются формулами (1) и таблицей 3 [2]. Значения величин вычисляются с точностью до трех значащих цифр:

$$\tau = 0,24N, R_1 = 0,2 + 0,01n, R_i = R_{ir} + 0,01N;$$

$$\varphi_1(0) = 0, \varphi_i(0) = \varphi_{ir} + 0,01N, i = 2, 3, 4.$$

Здесь R_i — длина i -го звена. Под длиной звена колеса понимается его радиус. В том случае, когда радиус колеса не используется в расчете, его длина не задается, а при вычерчивании схемы принимается равной $1,2R_1$.

Требуется исследовать с помощью численных методов на ЭВМ дифференциальные уравнения движения механизма.

Выражения для зависимости трех неизвестных угловых скоростей $\omega_{2z}, \omega_{3z}, \omega_{4z}$ от заданной скорости ω_{1z} получаются из уравнений трех внешних связей, налагаемых на систему. Чтобы составить эти уравнения, надо выразить через ω_{iz} ($i = 1, \dots, 4$) скорости точек, в которых налагаются внешние связи, и приравнять их нулю. Выражения для скоростей получаются последовательными, от звена к звену, применением формул кинематики твердого тела:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{AB}.$$

Последовательность звеньев кинематических цепей (граф вычислений) может выбираться неоднозначно. Предпочтительны наименее трудоемкие варианты.

Из уравнений внешних связей находят:

$$\omega_{2z} = \omega_{2z}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \omega_{1z});$$

$$\omega_{3z} = \omega_{3z}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \omega_{1z}, \omega_{2z});$$

$$\omega_{4z} = \omega_{4z}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \omega_{1z}, \omega_{2z}, \omega_{3z}).$$

Эти уравнения позволяют определить угловые скорости звеньев для фиксированного момента времени при заданных в этот момент значениях $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Изменение $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, а следовательно, и $\omega_{2z}, \omega_{3z}, \omega_{4z}$ во времени определится, если эту систему дополнить уравнениями $\dot{\varphi}_1 = \omega_{1z}, \dot{\varphi}_2 = \omega_{2z}, \dot{\varphi}_3 = \omega_{3z}, \dot{\varphi}_4 = \omega_{4z}$.

Полученная система дифференциальных уравнений, интегрирование которой при заданных начальных значениях $\varphi_1(0), \varphi_2(0), \varphi_3(0), \varphi_4(0)$, решает кинематическую задачу о движении плоского механизма.

Нелинейная система дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями интегрируется на интервале времени τ . Запись выражений для $\omega_{2z}, \omega_{3z}, \omega_{4z}$ и скорости точки C должна обеспечивать возможность присвоения последовательных значений этих переменных на каждом шаге интегрирования.

Проверка правильности решения задачи осуществляется на всех этапах ее решения. Этап составления уравнений заканчивается оценкой правых частей уравнений для заданных начальных значений углов. После решения задачи на ЭВМ проводится

анализ таблицы результатов. Построенные по результатам счета графики не должны иметь разрывов. Последняя проверка проводится путем сравнения результатов счета на ЭВМ с результатами графоаналитического решения задачи. Механизм изображается в масштабе 1:10 в момент времени $t = (N+1)\Delta t$. Для этого положения требуется найти мгновенные центры скоростей звеньев, их угловые скорости, изобразить векторы скоростей точек, в которых соединяются звенья, указать направления вращения звеньев. Результаты этого решения должны быть близкими с результатами решения задачи на ЭВМ.

Один из возможных вариантов программы, когда уравнения интегрируются по конечно-разностной схеме Эйлера, приведен в рассмотренном ниже примере 1.

Студенты, имеющие практические навыки программирования, могут усовершенствовать программу. Например, интегрировать систему уравнений методом Рунге-Кутты, используя стандартные подпрограммы, вывести результаты не только в виде таблиц, но и в виде графиков и т.д.

В плоском механизме (рис.1) кривошип OA , вращающийся с постоянной угловой скоростью ω_{1z} , приводит в движение с помощью шатуна AB колесо 3. Колесо катится по горизонтальной прямой без скольжения. К центру D колеса шарнирно прикреплен шатун DC , сообщающий возвратно-поступательное движение ползуну C .

$$OA = R_1 = 0,23i, AB = R_2 = 1,07i, BD = R_3 =$$

$$= 0,57i, DC = R_4 = 0,87i, \omega_{1z} = 3,74\pi^{-1}, \varphi_1(0) = 0,$$

$$\varphi_2(0) = 2,97 \delta \ddot{a}, \varphi_3(0) = 4,17 \delta \ddot{a}, \varphi_4(0) = 3,97 \delta \ddot{a}, \tau =$$

$$= 1,68c, \Delta t = 0,07c.$$

Требуется: 1. Составить дифференциальные уравнения движения механизма, определяющие изменение во времени угловых скоростей, углов поворота звеньев и скорости точки C . 2. Решить полученную систему уравнений на ЭВМ на интервале времени τ . 3. Построить графики $\omega_{2z}(t), \omega_{3z}(t), v_{Cy}(t), \varphi_2(t)$. 4. Для момента времени $t = 8\Delta t = 0,56c$ определить с помощью графоаналитического метода угловые скорости звеньев и сравнить с результатом счета на ЭВМ.

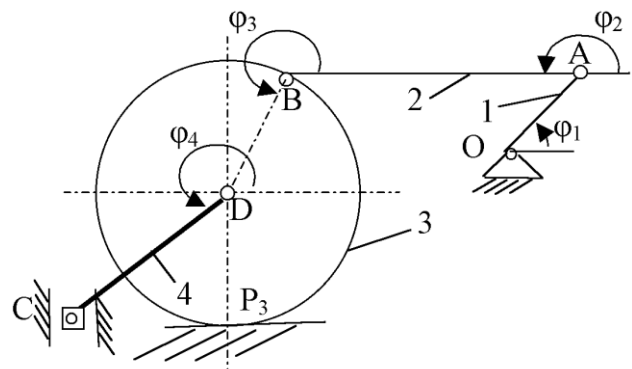


Рис. 1

Составим уравнения для трех неизвестных угловых скоростей ω_{2z} , ω_{3z} , ω_{4z} . Они определяются внешними связями, налагаемыми на механизм, в точке P_3 (МЦС третьего звена) и в точке C (ползун). Уравнения этих связей: $v_{P_{3x}} = 0, v_{P_{3y}} = 0, v_{Cx} = 0$.

При вычислении скорости точки P_3 последовательно находим скорости точек в соответствии с графом $O \xrightarrow{1} A \xrightarrow{2} B \xrightarrow{3} D \xrightarrow{3} P_3$. Стрелкой обозначен переход от точки, принимаемой за полюс, к точке, скорость которой вычисляется. Индекс над стрелкой соответствует номеру тела, для которого совершается переход. Учитывая, что скорость точки O равна нулю, получим

$$\bar{v}_{P_3} = \bar{\omega}_1 \times \overline{OA} + \bar{\omega}_2 \times \overline{AB} + \bar{\omega}_3 \times \overline{BD} + \bar{\omega}_3 \times \overline{DP_3}.$$

Проецируем обе части этого равенства на координатные оси:

$$v_{P_{3x}} = -\omega_{1z} R_1 \sin \varphi_1 - \omega_{2z} R_2 \sin \varphi_2 - \omega_{3z} R_3 \sin \varphi_3 - \omega_{3z} R_3 \sin \frac{3\pi}{2};$$

$$v_{P_{3y}} = \omega_{1z} R_1 \cos \varphi_1 + \omega_{2z} R_2 \cos \varphi_2 + \omega_{3z} R_3 \cos \varphi_3 + \omega_{3z} R_3 \cos \frac{3\pi}{2}.$$

Скорость точки C вычисляем в соответствии с графом $P_3 \xrightarrow{3} D \xrightarrow{4} C$. Учитывая, что скорость точки P_3 равна нулю, получим

$$\bar{v}_C = \bar{\omega}_3 \times \overline{P_3D} + \bar{\omega}_4 \times \overline{DC}.$$

Отсюда

$$v_{Cx} = -\omega_{3z} R_3 \sin \frac{\pi}{2} - \omega_{4z} R_4 \sin \varphi_4;$$

$$v_{Cy} = \omega_{3z} R_3 \cos \frac{\pi}{2} + \omega_{4z} R_4 \cos \varphi_4.$$

Приравняв к нулю правые части, получим систему алгебраических уравнений для определения ω_{2z} , ω_{3z} , ω_{4z} :

$$-\omega_{1z} R_1 \sin \varphi_1 - \omega_{2z} R_2 \sin \varphi_2 + \omega_{3z} R_3 (1 - \sin \varphi_3) = 0;$$

$$-\omega_{1z} R_1 \cos \varphi_1 + \omega_{2z} R_2 \cos \varphi_2 + \omega_{3z} R_3 \cos \varphi_3 = 0;$$

$$-\omega_{3z} R_3 - \omega_{4z} R_4 \sin \varphi_4 = 0.$$

Разрешим эту систему и подставим числовые значения $R_1, R_2, R_3, R_4, \omega_{1z}$. Тогда

$$\omega_{2x} = -0,804 \frac{[\cos \varphi_1 + \sin(\varphi_1 - \varphi_3)]}{[\cos \varphi_1 + \sin(\varphi_2 - \varphi_3)]};$$

$$\omega_{3x} = -\frac{(1,51 \cos \varphi_1 + 1,88 \omega_{2x} \cos \varphi_2)}{\cos \varphi_3};$$

$$\omega_{4x} = -\frac{0,655 \omega_{3x}}{\sin \varphi_4}.$$

Дополним их следующими уравнениями: $\dot{\varphi}_1 = \omega_{1z}, \dot{\varphi}_2 = \omega_{2z}, \dot{\varphi}_3 = \omega_{3z}, \dot{\varphi}_4 = \omega_{4z}$.

Проекция скорости ползуна C на направление его движения определится как $v_{Cy} = 0,87 \omega_{4z} \cos \varphi_4$.

Для контроля правильности проделанных преобразований вычислим угловые скорости в начальном положении механизма

$$\omega_{2z} = 0,778 \delta \ddot{a} / \ddot{n}, \omega_{3z} = 0,132 \delta \ddot{a} / \ddot{n}, \omega_{4z} = 0,117 \delta \ddot{a} / \ddot{n}.$$

Эти величины составляют 0,1-0,4 от величины ω_{1z} , что соответствует оговоренным условиям.

Вычисления проводятся с программированием на языке ФОРТРАН. Следует заметить, что студенту не запрещается использовать и другие алгоритмические языки, например БЕЙСИК, ПАСКАЛЬ и т.д.

Конечно-разностная схема Эйлера для полученных уравнений приводит к следующим зависимостям, связывающим значения углов и угловых скоростей в начале и конце k -го шага интегрирования

$$\varphi_1^{(k+1)} = \varphi_1^{(k)} + \omega_{1z}^{(k)} \Delta t, \dots, \varphi_4^{(k+1)} = \varphi_4^{(k)} + \omega_{1z}^{(k)} \Delta t.$$

По результатам решения построены графики $\omega_{2z}(t)$, $\omega_{3z}(t)$, $v_{Cy}(t)$, $\varphi_2(t)$ (рис.2). Как видно из рис. 2, графики не имеют разрывов. При $t=0, t=\tau$ значения переменных совпадают с хорошей точностью, что соответствует периодическому характеру движения механизма при равномерном вращении ведущего звена.

Проведем графоаналитическую проверку. Извлечем из таблицы счета значения углов поворота звеньев, соответствующих моменту времени $t = 0,56$ с для строки с номером $N+2=9$:

$$\varphi_1 = 3,74 \cdot 0,56 = 2,09 \delta \ddot{a} = 120^\circ,$$

$$\varphi_2 = 3,13 \delta \ddot{a} \approx 180^\circ,$$

$$\varphi_3 = 4,48 \delta \ddot{a} \approx 257^\circ,$$

$$\varphi_4 = 4,22 \delta \ddot{a} \approx 242^\circ.$$

Это положение механизма показано на рис.3 в масштабе 1:10. Построим мгновенные центры скоростей P_2, P_3, P_4 соответствующих звеньев.

Построим векторы скоростей точек A, B, C, D , укажем дугowymi стрелками направления вращения звеньев, вычислим их угловые скорости и скорость точки C :

$$\omega_2 = \frac{v_A}{AP_2} = \omega_1 \frac{OA}{AP_2} = \frac{3,74 \cdot 0,23}{1,81} = 0,48 \text{ рад/с};$$

$$\omega_3 = \frac{v_B}{BP_3} = \omega_2 \frac{BP_3}{BP_3} = \frac{0,48 \cdot 1,58}{1,13} = 0,67 \text{ рад/с};$$

$$\omega_4 = \frac{v_D}{DP_4} = \omega_3 \frac{R_3}{DP_4} = 0,67 \cdot 0,57 / 0,95 = 0,52 \text{ рад/с};$$

$$v_C = \omega_4 CP_4 = 0,52 \cdot 0,39 = 0,203 \text{ м/с}.$$

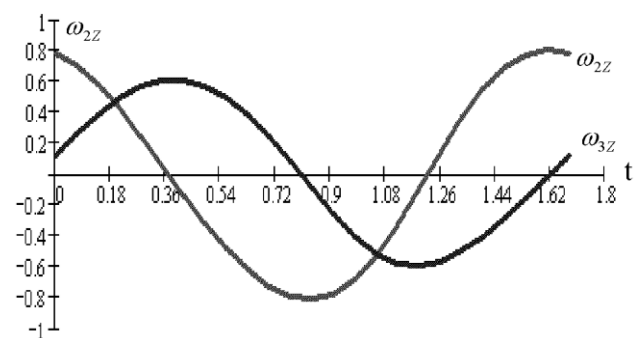


Рис. 2

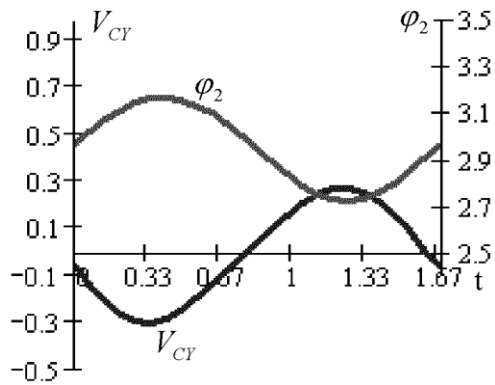


Рис. 3

Эти результаты соответствуют данным из девятой строки таблицы счета.

В заключение отметим, что: 1) для постепенного формирования у каждого студента умения самостоя-

тельно овладевать знаниями, целесообразно подбирать РГЗ, составленные на междисциплинарной основе; 2) задания, построенные таким образом, позволяют работать всем студентам, при этом возможна самооценка понимания изучаемой дисциплины; 3) использование методики комбинированного применения аналитических и численных способов решения расчетно-графических заданий по теоретической механике можно рекомендовать в первую очередь для студентов механических специальностей.

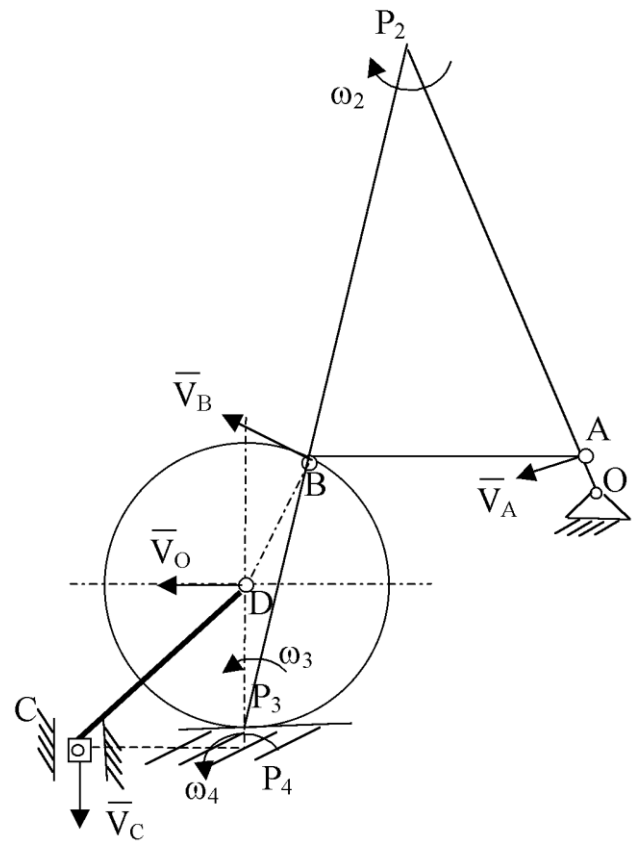


Рис. 4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожаметова А.К., Умбеталиева У.Л., Филиппова Т.С. Анализ и оценка самостоятельной работы студентов// Труды университета. Караганда: Изд-во. КарГТУ, 2005. Вып. 4. С.71-73.
2. Кожаметова А.К., Умбеталиева У.Л., Тусупбаев Н.Б., Южаков И.Ю. Методические указания по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Теоретическая механика». Караганда, 2005. 27 с.
3. Курс теоретической механики: Учебник для вузов / Под ред. академика К.С. Колесникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 736 с.
4. Новожилов И.В., Зацепин М.Ф. Типовые расчеты по теоретической механике на базе ЭВМ: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1986. 136 с.

УДК 622.28

С.Н. БОЛОТКИН
А.Е. СУДАРИКОВ

Расчет шахтных статически неопределимых крепей без использования методов сил или перемещений

Применяемые в настоящее время методы расчета стальных или бетонных замкнутых крепей, которые являются единожды статически неопределимыми, решаются методами перемещений [1,2]. При этом требуется задавать модуль упругости материала E и момент инерции сечения J , являющийся геометрической характеристикой сечения, которая заранее неизвестна. Поэтому найденное значение отброшенной связи (реакции) может быть различным в зависимости от заданного значения жесткости элемента EJ . Для нахождения же перемещений требуется построение грузовых и единичных эпюр, их перемножение, что особенно усложняет их выполнение в связи с криволинейностью крепи.

Однако многие сложности могут быть уменьшены, если для решения статически неопределимой системы применить известные положения теории сопротивления материалов.

В частности, для кольцевой статически неопределимой крепи (рис. 1а) реакции N и T как

$$N = q_a \cdot R, \quad (1)$$

$$T = q_a \cdot R. \quad (2)$$

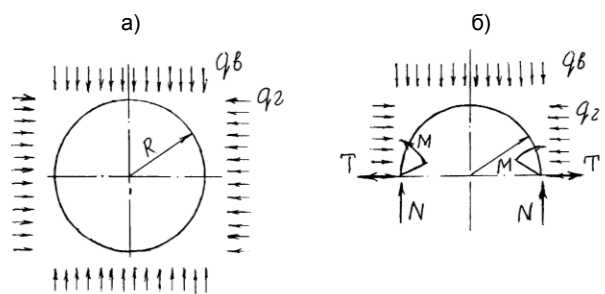


Рис. 1. а) Заданная система; б) Расчетная схема

Величина и направление неизвестного момента M могут быть найдены из условия, что изгибающие моменты в какой-либо точке на дуге радиуса R , слева и справа относительно этой точки, равны между собой, т.е.

$$M_{i\partial\partial\hat{a}_m} = M_{e\partial\hat{a}_m}.$$

Так, в отношении точки m (рис. 1 б) имеем

$$\begin{cases} M_{e\partial\hat{a}_m} = M + NR + TR - q_a \cdot R^2/2 - q_2 \cdot R^2/2; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} M_{i\partial\hat{a}_m} = M - NR - TR + q_a \cdot R^2/2 + q_2 \cdot R^2/2. \end{cases} \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) получим

$$-M = NR + TR - q_a \cdot R^2/2 - q_2 \cdot R^2/2 - q_2 \cdot R^2/2. \quad (5)$$

Изгибающий момент в произвольной точке n составит

$$M_n = -M + N(R - R \cdot \cos \alpha_n) + T \sin \alpha_n - q_a(R - R \cdot \cos \alpha_n)^2/2 + q_2(R \cdot \sin \alpha_n)^2/2. \quad (6)$$

Продольная (осевая) сила, действующая в сечении крепи, определится как

$$N_n = N \cdot \cos \alpha_n - T \sin \alpha_n - q_a(R - R \cdot \cos \alpha_n) + q_2 R \cdot \sin^2 \alpha_n. \quad (7)$$

Для крепи с обратным сводом (рис. 2)

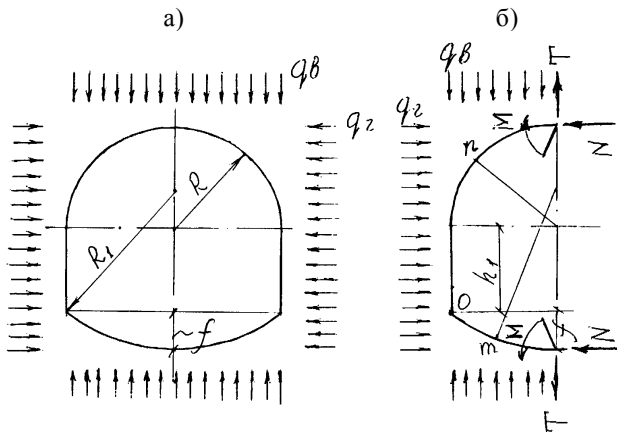


Рис. 2. а) Заданная система; б) Расчетная схема крепи с обратным сводом

Имеем

$$N = q_2(R + f)/2; \quad (8)$$

$$T = q_a \cdot R. \quad (9)$$

Для определения изгибающего момента M в условной заделке имеем относительно точки O $M_{\partial \partial \partial} = \dot{I}_{\partial \partial}.$

$$\dot{I}_{\partial \partial \partial} = \dot{I} + N(R + h) + T \cdot R - q_a \cdot R^2/2 - q_a(R + h)^2/2; \quad (10)$$

$$\dot{I}_{\partial \partial \partial} = -\dot{I} - N \cdot f - T \cdot R + q_a \cdot R^2/2 + q_a f^2/2. \quad (11)$$

Из равенства $M_{\partial \partial \partial} = \dot{I}_{\partial \partial}$ получим

$$-M = 0,5N(R + h + f) + TR - q_a R^2/2 - 0,25q_2(R + h)^2 - 0,25q_2 f^2. \quad (12)$$

Изгибающий момент в своде крепи радиусом R в произвольной точке

$$M_n = M - N(R - R \cdot \cos \alpha) - T \cdot \sin \alpha + 0,5q_a(R \sin \alpha)^2 + 0,5q_2(R - R \cdot \cos \alpha)^2. \quad (13)$$

На прямой части в произвольной точке C получим

$$M_c = \dot{I} + N(R + h_1) + TR - q_a R^2/2 - q_2(R + h_1)^2/2. \quad (14)$$

Продольная сила в произвольной точке определится как

$$N_n = N \cdot \cos \alpha - T \sin \alpha + q_a R \cdot \cos^2 \alpha - q_2(R - R \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \alpha. \quad (15)$$

Продольная сила на прямой части, (точка O), точка C

$$N_o = T - q_a \cdot R; \quad (16)$$

Для обратного свода изгибающий момент в произвольной точке m составит

$$M_m = M + N(R_1 - R_1 \cdot \cos \beta) + T \sin \beta + q_a(R_1 - R_1 \cdot \cos \beta)^2/2 - q_a. \quad (17)$$

Продольная (осевая) сила в произвольной точке m обратного свода определится как

$$N_n = N \cdot \cos \beta - T \sin \beta - q_a(R_1 - R_1 \cdot \cos^2 \beta) + q_a R_1 \cdot \sin^2 \beta. \quad (18)$$

Поэтому предложенный метод определения величины и знака отброшенной связи решением системы уравнений, с использованием положения о том, что изгибающий момент в какой-либо точке шахтной крепи слева и справа относительно этой точки равен между собой, позволяет значительно уменьшить трудоемкость вычислений и может быть использован для нахождения неизвестной реакции в других статически неопределимых системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нуждихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок: Справочник. М.: Недра, 1989.
2. Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных и подготовительных выработок. М.: Недра, 1986.

УДК 548.736.5

М.П. ПУЗЕЕВА
В.С. ПОРТНОВ
В.М. ЮРОВ

Влияние давления и температуры на удельное сопротивление осадочных горных пород

Для разведочной геофизики с точки зрения поисков нефти, газа, подземных вод наибольший интерес представляет зависимость удельного сопротивления осадочных горных пород от температуры в интервале $10^{-1} \div 10^2$ °C и давления до 10^3 МПа. В этой области изменения физических условий удельное сопротивление породы варьирует главным образом за счет изменения проводимости растворов,

насыщающих поры, и самого параметра пористости.

Электрические свойства минералов при повышенных температурах определяются их химическим составом и типом кристаллической структуры. Самым большим сопротивлением в широком интервале температур обладают минералы в виде окислов: MgO , Al_2O_3 , SiO_2 и CaO .

Высокие изоляционные свойства этих окислов обусловлены ионными связями при малых ионных радиусах катионов, обладающих незначительной поляризуемостью. Сопротивление окислов, образованных катионами Fe^{2+} и Fe^{3+} , меньше и сильно зависит от наличия примесей.

Величина и интенсивность изменения сопротивления силикатов из группы оливина, граната, пироксена и амфибола с повышением температуры определяются типом катионов. Чем больше в минералах содержится Mg^{2+} , Al^{3+} и Si^{2+} , тем выше их сопротивление и тем больше оно увеличивается с повышением температуры. Наименьшим сопротивлением при $t = 100-1100^\circ C$ в ряду указанных силикатов обладают минералы, в составе которых одновременно присутствуют катионы двух- и трехвалентного железа, а также катионы натрия — рибекит, эгирин и ряд других.

Известно, что удельное сопротивление электролитов уменьшается с повышением их температуры по закону [1]:

$$\rho_t = \frac{\rho_{18^\circ}}{1 + \alpha_t(t - 18^\circ)}, \quad (1)$$

здесь ρ_t — сопротивление раствора при температуре $t^\circ C$;

ρ_{18} — сопротивление раствора при $18^\circ C$;

α_t — температурный коэффициент, равный в среднем 0,025.

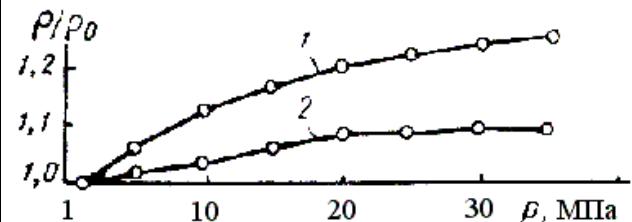
Учитывая, что осадочные горные породы проводят электрический ток главным образом через растворы, в них содержащиеся, следует ожидать, что закон изменения удельного сопротивления в зависимости от температуры будет сходным с приведенным выше. Вместе с тем имеется точка зрения, в соответствии с которой повышение температуры в некотором интервале может сопровождаться испарением поровой жидкости и соответственно увеличением удельного сопротивления горной породы [2].

Зависимость удельного сопротивления горных пород от температуры в области ее отрицательных значений определяется, прежде всего, фазовым переходом от жидкости к твердому состоянию растворов, насыщающих поры горных пород, а также тем, что удельное сопротивление льда практически бесконечно велико. При замерзании жидкости, находящейся в порах горных пород, сопротивление последних резко увеличивается, что характерно для грубодисперсных пород типа гравия, песков и других.

В тонкодисперсных породах типа глин, глинистых суглинков и т.п. значительная часть воды находится в связанном состоянии в пограничном слое между твердой и жидкой фазами породы. Установлено, что температура замерзания связанной воды существенно ниже, чем свободной. В связи с отмеченным выше, сопротивление тонкодисперсных пород с понижением температуры увеличивается менее интенсивно, чем сопротивление грубодисперсных пород.

Зависимость удельного сопротивления горной породы от давления в диапазоне до 10^2 МПа, наиболее интересном для разведочной геофизики, явно

выражена у пористых горных пород, что связано с уменьшением сечения порового пространства и усложнением его формы. Экспериментально установлено, что с увеличением давления сопротивление осадочных пород, а также параметр пористости увеличиваются. Степень этой зависимости, очевидно, зависит от структуры порового пространства породы и состава цемента [2,3]. В частности, у песчаников с глинисто-карбонатным цементом относительное увеличение сопротивления ρ/ρ_0 (ρ_0 — сопротивление при нормальном давлении) с ростом давления происходит быстрее, чем у песчаников с карбонатным цементом (рис.). Определяющее влияние глинистого материала на характер зависимости сопротивления от давления отмечается в ряде работ.



Зависимость относительного сопротивления песчаников с различным цементом от давления (по Л.М. Мармонштейн и др.) Цемент: 1 — глинисто-карбонатный, 2 — карбонатный

Рассмотрим гомогенную изотропную среду, которая содержит $\bar{N}$ электронов проводимости и характеризуется термодинамическим потенциалом Гиббса G° . Возникновение тока плотностью j в среде является откликом системы невзаимодействующих электронов на внешнее поле и имеет вид [4]:

$$\Phi = \frac{1}{1 + C_1 \exp \left\{ -\frac{E_m - G^\circ / \bar{N}}{kT} \right\}}, \quad (2)$$

где $C_1 = 2\Delta S k \tau_p / \tau = \text{const}$ (смысл входящих в это

выражение величин такой же, как и в [4]);

$E_m = eE$;

e — заряд электрона;

T — температура в Кельвинах.

После линеаризации (2) при $\Phi = j$ получим:

$$j = \frac{kT}{C_1} \frac{eE}{G^\circ} \cdot \bar{N}. \quad (3)$$

Когда $\bar{N} = \text{const}$, мы из (3) имеем закон Ома в дифференциальной форме

$$j = \sigma E, \quad (4)$$

где

$$\sigma = \frac{kT}{C_1} \frac{e\bar{N}}{G^\circ}. \quad (5)$$

Проводимость σ связана с удельным сопротивлением ρ соотношением

$$\rho = 1/\sigma = CG^\circ / kTe \bar{N}. \quad (6)$$

Константа C характеризует процесс перехода системы электронов из возбужденного состояния в основное и примерно одинакова для многих веществ. Исключение могут составлять только те вещества, где реализуются специфические механизмы рассеяния.

Таким образом, гетерогенность среды будет сказываться на ее электропроводности через энергию Гиббса G° , которую необходимо вычислять исходя из термодинамики твердых растворов [5].

Поскольку, как известно,

$$G^\circ = H - TS + PV, \quad (7)$$

где H — энтальпия;

T — температура;

S — энтропия;

V — объем, то из (6) следует, что

$$\rho/\rho_0 = \beta \cdot P/P_0, \quad (8)$$

где P_0 — атмосферное давление,

β — некоторая определяемая константа.

Из (8) следует линейная зависимость удельного сопротивления от давления.

Действительно, как показано на рисунке, значительная часть графика аппроксимируется линейной функцией. Отклонения, наблюдаемые при малых давлениях, обусловлены теми приближениями, о которых мы говорили выше. Для более точного расчета нужно воспользоваться точным выражением (2).

В зависимости от пористости, состава пород и извилистости поровых каналов упругие изменения удельного сопротивления при изменении давления до 150 МПа могут достигать пяти раз и более (карбонатные породы, ангидриты). Для пород одинакового литологического состава наибольшие изменения удельного сопротивления свойственны низкопористым разностям. С увеличением пористости изменение удельного сопротивления от давления уменьшается.

Температурная зависимость электропроводности горных пород и минералов имеет сложную форму из-за температурной зависимости практически всех параметров, входящих в выражение (6). Ситуация упрощается, поскольку в реальных и практически важных случаях наблюдается, как правило, один тип проводимости. В случае электролитов выражение (6) дает:

$$\rho = A/kT, \quad (9)$$

где A — некоторая константа.

Формула (9) показывает гиперболическую зависимость электропроводности насыщенных водой гор-

ных пород, аналогичную эмпирической зависимости (1).

В случае, когда горные породы и минералы представляют собой диэлектрики или полупроводники, то в (6) следует положить концентрацию зарядов N равной:

$$N = N_0 \exp(Q/kT), \quad (10)$$

где Q — энергия активации;

N_0 — число Авогадро.

Из формулы (6) тогда следует:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{Q}{kT}\right), \quad (11)$$

что соответствует классическим теориям.

Совместное использование формул (6) и (11) позволяет значительно расширить информативность методов электроразведки.

Несмотря на значительные успехи в теории электропроводности неупорядоченных и некристаллических систем, эти результаты не могут быть основой для построения теории электропроводности в гетерогенных системах. Дело в том, что в упомянутых выше теориях движение электронов рассматривается в поле неперiodического случайного потенциала, которое создается хаотически расположенными атомами (аморфные полупроводники, стекла, жидкие металлы и т.д.) в пределах гомогенного химического состава. В основе такого рассмотрения также лежит уравнение Шредингера, как и в случае зонной теории кристаллических твердых тел.

В гетерогенной же среде случайным образом расположены не атомы, а микрокристаллиты различных по проводимости веществ. Это существенно усложняет задачу.

Задача облегчается в случае, когда электропроводящие микрокристаллы представляют собой включения в виде тончайших прожилок и ксеноморфных выделений либо когда они образуют твердые растворы. Так или иначе, создание теории электропроводности гетерогенных сред представляет собой довольно сложную задачу. Выше мы показали некоторые аспекты этой проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобранова В. Н. Петрофизика. М.: Недра, 1986. 392 с.
2. Петровский А. Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. М.: Недра, 1971. 365 с.
3. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: Справочник геофизика / Под ред. Н. Б. Дортмана. М.: Недра, 1984. 455 с.
4. Портнов В. С., Юров В. М. Термодинамические аспекты в магнитометрии // Труды КарГТУ. 2003. Вып. 2. С. 36-41.
5. Саксена С. Термодинамика твердых растворов породообразующих минералов. М.: Мир, 1975. 205 с.

УДК 551.58
А.В. ЕГОРИНА

Высотная поясность Юго-Западного Алтая и особенности структуры барьерных ландшафтов

В разработке теории районирования горных стран большую роль сыграли труды А.А. Григорьева [1], А.Г. Исаченко [2], Н.А. Гвоздецкого [3] и других видных ученых-географов. В статье использована сетка комплексного физико-географического районирования методом наложения высотной поясности в пределах исследуемого региона Юго-Западного Алтая.

Регион расположен на стыке трех физико-географических стран — гор Юга Сибири, Центрально-Казахстанской складчатой и Джунгаро-Саур-Тарбагатайской. Горные области соответствуют отрезку природной зоны, то есть носят зональные черты и занимают самостоятельные орографические или тектонические элементы страны. Для Юго-Западного Алтая — это Алтайская лесостепная, Чингизтауская степная и Саур-Тарбагатайская полупустынная области. Каждой из них присущ собственный тип структуры высотных геосистем. Горная провинция составляет часть горной области и обладает своим определенным типом структуры поясности, который обусловлен общностью неотектонического развития, орографическими особенностями, климатическими условиями и определяет основную направленность ее сельскохозяйственной специализации. Алтайская горная область заходит на исследуемую территорию Юго-Западно-Алтайской горной провинцией, Центрально-Казахстанская — Кокпектино-Чарской, Саур-Тарбагатайская — Зайсанской провинцией.

Горная провинция, в частности, рассматривается основной физико-географической единицей и соответствует природным комплексам регионального ранга: Рудного, Южного Алтая, Калбинского нагорья и Зайсанской впадины и Саур-Тарбагатай.

Юго-Западный Алтай расположен в степной зоне (южной подзоне сухих типчаково-ковыльных степей) и полупустынной зоне. Здесь сформировался свой тип структуры высотных барьерных геосистем: юго-западно-алтайский и саур-тарбагатайский. Спектры высотных ландшафтных поясов слагаются в основном из подгорно-полупустынного, низкогорного степного, среднегорного лесного (с преобладанием черневых кедрово-елово-пихтовых лесов) высокогорного лугового, тундрового и нивального поясов.

Рельеф и геологическое строение, а также особенности климата и гидрографии обусловили пространственное обособление, тип структуры и специфику природных комплексов Юго-Западного Алтая [4].

Согласно Г.В. Гельдыевой [5], исследуемый регион отнесен к классу горных ландшафтов, в пределах класса выделены подклассы: предгорный, низкогорный, среднегорный, высокогорный, внутригорных и межгорных впадин. Внутри подклассов выделяются типы и виды ландшафтов.

В пределах Рудного Алтая на различных гипсометрических уровнях определенное

соотношение тепла и влаги привело к формированию разнообразных барьерных типов ландшафтной структуры, постепенно сменяющейся с запада на восток: степные равнины Прииртышья переходят в наветренные лугово-степные предгорные равнины и мелкосопочник. В низкогорье формируются горно-степной, горный лугово-степной и горный лесостепной типы барьерных ландшафтов. Лесостепной тип хорошо развит в горах Рудного Алтая, особенно на его северо-западных склонах. Среднегорье соответствует горно-лесному и горно-луговому типам ландшафтов, а в высокогорье господствуют горный субальпийский и гляциально-нивный типы (см. рис.).

Особенности Южного Алтая в сравнении с Рудным проявились не только в различиях гидротермических показателей, но и в своеобразии барьерных типов ландшафтной структуры высотного спектра.

Пояса увлажненности в Южном Алтае смещены вверх примерно на 400-500 м в сравнении с Рудным Алтаем. Поэтому высотные ландшафтные пояса Рудного Алтая начинаются со степей, а Южного — там, где предгорья обращены к Зайсанской впадине, — с подгорных полупустынь.

Для высокогорий Южного Алтая характерны типы нивальных ландшафтов; для среднегорий — горно-луговые и лесные; для низкогорий — лесостепные и горно-степные; для внутригорных флювиогляциальных равнин Маркаоля — лесолуговые; для внутригорных котловин (Орловской, Нарымской, Катон-Карагайской и др.) характерны степные ландшафты. (см. рис.)

Тип структуры барьерных ландшафтов Калбы зависит от ориентировки склонов водораздельного хребта по отношению к основным влагонесущим потокам. Так, среднегорья Северной Калбы заняты лесными ландшафтами, низкогорья и предгорья — степными; подгорные равнины на юго-востоке хребта — полупустынными ландшафтами.

В Зайсанской межгорной впадине, по совокупности биоклиматических показателей, выделены следующие типы ландшафтов: пустынный, полупустынный, степной и речных долин (долинный).

Особенности распределения почвенного и растительного покрова Юго-Западного Алтая прежде всего связаны с его зональным положением, а также с климатическими и орографическими условиями, которые одновременно определяют и вертикальную поясность.

В пределах проявления вертикальной поясности выделяются горные провинции, которые соответствуют рассматриваемым природным комплексам и заметно различаются особенностями климата, растительности и почв, а также спектром вертикальных поясов.

Высокогорный тундровый пояс занимает высокие части сглаженного или альпийского рельефа.

Естественную растительность составляют зеленые мхи, лишайники с участием высших цветковых растений, в том числе приземистых альпийских трав: осок, злаков, разнотравья, стелющихся кустарников. Под такой растительностью формируются горно-тундровые почвы. Растительность и почвы не создают сплошного покрова [6].

Высокогорный пояс альпийских лугов располагается в пределах хорошо и достаточно увлажненных атмосферными осадками высокогорий исследуемого региона.

Растительный покров образует дернину, что способствует гумусонакоплению. В составе растительности преобладают разнотравье, альпийские травы, к которым местами присоединяются зеленые мхи и лишайники. Верхний ярус пояса занимают горно-луговые альпийские почвы. Растительность и почвенный покров занимают 70-90% поверхности, остальная площадь покрыта скалами и осыпями. Растительность представлена низкотравными альпийскими лугами, в составе которых главную роль играет альпийское разнотравье, широко представлены злаки.

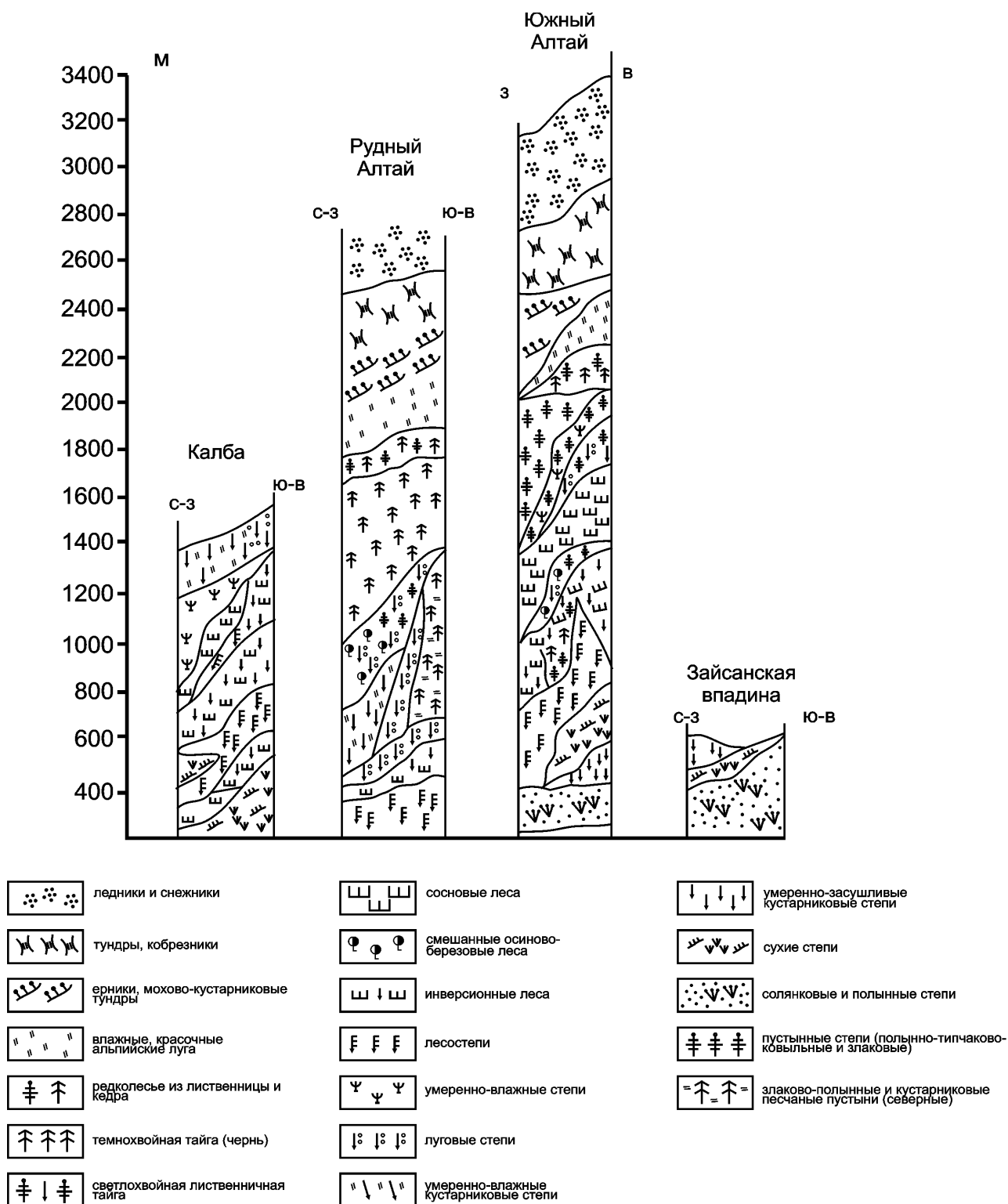
Среднегорный пояс субальпийских лугов наиболее широко представлен на Южном Алтае. Под ними формируются горно-луговые субальпийские почвы с высоким содержанием гумуса — 14-23% [7].

Растительный покров в отличие от альпийских лугов более сомкнут — 90-100% и лучше развит. В составе растительности в значительном количестве появляются специфические субальпийские растения: стланиковые формы кедра, пихты, куртины арчи, кедрово-лиственничные редколесья, на южных склонах — представители степной флоры.

Среднегорный лесной (таежный) пояс характеризуется преобладанием в растительном покрове темнохвойных пихтовых и кедровых или светлохвойных лиственничных, сосновых таежных лесов с подчиненной ролью открытых лесных лугов.

В Рудном Алтае лес начинается почти у подножия гор, то есть на высоте примерно 350-400 м, а по хребтам Южного Алтая лес поднимается вверх до 2000-2400 м. По данным В.В. Сапожникова [8], граница леса на Рудном Алтае проходит на высотах 1700-1900 м, на Катунском хребте — 2050-2290 м, на Южном Алтае 2300-2380 м.

В наиболее увлажняемых районах Рудного Алтая в условиях преимущественно крутосклонного и среднегорного рельефа развиты горно-таежные «холодные» кислоземы. В северо-западной части до водораздела Ивановского хребта они занимают склоны всех экспозиций.



Спектр высотных поясов и структура барьерных ландшафтов Юго-Западного Алтая

Естественная растительность представлена пихтовыми лесами (черневая тайга). Под пологом леса местами произрастают лесные кустарники, их роль возрастает на лучше освещаемых и более сухих склонах. В пихтовниках хорошо развит травянистый покров, преимущественно крупнотравье.

В пределах внутренних хребтов Южного Алтая растительный покров представлен сосновыми лесами с примесью темнохвойных пород, реже встречаются леса из кедра. Лиственничные породы составляют редкий подросток из чернотала и кустарников.

Низогорный лесостепной пояс является переходным от таежных лесов к степям. Почвенный покров представлен горно-лесными серыми, горно-лесными черноземовидными и горными дерновыми почвами. Они сформировались в условиях низогорного рельефа Рудного, Южного Алтая и Калбы, занимая склоны почти исключительно северных экспозиций [9].

Естественная растительность представлена смешанными лесами — осиново-пихтовыми, березово-пихтовыми, вторичными пихтово-

осиновыми и осиновыми, реже березовыми, под пологом леса и на полянах произрастают кустарники.

Горно-лесные черноземовидные почвы встречаются в нижней части пояса. Естественная растительность этих почв довольно различна. На Южном Алтае доминирует лиственница сибирская, к которой может присоединиться береза, под пологом леса — кустарники и разнотравно-злаковая или злаково-разнотравная лесолуговая травянистая растительность.

На самых высоких гранитных массивах Калбы встречаются сосновые боры, их можно рассматривать как фрагменты среднегорного лесного или лесостепного пояса.

Горные лугово-степные почвы представлены на Рудном Алтае и Калбе и занимают в основном крутые южные склоны, реже западные и плоские щебнистые вершины низкогорий. На Южном Алтае — крутые и покатые южные и западные склоны. Естественная растительность разнотравно-злаковая и злаково-разнотравная лугово-степная.

Горно-степные почвы распространены преимущественно на общих южных склонах хребтов Южного Алтая и Калбы в низкогорной их части. Они формируются на хорошо прогреваемых крутых, реже покатых склонах. Растительность на таких почвах состоит из степных трав, в том числе из ксерофильных дерновинных злаков и разнотравья, а также из степных кустарников.

Равнинно-предгорный злаково-разнотравный степной пояс, начинаясь на северо-западе исследуемого региона на предгорных равнинах, в направлении к югу и юго-востоку поднимается все выше в горы, представлен горными и степными черноземами. В Рудном Алтае они менее гумусны, а в Южном Алтае, наоборот, более гумусны.

Естественная растительность горных черноземов довольно разнообразна и представлена злаково-разнотравными и разнотравно-злаковыми, зачастую кустарниковыми зарослями разного видового состава (розари и др.).

На предгорных равнинах Рудного Алтая (ныне они почти сплошь распаханы и ландшафты сильно антропогенизированы) в верхней части пояса произрастали ковыльно-разнотравные, ниже разнотравно-ковыльные и ковыльно-типчаковые степи, большей частью кустарниковые.

В межгорной Большенарымской долине в ее восточной части расположены разнотравно-ковыльные сухие степи, а в западной ковыльно-типчаковые. В нижней части склонов Нарымского хребта они сменяются горными ковыльно-разнотравными степями.

В предгорьях Калбы произрастали в основном ковыльно-типчаковые степи, на более выровненных поверхностях встречаются острова разнотравно-

ковыльных или разнотравно-овсецовых степей. Степи почти полностью распаханы.

Черноземы обыкновенные широко распространены в предгорьях и отчасти в межгорных долинах Рудного, Южного Алтая и Калбы.

Черноземы южные формируются в наиболее засушливой полосе в пределах межгорных долин Алтая. Естественный покров представлен бедными разнотравно-ковыльными степями.

Горные темно-каштановые почвы занимают нижнюю часть полосы низкогорного и полосу предгорного рельефа на Южном Алтае и Калбе.

Подгорно-равнинный полупустынный (пустынно-степной) пояс в основном приурочен к периферии Зайсанской впадины и частично к ее горному окаймлению. В ее северной половине распространены полынно-типчаковые и полынно-ковыльно-типчаковые пустынные степи. На песках Верхне-Иртышских Кызылкумов — полынно-злаковые пустынные степи.

В южной половине Зайсанской впадины распространены полынно-ковыльные и полынно-ковыльно-типчаковые пустынные, отчасти кустарниковые степи.

Почти такие же полынно-ковыльно-типчаковые кустарниковые пустынные степи располагаются на высоких поверхностях Чиликтинской долины.

Горные светло-каштановые почвы формируются в пустынно-степном поясе в полосе предгорного, в том числе мелкосопочного рельефа Южного Алтая. Светло-каштановые почвы преимущественно распространены в Зайсанской впадине и Чиликтинской долине. Растительный покров образован полынно-типчаковыми или полынно-ковыльными опустыненными степями.

Подгорно-равнинный барьерный пустынный пояс занимает центральную Призайсанскую и почти всю восточную часть Зайсанской впадины. Здесь различаются остепненные и типчаковые настоящие пустыни. В остепненных пустынях господствует полынь.

В типичных пустынях среди преобладающей полынной растительности встречаются пятна ежовника с примесью солянок. Значительно менее распространены солянково-полынные, полынно-солянковые и солянковые типчаковые пустыни [9].

Остепненные пустыни простираются узкой полосой вдоль южного побережья озера Зайсан, а также в пределах песчаных массивов.

Горные бурые пустынные почвы формируются на крутых южных, местами западных склонах низкогорий Южного Алтая, обрамляющих северо-восток Зайсанской впадины. На южном склоне Южного Алтая, спускающемся в Зайсанскую впадину, выделяются горные щебнистые пустыни, отличающиеся изреженностью и заметным участием кустарников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А.А. Географическая зональность и некоторые ее закономерности // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1954. №5. С. 17-39.
2. Исаченко А.Г. Основные проблемы ландшафтоведения горных стран // Вопросы ландшафтоведения. Алма-Ата, 1963. С. 91-99.
3. Гвоздецкий Н.А. О высотной зональности как основной закономерности ландшафтной дифференциации горных стран. Алма-Ата, 1963. С. 61-90.

4. Егорина А.В. Пространственно-временная изменчивость гидротермических показателей в природных комплексах Восточного Казахстана. Л., 1990. С. 17-21.
5. Природные условия и естественные ресурсы Восточного Казахстана / Под ред. Г.А. Токмагамбетова. Алма-Ата: Наука, 1978. 180 с.
6. Куминова А.В. Растительный покров Алтая. Новосибирск, 1960. 448 с.
7. Соколов А.А. Общие особенности почвообразования и почв Восточного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1977. С. 6-210.
8. Сапожников В.В. По Русскому и Монгольскому Алтаю / ОГИЗ. М., 1949. С. 81-106.
9. Колходжаев М.К. Почвы Казахстана. Алма-Ата, 1971. С. 59-174.

УДК 622.1:622.271

С.Б. ОЖИГИНА
В.Н. ДОЛГОНОСОВ
С.Г. ОЖИГИН

Исследование закона распределения коэффициента запаса устойчивости

Коэффициент запаса устойчивости представляет собой отношение фактических прочностных характеристик, определенных экспериментальным путем, к приведенным характеристикам, при которых откос с заданной геометрией приведен в предельное состояние [1].

$$n = \frac{\tau_{\phi}}{\tau_{np}}, \quad (1)$$

где τ_{ϕ} — фактическое сопротивление пород сдвигу, МПа;

τ_{np} — приведенное сопротивление пород сдвигу, МПа.

Промежуточные значения коэффициента запаса определяются как отношение удерживающих сил к сдвигающим, действующим по потенциальной поверхности скольжения:

$$n' = \frac{\sum \tau_{уд}}{\sum \tau_{сдв}}. \quad (2)$$

Если сдвигающие силы определяются весом и геометрией призмы возможного обрушения, то величину удерживающих сил помимо перечисленных величин определяют значения прочностных характеристик горных пород — коэффициент сцепления и угол внутреннего трения (в рамках теории предельного равновесия), которые определяются экспериментально и, следовательно, являются случайными величинами.

Допускаемые сдвигающие напряжения (удерживающие силы) определяются в соответствии с уравнением Кулона

$$\tau_{уд} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + k, \quad (3)$$

где σ — нормальные напряжения, Па;

k — коэффициент сцепления, Па;

ρ — угол внутреннего трения, град.

Удерживающие напряжения являются линейной функцией нормально распределенных случайных величин. Таким образом, и коэффициент запаса устойчивости, в соответствии с формулами (1)-(3), также представляет собой линейную функцию нормальных случайных величин.

Нормальный закон распределения обладает свойством устойчивости [2], т. е. композиция нормальных случайных величин также имеет нормальное распределение при условии

независимости компонентов. Тогда, в случае независимости прочностных характеристик (k и ρ), удерживающие напряжения, представляющие их линейную композицию, и коэффициент запаса устойчивости также должны представлять собой нормально распределенную случайную величину.

Коэффициент запаса устойчивости откоса n в общем случае является непрерывной случайной величиной, определяемой как функция случайных аргументов (прочностных характеристик массива горных пород), определяемых экспериментальным способом, — путем выполнения лабораторных и натурных исследований. Значения прочностных характеристик зависят от множества случайных факторов, связанных с условиями и методикой испытаний, отбором проб и образцов и т.д.

Значения прочностных характеристик горных пород являются величинами случайными, удовлетворяющими условиям центральной предельной теоремы А.М.Ляпунова, и можно выдвинуть гипотезу о нормальном законе их распределения.

Выполним статистическую проверку принятой гипотезы. Для проверки соответствия эмпирического распределения случайных значений нормальному закону воспользуемся критерием согласия χ^2 Пирсона.

При исследовании прочностных характеристик горных пород месторождения «Нурказган» лабораторией «Центргеоланалит» выполнен большой объем испытаний образцов пород, в частности туфов андезит-базальтовых, полученных из кернов геологоразведочных скважин. Нами выполнена статистическая обработка полученных данных. Гистограммы распределения прочностных характеристик андезит-базальтовых туфов приведены на рис. 1 и 2.

Вид гистограмм распределения прочностных характеристик подтверждает справедливость гипотез о нормальном распределении коэффициента сцепления и угла внутреннего трения. При выполнении проверки данной гипотезы с применением критерия согласия Пирсона получены результаты, приведенные в табл. 1.

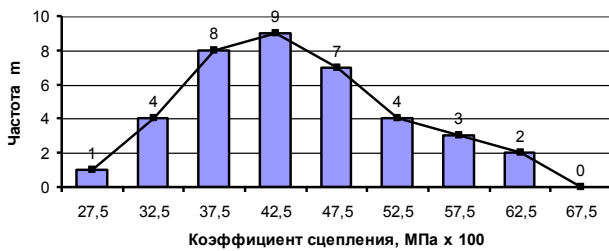


Рис. 1. Гистограмма распределения коэффициента сцепления

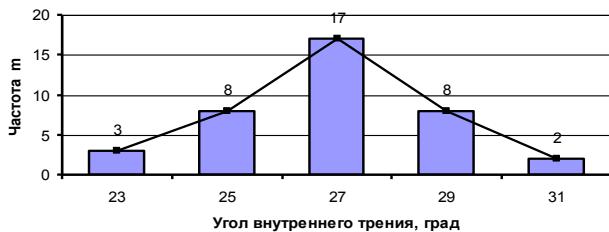


Рис. 2. Гистограмма распределения угла внутреннего трения

Как следует из табл. 1, расчетные значения критерия χ^2 значительно ниже критических значений, что подтверждает хорошее соответствие эмпирического распределения прочностных показателей нормальному закону.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ
О НОРМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Показатель	Расчетное значение χ^2	Критическое значение χ^2		Вывод
		Уровень значимости, α		
		0,01	0,05	
Коэффициент сцепления k , МПа	2,75	16,8	12,6	Гипотеза принята
Угол внутреннего трения ρ , град	0,93	9,2	6,0	Гипотеза принята

Оценки параметров законов распределения коэффициента сцепления и угла внутреннего трения для андезит-базальтовых туфов определены в процессе расчетов и приведены в табл. 2.

На примере месторождения «Нурказган» для андезит-базальтовых туфов по методике проф. П.С. Шпакова выполнен расчет предельного угла наклона α плоского борта карьера высотой $H = 275$ м при средних значениях прочностных характеристик, который составил $\alpha = 56,7^\circ$. Исходные данные для расчета приняты на основе статистической обработки результатов испытаний, предельные параметры откоса определены на основе средних значений прочностных характеристик.

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Показатель	Выборочная средняя (MO)	Дисперсия D	Среднеквадратическое отклонение σ
Коэффициент сцепления k^*102 , МПа	44,2	72,7	8,5
Угол внутреннего трения ρ , град	26,9	3,77	1,94

Выполненные многочисленные расчеты (более 300) коэффициента запаса устойчивости предельного откоса ($H = 275$ м, $\alpha = 56,7^\circ$) с различными комбинациями коэффициента сцепления и угла внутреннего трения, полученными из испытаний, позволили произвести статистический анализ полученных результатов и построить частотную гистограмму коэффициента запаса устойчивости (рис. 3).



Рис. 3. Гистограмма распределения коэффициента запаса устойчивости

Вид гистограммы позволяет выдвинуть две гипотезы: о нормальном законе и о гамма-распределении коэффициента запаса устойчивости, которые были подвергнуты статистической проверке при помощи критерия согласия Пирсона χ^2 . Гипотеза о нормальном распределении была отвергнута в связи с большими значениями отклонений, а по γ -распределению было достигнуто хорошее согласование эмпирических и теоретических показателей (табл. 3).

В выполненных расчетах получено значение вероятности $P[\chi^2 > \chi^2_{кр}] = 0,32$ (табл. 3), а при $0,3 < p < 1$ степень соответствия эмпирического распределения теоретическому считается высокой [3]. Соответствие подтверждается расчетным значением критерия χ^2 , которое существенно ниже критических значений при заданных уровнях значимости.

Параметры соответствующего теоретического γ -распределения коэффициента запаса устойчивости определены по формулам [3]

$$\bar{n} = \beta(\alpha + 1); \quad \sigma_n = \beta\sqrt{\alpha + 1}$$

и приведены в табл. 4.

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О γ -РАСПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ

Показатель	Расчетное значение χ^2	Вероятность $P(\chi^2 > \chi^2_{кр})$	Параметр η (по Романовскому)	Критическое значение χ^2	
				Уровень значимости, α	
				0,01	0,05
Коэффициент запаса n	4,78	0,32	0,27	7,8	9,5

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ γ -РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА
ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ

Показатель	n_{cp}	$n_{cp\,np}$	α	β	СКО σ
КЗУ n	0,97	0,22	2,56	0,062	0,117

Проверку соответствия принятой гипотезы можно выполнить по формуле Романовского [4]:

$$\eta = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}} \leq 3,$$

где $k = s - 3 = 4$ — число степеней свободы;

$s = 7$ — число интервалов.

Вычисленное значение критерия Романовского существенно ниже критического, что также подтверждает выдвинутую гипотезу о гамма-распределении коэффициента запаса устойчивости откоса.

Таким образом, коэффициент запаса устойчивости, представляющий линейную композицию нормально распределенных случайных величин (параметров k и $tg\rho$), имеет γ -распределение, что не опровергнуто статистической проверкой. Это обстоятельство подтверждает предположение о взаимосвязи и корреляции между параметрами k и $tg\rho$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпаков П. С. Маркшейдерское обоснование геомеханических моделей и разработка численно-аналитических способов расчета устойчивости карьерных откосов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1988. 40 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. 479 с.
3. Шпаков П.С., Попов В.Н. Статистическая обработка экспериментальных данных. М.: Изд-во МГГУ, 2003. 268 с.
4. Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Математическая статистика в горно-маркшейдерском деле: Учебное пособие. Караганда: Изд-во КарПТИ, 1990. 88 с.

УДК 622.831:539.3

Б.Ж. ХАМИМОЛДА
М.С. ТУТАНОВ
М.С. ТУТАНОВА

Исследование устойчивости бортов карьеров с учетом их напряженно-деформированного состояния

Борт карьера как техногенное сооружение является основным несущим технологическим элементом при открытой разработке месторождений. Поэтому важной задачей является определение параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, влияющих на устойчивость бортов карьера. С элементами уступов по назначению рассматривается вертикальное сечение борта массива горных пород. В качестве расчётной схемы выбрана прямоугольная плоскость, находящаяся в плоско-деформированном состоянии и разбивающаяся сеткой треугольных элементов с соответствующими граничными условиями (рис. 1). Задача решается методом конечных элементов (МКЭ) [1].

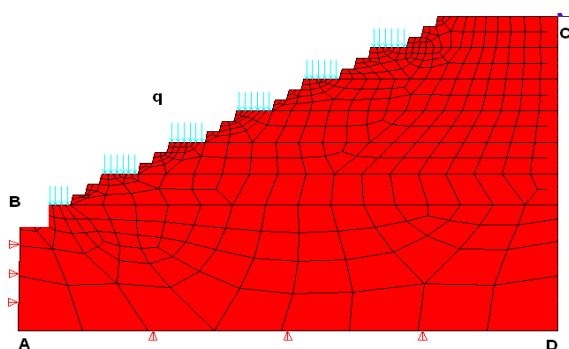


Рис. 1. Расчетная схема задачи

На расчётной схеме q — нагрузка, действующая на транспортные бермы; на границах АВ и СД отсутствуют горизонтальные, на АД — вертикальные смещения.

На рисунках 2-4 приведены изолинии горизонтальных, вертикальных и касательных

напряжений для одного из вариантов, т.е. при модуле упругости вмещающих пород $E = 1.5 \cdot 10^4$ МПа, $h_1 = 20$ м — высота уступа, $h_2 = 18$ м — ширина, $h_3 = 8$ м — ширина проекции откоса, $\gamma_1 = 1200$ кг/м³ — плотность верхнего слоя, $\gamma_2 = 2800$ кг/м³ — плотность нижних слоев. Как видно из рисунков, зоны развития растягивающих напряжений наблюдаются у оснований откосов. Для вертикальных напряжений эта зона захватывает всю область стационарного борта самого верхнего слоя. Сравнение результатов остальных вариантов исследований показывает, что ход изолиний на них в общем одинаков.

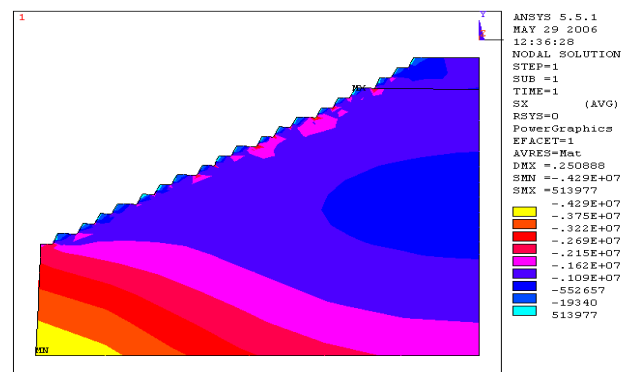


Рис. 2. Изолинии горизонтальных напряжений

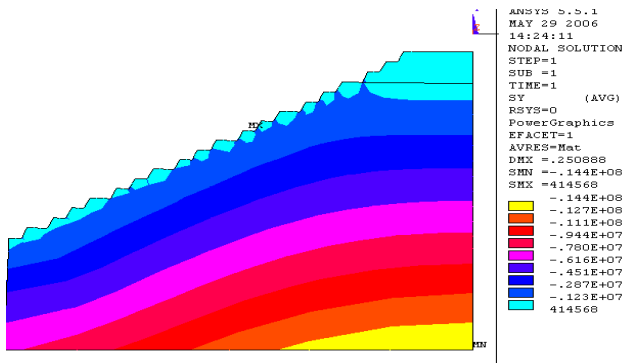


Рис. 3. Изолинии вертикальных напряжений

Для обработки исследований по определению НДС массива горных пород, в частности для определения устойчивых размеров уступов и берм при разработке месторождения, применяется нетрадиционный метод построения многомерных математических моделей [2].

Разработка моделей сводится к последовательному выполнению следующих этапов:

- Планирование эксперимента.
- Проведение эксперимента.
- Составление заказа на модели.
- Анализ модели.

Планирование эксперимента предусматривает:

- Выбор аргументов и целевых функций.
- Определение диапазона изменений аргументов в опытах.

Установление числа уровней аргументов и их конкретных значений в опытах.

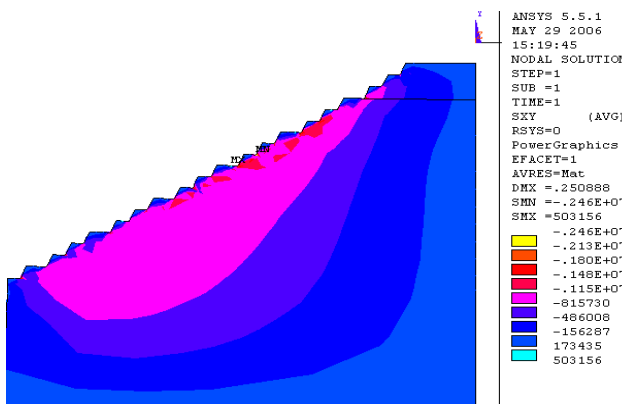


Рис. 4. Изолинии касательных напряжений

Установление сочетания значений аргументов в каждом опыте в соответствии с рекомендуемой матрицей планирования эксперимента.

Для нашего случая матрица планирования принята при числе аргументов $m=6$ и числе уровней $n=5$. Для того чтобы получить математическую модель типа $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, где y — максимальное главное растягивающее напряжение; $x_1 = h_1$, $x_2 = h_2$, $x_3 = h_3$, $x_4 = \gamma_1$, $x_5 = \gamma_2$, $x_6 = E$, исследованы 25 вариантов НДС массива. В каждом варианте решалась задача определения НДС массива МКЭ.

При решении плоской задачи МКЭ изменялись параметры (технологические факторы) в следующих пределах:

- $h_1 = 10 \div 30$ (м) — высота уступа с интервалом 5 м;
- $h_2 = 10 \div 18$ (м) — ширина бермы с интервалом 2 м;

$h_3 = 2 \div 10$ (м) — ширина проекции откоса с интервалом 2 м;

$\gamma_1 = 1200 \div 2000$ (кг/м³) — плотность с интервалом 200;

$\gamma_2 = 2000 \div 3600$ (кг/м³) — плотность с интервалом 400;

$E = 10^4 \div 6 \cdot 10^4$ (МПа) — модуль упругости пород с интервалом $1,5 \cdot 10^4$.

По вышеуказанной программе получена математическая модель типа, учитывающая комплекс факторов:

$$\sigma_1^{\max} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6).$$

В качестве функции выбрано максимальное главное напряжение. И при этом получены следующие зависимости функции от аргументов:

$$\sigma_1^{\max} = -2,53 \cdot 10^{-7} \gamma_2^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} \gamma_2 - 1,7,$$

$$\sigma_1^{\max} = -3,6 \cdot 10^{-10} E^2 + 2,4 \cdot 10^{-5} E - 0,28,$$

$$\sigma_1^{\max} = 0,488 \exp(0,0581 h_1) - 0,494087,$$

$$\sigma_1^{\max} = -0,27909 + 0,000175863 \gamma_1,$$

$$\sigma_1^{\max} = 1/(0,446107 + 0,108903 h_3),$$

$$\sigma_1^{\max} = 1,93632 - 0,823035 \lg(h_2),$$

где h_1 — высота уступа,

E — модуль упругости,

γ_1 — объемный вес верхнего слоя,

h_2 — берма,

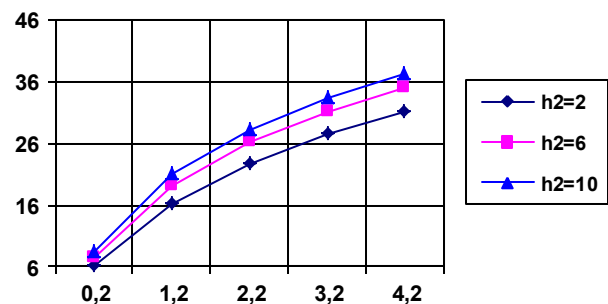
γ_2 — объемный вес нижнего слоя,

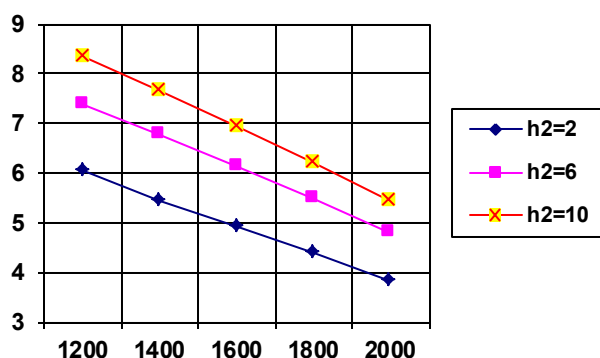
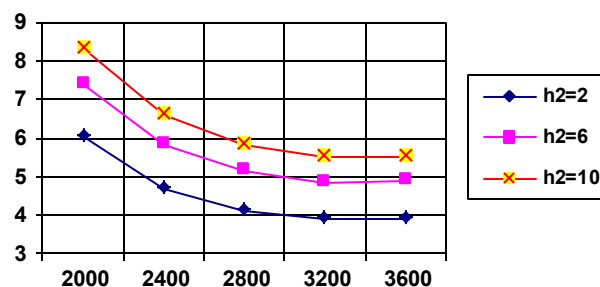
h_3 — проекция откоса.

Коэффициент корреляции $R = 0,965$ и обобщенное уравнение имеют следующий вид:

$$Y(\sigma_1^{\max}) = Y(h_1) \cdot Y(h_3) \cdot Y(\gamma_2) \cdot Y(h_2) + Y(E) + Y(\gamma_1). \quad (1)$$

По формуле (1), полученной для многомерной модели, можно найти комплекс факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера.

Рис. 5. Зависимости высоты уступа от σ^p_{adm}

Рис. 6. Зависимости высоты уступа от γ_1 Рис. 7. Зависимости высоты уступа от γ_2

По данной зависимости определяется по известным значениям искомая величина из следующего условия прочности горных пород:

$$\sigma_1^{\max} \leq \sigma_{adm}^p,$$

где σ_{adm}^p — допускаемое растягивающее напряжение

На рис.5-7 приведены графики распределения высоты уступа от различных факторов. При изменении одной из этих величин значения остальных фиксировались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ержанов Ж.С., Каримбаев Т.Д. Метод конечных элементов в задачах механики горных пород. Алма-Ата: Наука, 1975. 238 с.
2. Ермеков М.А., Махов А.А. Нетрадиционный метод построения многомерных моделей на ЭВМ. Караганда, 1990. 30 с.

УДК 622.002.2:624.131

А.И. БАРУЛИН
З.Р. РАХИМОВ

Оценка устойчивости откосов слабых горных пород методом конечных элементов

Основной проблемой обеспечения устойчивости откосов при разработке месторождений бокситовых руд является низкая прочность слагающих их пород. Эти породы осадочного происхождения обычно представлены глинами, суглинками и слабо сцементированными песками. Традиционные методы оценки устойчивости откосов дают значительные погрешности из-за допущения о том, что нелинейная функция паспорта прочности такой породы аппроксимируется отрезком прямой линии, касательной к ней.

Так, например, при вскрытии карьера № 6 Восточно-Айтского месторождения бокситов АО «Алюминий Казахстана» произошла серия обрушений откосов разрезной траншеи с углом наклона 60° при достижении уступом высоты в 22,5 м. Анализ геологического строения массива горных пород в районе разрезной траншеи показал, что подсеженная откосом толща сложена тремя типами пород. У поверхности залегают четвертичные суглинки общей мощностью 4-8 метров. Сразу под суглинками

залегают толща выветренных чеганских глин мощностью 14-18 м. В основании откоса залегают толща невыветренных чеганских глин.

С целью определения прочностных свойств горных пород, подсеженных откосом, были отобраны их образцы для лабораторных испытаний. Перед испытанием одна часть отобранных образцов выдерживалась под нагрузкой в сдвиговом приборе ПСГ-1 30 минут, а другая часть — в компрессионно-фильтрационной установке не менее 3 суток под нагрузками, соответствующими нормальным нагрузкам при последующих испытаниях их прочности на сдвиг. Для предотвращения обезвоживания образцов в компрессионно-фильтрационном приборе уплотнение производилось под водой.

Полученные в процессе испытаний на сдвиг паспорта деформируемости пород, представленные на рис. 1, свидетельствуют о сильно выраженных пластических свойствах всех типов горных пород, подсеженных разрезной траншеей.

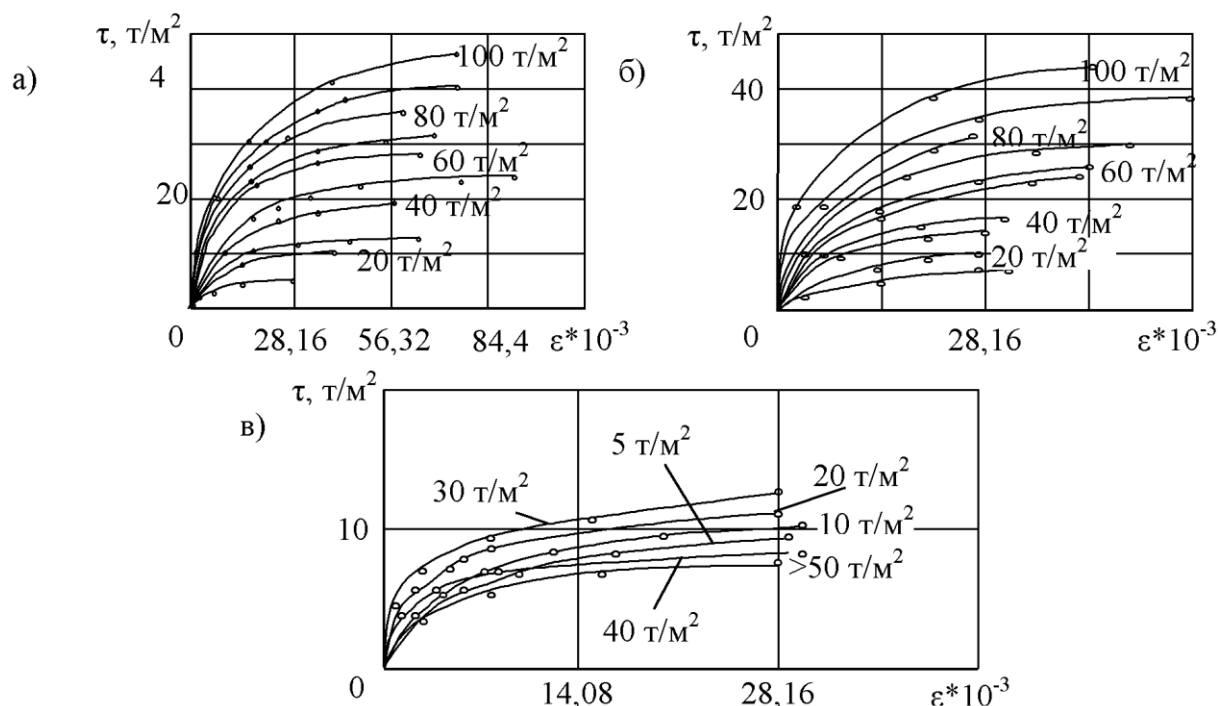


Рис. 1. Паспорта деформируемости горных пород: а — суглинок, б — чеганская глина, в — выветренная чеганская глина

Зона упругих деформаций, в которой отношение касательных напряжений τ к относительной деформации ε постоянно, у суглинка и чеганской глины в 2-3 раза больше, чем у чеганской выветренной глины. При увеличении нормального напряжения σ сопротивление суглинка и чеганской глины сдвигу увеличивается, тогда как у выветренной чеганской глины этот процесс наблюдается только до величины, близкой к $\sigma = 30$ т/м², затем сопротивление сдвигу резко снижается и стабилизируется при величине $\sigma \geq 50$ т/м². Эти изменения более контрастно отражаются на паспортах прочности пород, представленных на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что зависимость касательных напряжений от нормальных, в области реальных для уступа нагрузок, у чеганской глины линейна, тогда как у сходной в литологическом отношении выветренной чеганской глины она имеет ярко выраженный нелинейный характер. Методом вымывания нами установлено, что в чеганской глине 24-28% песчаной фракции, тогда как в ее выветренном аналоге — только 3-6%. Десятикратное уменьшение содержания песчаной фракции сопровождается идентичным снижением несущей способности чеганской глины. Г.И. Черный [1], исследовав поведение слабых глин с влажностью 0,5-0,6 полного влагонасыщения, отмечает, что при достижении уровня нормальных напряжений 20-30 кг/см² кривая паспорта прочности начинает снижаться и в области высоких напряжений приближается к оси абсцисс, в этом состоянии породы не оказывают сопротивление сдвигу и приобретают механические свойства вязкой жидкости. Особенностью выветренной чеганской глины является то, что переход ее в вязкотекучее состояние происходит при меньших значениях нормальных напряжений.

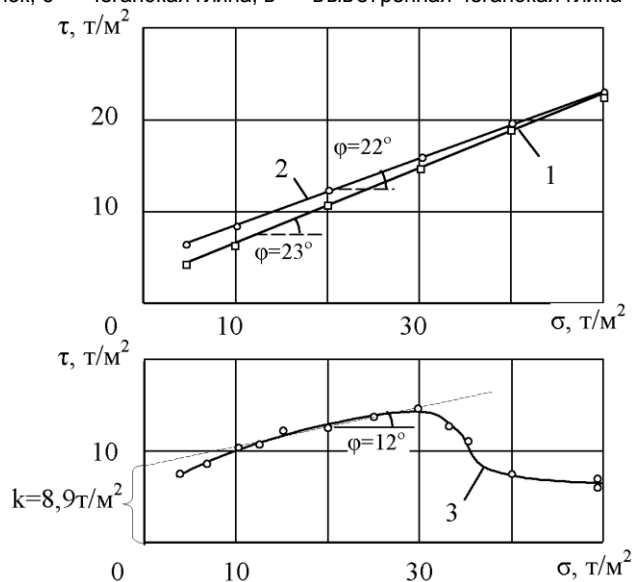


Рис. 2. Паспорта прочности пород: 1 — суглинок, 2 — чеганская глина, 3 — чеганская выветренная глина

Применение традиционных методов оценки устойчивости откосов при такой нелинейной зависимости прочности пород от величины действующего нормального напряжения не приемлемо. Хотя на первый взгляд и можно было учесть нелинейность физико-механических свойств пород приращением их индивидуальных значений каждому расчетному блоку, но тогда появится противоречие, заключающееся в построении наиболее напряженной поверхности скольжения в откосе методом статки сыпучей среды по неизменным значениям коэффициента сцепления k и угла внутреннего трения φ .

Оптимальным методом для оценки устойчивости откосов в подобных условиях является метод конечных элементов (МКЭ), математический аппарат

которого позволяет учесть нелинейность поведения горных пород под нагрузками и обеспечить применимость для анализа напряженно-деформированного состояния неизотропных массивов. Использование программ анализа напряженно-деформированного состояния объектов МКЭ третьих сторон, изобильно представленных на рынке программных продуктов, например ANSYS, «Ли́ра» или «Геомеханика», мы сочли не приемлемым, так как не известны расчетные подходы, требования к точности и не оговорена ответственность сторон. Согласно прилагаемым к программам лицензионным соглашениям, разработчики достаточно совершенных программ анализа напряженно-деформированного состояния объектов не несут ответственности ни за что. Поскольку выдаваемые исследователем параметры горных выработок персонифицированы, нами использована программа, специализированная для оценки открытых горных выработок SW [2], которая была адаптирована на современные технические средства в виде автомата с конечным числом состояний. Программа была переработана для решения плоских задач и оснащена дружественным интерфейсом, позволяющим осуществить ввод исходных данных, сохранение их на жестком носителе, коррекцию исходных данных, расчет напряженно-деформированного состояния, запись результатов на жесткий диск, просмотр графического вида объекта и результатов вычислений. Общий вид интерфейса пользователя показан на рис. 3.

Необходимые для анализа напряженно-деформированного состояния упругие константы были определены при испытаниях на сжатие и разрыв по стандартным методикам и представлены в таблице.

УПРУГИЕ КОНСТАНТЫ ПОДСЕЧЕННЫХ ОТКОСОМ ПОРОД

Тип породы	Модуль Юнга E , т/м ²	Коэффициент Пуассона, ν	Предел прочности на разрыв σ_r , т/м ²
Суглинок	1378	0.37	17.4
Чеганская выветренная глина	951	0.43	10.3
Чеганская глина	10345	0.28	20.9

В любом случае метод конечных элементов позволяет получить только упругое напряженно-деформированное состояние объекта, учет нелинейных свойств среды производится косвенными

способами — переменных модулей или нагрузок [3]. Алгоритм программы SW использует метод переменных модулей, когда после каждого цикла анализа напряженно-деформированного состояния откоса по величинам вычисленных главных напряжений и деформаций, действующих в конечном элементе, определяется их соответствие паспорту деформирования реальной горной породы. Если напряженное состояние конечного элемента располагается ниже или на соответствующей линии паспорта деформируемости, то состояние этого конечного элемента соответствует напряженно-деформированному состоянию реальной горной породы, в противном случае — величина модуля Юнга снижается. Затем вычисление напряженно-деформированного состояния откоса повторяется с новыми величинами модулей Юнга. Откос считается устойчивым, если удовлетворяющее реальной горной породе состояние достигнуто в каждом из конечных элементов модели объекта. Условием достижения искомого состояния в программе SW принята погрешность определения величин модуля Юнга в 2% и перемещений с заданной пользователем точностью. Параметры заданной точности вычисления перемещений и предельного числа итераций решения являются в программе SW приоритетными. Из опыта многочисленных вычислений можно сделать заключение о том, что если заданная величина погрешности определения смещений составляет 0,001 м и устойчивое состояние математической модели открытой горной выработки не достигнуто за 100 итераций расчета, то откос неустойчив.

Достоинством примененного в программе SW алгоритма нахождения решения является то, что пользователь не должен назначать тип задачи (упругая, упругопластическая, вязкопластическая и т.п.), как это сделано в программах других разработчиков, не считающих обязательным излагать суть и математический аппарат примененных моделей. Зачастую в этих программах какие-то коэффициенты приходится подбирать интуитивно. Предлагаемая программа дает гарантированные результаты только тогда, когда все типы пород откоса испытаны по стандартным методикам. Программа SW поддерживает решения на основе механики сплошной среды и разрушения. Реализация задач механики разрушения основана на введении в математические модели объектов элементов разрыва сплошности, имитируемых контакт элементами.

Расчет напряженно-деформированного состояния объекта методом конечных элементов

Режимы работы: ☐ Ввод данных с клавиатуры ☐ Ввод данных с диска ☒ Коррекция данных ☐ Графический вид модели ☐ Расчет

12:42:37

Ввод исходных данных:

Координаты узловых точек: Площадь объекта: **5972.03** Модель не тронутого массива

Количество узловых точек: **1275** Масштаб X: **0.75** Выполнить разбивку модели не тронутого массива

Узел №№ Координаты по оси X Y Точность определения перемещений: **0.001** Ввод смещений не тронутого массива

573 **101.781** **16.569** Тип элемента Конечные элементы

Конечные элементы: **1** **1** **95** **Контакт-элементы:**

Типов конечных элементов: **3** Экспресс объявление типов Типов контакт-элементов: **1**

Количество конечных элементов: **1275** **Количество контакт-элементов:** **95**

Конечный элемент №№	Окружающие элемент №1	№2	№3	Тип элемента	Контакт-элемент №№	Окружающие элемент №1	№2	№3	№4	Тип элемента
1021	911	912	933	2	17	519	543	542	518	1

Физико-механические свойства конечных и контакт-элементов:

Тип конечного элемента	E	ν	Паспорт деформируемости:	Тип контакт-элемента	Жесткость
	σ_p	g	Нормальное напряжение линии		K _s K _N
2	10.3	1.93	3 10 3 5.094 0.004459	1	10211 951

Осевые граничные условия:

Узел №№	Ограничение перемещений		Смещения, заданной величины		Нагрузки, заданной величины	
	X	Y	X	Y	X	Y
573	0	1	0	0	0	0

Предельное число итераций: **100** Имя файла: **ISX1.TXT** Запись файла на диск

Пуск En 12:42

Рис. 3. Интерфейс пользователя программы SW

Определение предельно устойчивых параметров откоса осуществляется в программе SW посредством изменения высоты откоса или угла его наклона. Чтобы не производить повторного построения сеток конечных элементов в интерфейс программы пользователя введены два масштабных коэффициента вдоль осей X и Y, соответственно. При анализе устойчивости бортов глубоких карьеров и уступов слабых горных пород большое значение играют деформации усадки. В большинстве программ анализа устойчивости откосов узловые смещения значительны из-за того, что задача решается методом мгновенного приложения внешних нагрузок, тогда как в реальности породы массива перед проведением открытой горной выработки уже были нагружены.

Для того чтобы учесть исходное напряженно-деформированное состояние пород в программе SW по исходным данным откоса программа автоматически, при нажатии на кнопку «Выполнить разбивку модели нетронутого массива», вычисляют усадочные смещения. Кнопкой «Запись смещений нетронутого массива» величины усадочных смещений

можно сохранить в указанном пользователем файле. Если при повторной загрузке исходных данных модели откоса нажать кнопку «Ввод смещений нетронутого массива» из соответствующего файла, то расчет напряженно-деформированного состояния объекта в программе SW будет определяться влиянием только открытой горной выработки.

Математическая модель уступа разрезной траншеи карьера № 6 Восточно-Аятского месторождения бокситов АО «Алюминий Казахстана» была построена для откоса высотой 15 м с углом наклона 30° из 2393 конечных элементов и 1275 узлов. По слоям, в соответствии с геологической структурой массива, конечным элементам были назначены свойства суглинки, выветренной и неветренной чеганской гли-

ны. Граничные условия ограничивали смещения узлов слева и справа модели по оси X , а нижних узлов — по оси Y . Размеры математической модели откоса были выбраны с учетом принципа Сен-Венана. Представленный на рис. 4 вид графического интерфейса программы SW позволяет пользователю выполнить просмотр общего вида математической модели и правильность описания ее отдельных элементов.

Для достижения максимальной наглядности все элементы графического интерфейса программы выводятся на монитор различными цветами. Для предотвращения загромождения рис. 4 граничные условия в виде шарниров показаны не для всех узлов, перемещения которых ограничены.

Если пользователь программы установит режим «Графический вид модели» после выполнения расчетов методом конечных элементов, то на математическую модель откоса будут наложены в графическом виде результаты вычисления

напряженно-деформированного состояния объекта, так, как это сделано для рассматриваемой задачи при высоте откоса $H = 20$ м и при угле его наклона $\alpha = 25^\circ$ на рис. 5. На экране монитора отображаются смещения всех узлов и изолинии главных напряжений.

Только для того, чтобы не загромождать рис. 5, на нем не показаны конечные элементы, смещения узловых точек показаны штрихпунктирной линией только по верху математической модели, изолинии главного напряжения σ_1 показаны сплошными линиями. Опции окна «Режимы отображения графической информации» позволяют пользователю программы выбирать информацию и детально ее отображать на экране монитора.

Точные величины вычисленных смещений узловых точек, окончательные значения модулей Юнга, главных напряжений и деформаций для каждого конечного или контакт-элемента выдаются программой SW в файл RESH.TXT на жесткий диск.

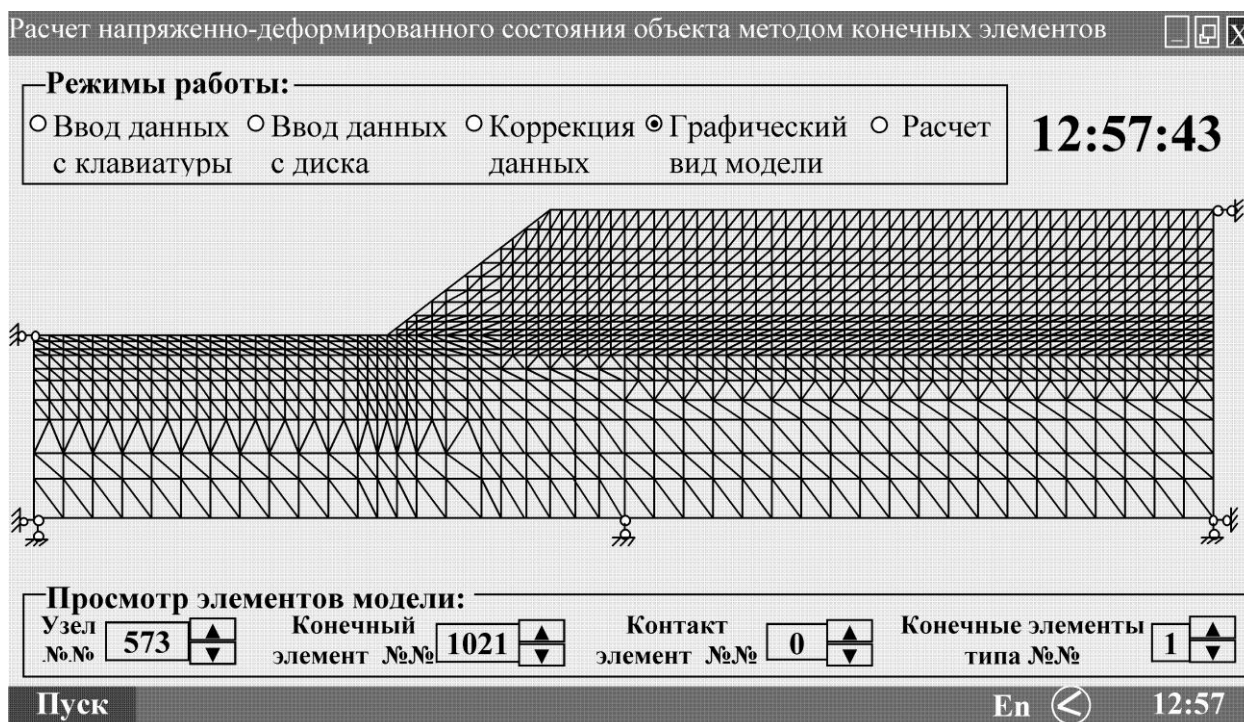


Рис. 4. Общий вид графического интерфейса программы SW



Рис. 5. Общий вид графического интерфейса анализа результатов расчетов программы SW

Программа SW осуществляет контроль правильности подготовки исходных данных и вывод сообщений об обнаруженных ошибках. Если в процессе вычисления напряженно-деформированного состояния объекта выдаются сообщения о вырождении матрицы жесткости системы, то это означает, что равновесное состояние исследуемой математической модели не существует при заданных пользователем параметрах.

По завершении вычисления напряженно-деформированного состояния откоса программа выдает на экран компьютера одно из сообщений: «равновесное состояние объекта найдено за n итераций» или «объект неустойчив». При помощи программы SW были выполнены расчеты устойчивости откоса разрезной траншеи карьера № 6 Восточно-Аятского месторождения бокситов АО «Алюминий Казахстана» при углах наклона 25° и 30° . Начальная высота откоса принималась равной 10 метрам и увеличивалась на 5 м до тех пор, пока равновесное состояние горных пород откоса не могло быть найдено. Как видно из рис. 6, в выборе следующего значения высоты H или угла наклона откоса α важное значение имеет число итераций n , за которое получено искомое решение: чем меньше итераций требуется для вычислений напряженно-деформированного состояния откоса, тем выше его запас устойчивости.

Стандартный метод обеспечения запаса устойчивости откоса сводится к уменьшению параметров, определяющих его устойчивость:

$$\varphi_n = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\eta}\right),$$

$$\tilde{\eta}_n = \frac{\tilde{\eta}}{\eta}.$$

Поскольку в предлагаемом методе параметры линеризации паспорта прочности пород (c , φ) не могли быть использованы, то коэффициент запаса устойчивости вводили непосредственно в высоту откоса, что приводит к результатам, аналогичным стандартному методу. Величина коэффициента запаса, рекомендуемая для данного типа пород, назначения и срока службы открытой горной выработки равна 2 [4]. Тогда высота откоса с углом наклона 25° составит

$$H_n = \frac{H}{\eta} = \frac{30}{2} = 15 \text{ м}.$$

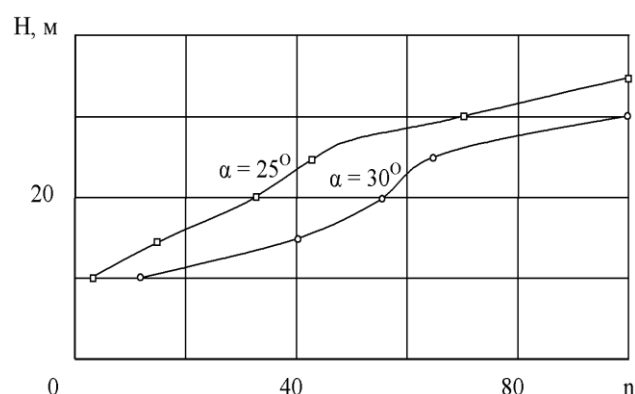


Рис. 6. Скорость сходимости решения методом конечных элементов

Изложенный способ позволяет выполнять анализ устойчивости открытых горных выработок численным методом, основываясь на представлениях механики

сплошной среды, наиболее близком подобии реальных и расчетных физико-механических свойств горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черный Г. И. Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. М.: Недра, 1980. 216 с.: ил.
2. Барулин А. И. Анализ пространственной устойчивости подсеченных трещинами откосов методом конечных элементов. Л.: ЛИСИ, 1982. С. 113-123.
3. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.: ил.
4. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.: ил.

УДК 621.436

А.А. ЗЕЙНУЛЛИН

А.Г. ЖАКЕНОВ

Г.И. ЖУКОВ

Нейтрализация отработавших газов дизелей

За последние десятилетия в развитии горнодобывающей промышленности возросшую роль играют средства механизации ведения работ. Значительное место в этом процессе принадлежит подземному самоходному оборудованию с приводом от дизелей [1]. Парк подземных машин с приводом от двигателей внутреннего сгорания непрерывно возрастает как на основных, так и на вспомогательных операциях добычи руды в подземных рудниках. Это позволяет механизировать тяжелый труд горнорабочих, повысить производительность труда и культуру производства. Однако эксплуатация парка машин с приводом от двигателей внутреннего сгорания в местах с ограниченным воздухообменом ставит новые задачи по защите рудничной атмосферы от загрязнения токсичными компонентами, содержащимися в отработавших газах дизелей [2]. Решение этой проблемы в настоящее время ведется в двух направлениях: сокращение образования вредных веществ непосредственно в цилиндрах за счет совершенствования рабочего процесса двигателя и нейтрализация токсичных компонентов отработавших газов в газоочистительной аппаратуре. В результате теоретических и экспериментальных исследований, а также выполнения работ по испытанию газоочистительной аппаратуры на самоходном подземном оборудовании с приводом от дизелей и карьерном автотранспорте непосредственно в производственных условиях разработан и внедрен целый комплекс мероприятий, направленный на сокращение содержания токсичных компонентов в отработавших газах дизелей на предприятиях республики.

Разработаны, испытаны и внедрены каталитические нейтрализаторы нового поколения с катализатором на металлическом носителе. Нейтрализаторы прошли все стадии испытаний и изготавливаются в виде опытных партий для подземных машин и карьерного автотранспорта с приводом от дизелей мощностью от 7,5 до 925 кВт. Нейтрализаторы отличаются от предыдущих образцов малым весом и размерами (уменьшение до 2 раз), а газодинамическое сопротивление не превышает 3 кПа. Использование в качестве первичного носителя металлической ленты позволило увеличить срок службы катализатора в 3-5 раз и достигает до 11 тыс.

моточасов работы двигателя. Кроме того, блоку из металлической ленты можно придать практически любую (удобную для конструктивного оформления нейтрализатора) форму с привязкой к конкретному типу машины.

Проведенные опыты по использованию оксидных добавок при изготовлении блочных катализаторов показали, что комбинированный катализатор по своим параметрам не уступает стандартным. Эффективность катализатора по окиси углерода составляет 90-94%. Такая эффективность достигается при температуре отработавших газов 250-300°C. Кроме того, введение в катализатор кальция значительно повышает механическую прочность всего блока. При потере эффективности блочный катализатор легко подвергается регенерации с восстановлением первоначальной эффективности. Возможны два способа регенерации катализатора: термический и мокрый. При термическом способе регенерации блоки обрабатываются в специальных устройствах при температуре 600-750°C с последующей продувкой сжатым воздухом. Мокрая регенерация заключается в интенсивной промывке блоков в специальных ваннах щелочным раствором с последующей сушкой в сушильных шкафах при температуре 250-300°C.

Применение металлической ленты в качестве первичного носителя дает возможность использовать ее в качестве нагревательного элемента с питанием от электрической сети машины. При автоматическом управлении нагрева блока катализатора создается возможность независимо от режима работы двигателя постоянно поддерживать в реакторе необходимую рабочую температуру. Такая система создает благоприятные условия для работы каталитических нейтрализаторов с высокой эффективностью в течение всей рабочей смены. Для сохранения температуры реактор корпуса нейтрализатора необходимо изолировать специальным теплоизоляционным материалом.

Жидкостные нейтрализаторы в системе нейтрализации отработавших газов дизелей являются очень эффективным средством поглощения альдегидов, сажи, сернистых соединений, частично оксидов азота, твердых частиц, капель масла и т.д. Существующие жидкостные нейтрализаторы барботажного, оросительного, пенного или скрубберного типов имеют

ряд существенных недостатков: малая работоспособность, большой расход жидкости и, самое главное, значительным, до 12 кПа, противодавлением выпуску газов, что отрицательно сказывается на рабочем процессе двигателя.

Жидкостной нейтрализатор типа газлифт выгодно отличается от предыдущих в лучшую сторону. Заложенный в нем принцип перекачки воды позволяет увеличить время контакта газа с жидкостью, что в конечном итоге повышает степень очистки отработавших газов от токсичных водорастворимых компонентов. Наличие дополнительной емкости позволяет по мере расхода жидкости и понижения ее в контактной части нейтрализатора восстанавливать необходимый уровень раствора. При этом весь процесс удержания заданного уровня жидкости благодаря специальной конструкции дополнительной емкости происходит автоматически. Конструкция жидкостного нейтрализатора разработана таким образом, что может изготавливаться из двух самостоятельных блоков, соединенных между собой дренажными и перепускными трубками. Такая конструкция облегчает компоновку нейтрализатора на подземных машинах даже при наличии ограниченного места. Очень важно, что разработанный новый жидкостный нейтрализатор на эксплуатационных режимах работы дизеля имеет низкое, не более 5 кПа, противодавление выпуску отработавших газов. Существенным преимуществом является и использование в жидкостных нейтрализаторах системы электролиза жидкости. Новые жидкостные нейтрализаторы позволяют более глубоко очистить отработавший газ от токсичных примесей, стабилизировать их работу и повысить надежность процессов, проходящих в них.

Разработка мероприятий по сокращению содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей является одной из важнейших задач по созданию газоочистительной аппаратуры для подземного самоходного оборудования с приводом от дизелей. Оксиды азота в отработавших газах занимают доминирующее значение, однако до настоящего времени каких-либо надежных средств по их нейтрализации не разработано.

Обзор и анализ литературы по использованию водотопливных эмульсий показал, что использование водотопливных эмульсий для питания дизеля позволяет снизить содержание оксидов азота в отработавших газах в 2-2,5 раза.

Однако при этом наблюдается увеличение в отработавших газах концентрации окиси углерода. По этой причине использование водотопливных эмульсий возможно в ограниченных пределах. Кроме того, использование водотопливных эмульсий ограничивается из-за опасности вывода топливной системы из рабочей пригодности вследствие разделения эмульсии на составляющие элементы, в том числе и воду, что в конечном итоге может привести к ускоренному износу плунжерных пар топливного насоса двигателя.

Изменение угла опережения впрыска топлива применяется для сокращения выхода оксидов азота за счет понижения максимальной температуры цикла,

вызванного смещением процесса сгорания топлива в сторону линии расширения. Кроме снижения концентрации оксидов азота в 1,5-2,0 раза, в зависимости от типа дизеля, изменение угла опережения впрыска топлива повышает содержание в отработавших газах продуктов неполного сгорания: окиси углерода, альдегидов, увеличивают дымность, температуру отработавших газов и удельный расход топлива на 3-5%. Поэтому такой способ может быть применен только в комплексе с другими мероприятиями по снижению токсичности дизельного оборудования.

Наиболее эффективным средством снижения концентрации и содержания в отработавших газах оксидов азота является частичная рециркуляция увлажненных отработавших газов на всасывании дизеля. Этот способ разработан специально для подземных машин с приводом от дизелей и оснащенных каталитическим и жидкостным нейтрализаторами. Наличие жидкостного нейтрализатора позволяет использовать данную систему при эксплуатации машин с плюсовой температурой окружающей среды. Сущность способа заключается в том, что на всасывании дизеля возвращается отработавший газ в количестве от 3 до 35%. При этом газ от дизеля проходит через жидкостный нейтрализатор, где в результате контакта с жидкостью образуется парогазовая фаза, которая и направляется в двигатель. Такой способ позволяет снизить концентрацию оксидов азота в отработавших газах в 2-5 раз. Концентрация окиси углерода и дымность отработавших при рециркуляции увлажненных газов несколько выше, чем при работе в обычном режиме. Однако по своим абсолютным значениям они не превышают допустимых норм, т.к. температура отработавших газов при частичной рециркуляции несколько повышается, что ведет к повышению эффективности каталитического нейтрализатора.

Снижение общего количества отработавших газов, выбрасываемых дизелем в атмосферу за счет частичной рециркуляции, приводит к сокращению выброса всех токсичных компонентов. Выброс оксидов азота в этом случае снижается в среднем до 85%, а окиси углерода на 10-15%.

Количество перепускаемых газов является исходной данной для автоматической регулировки процесса.

Использование комбинированной системы очистки отработавших газов дизелей для подземного самоходного оборудования является суммирующим итогом поэтапных исследований сокращения образования и нейтрализации токсичных компонентов. Одновременное использование этих методов позволяет более глубоко очищать отработавший газ от токсичных компонентов. Важным дополнением к этой системе может быть использование подогрева реактора каталитического нейтрализатора при работе дизеля на малых нагрузках и холостом ходе. Комбинированная система позволяет в каталитическом нейтрализаторе провести доокисление токсичных продуктов неполного сгорания топлива, в т.ч. окиси углерода — до 95-98%,

сажи — до 10-15%. В жидкостном нейтрализаторе поглощаются сернистые соединения — до 100%, оставшихся после первой ступени альдегидов — до 90-95%, сажи — до 40%, некоторых оксидов азота — до 10-12%. Кроме того, после жидкостного нейтрализатора резко снижается неприятный, раздражающий запах, а температура отработавших газов снижается до 60-70°C. Введение в эту систему частичной рециркуляции решает важнейший вопрос

по сокращению концентрации и выбросов оксидов азота.

Использование в комбинированной системе новых материалов и технологий, а также автоматизированное управление всем процессом позволяет производить глубокую очистку отработавших газов дизелей, что в сочетании с оптимальной системой вентиляции делают безопасной для дыхания человека рудничную атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьин Г.П., Голутвин В.А., Завьялов Л.Н., Арсланов Н.К. Автомобильный транспорт при подземной разработке полезных ископаемых. М.: Недра, 1973.
2. Смайлис В.И. Малотоксичные дизели. Л.: Машиностроение, 1972. 127 с.
3. Жуков Г.И. Нейтрализация отработавших газов дизелей подземного самоходного оборудования и карьерного автотранспорта. Жезказган: ЖезУ, 2001. 169 с.

УДК 553.3/9

З.А. БЕКМУХАМЕТОВА

Особенности формирования и рудогенеза офиолитовых плутонов кемпирсайского комплекса и их перспективы на промышленные руды хромитов, титаномагнетитов и платиноидов

Региональные предпосылки ультрабазитовых массивов. **тектонно-магматические рудоносности базит-**

При петро- и рудноформационной общности вмещающих магматических пород габбро-пироксенит-дунитового состава и рудообразующих минералов образование платиноносных титаномагнетитовых и хромитовых промышленных месторождений в платформенных и складчатых областях происходит на разных этапах и стадиях становления базит-ультрабазитовых массивов, и отличаются они между собой масштабами оруденения, морфологией рудных залежей, структурно-текстурными особенностями, сортами руд и в целом относятся к различным промышленным типам месторождений, что обусловлено геодинамической и петрологической спецификой становления, рудогенеза и метаморфизма материнских интрузивных массивов [1,2].

Так, например, в наиболее четко и полно горизонтально расслоенных сериях Бушвельдского лополита площадью в 66000 км² в Южно-Африканской платформе крупнейшие по запасам в 0,5 млрд. тонн низкохромистых руд Стилуотерского пласта залегают в Базальной (донной) зоне (рис. 1). Они представлены стратиформными слоисто-вкрапленными рудными телами, которые выдержанно простираются на 48 миль при мощности от 45 до 48 дюймов и среднему содержанию Cr₂O₃ около 40 % [3]. Эти руды хромитов относятся к раннемагматическим ликвидационно-сегрегационным отложениям мельчайших октаэдрических, ромбоэдрических и кубических хромшпинелидовых кумулатов размером 0,8-2 мм [4], тогда как не менее крупные по запасам высокохромистые руды с промышленным содержанием Cr₂O₃ от 50 % до 65 % в концентрически-зональных гарполитовых и штокообразных плутонах кемпирсайского комплекса площадью менее 1000 км² в Уральской складчатой

системе [2] состоят из невыдержанных по мощности и простираению подиморфных («под»-линза) богатых рудных залежей, кулисообразно залегающих от слабо наклонных в апикальной части до крутого падения в корневой части сферически расслоенного массива [2]. Эти руды по генезису являются постмагматическими метаморфогенными образованиями богато вкрапленных и сплошных тесносросшихся хромшпинелидовых нодулей довольно крупных размеров 5-15 мм до 5 см в диаметре [1,5,6]. Платиноносный горизонт рифа Меренского с промышленными концентрациями платины, палладия, рутения составляет в Бушвельдском лополите маркирующий горизонт переходной Критической зоны чередования пироксенитов, норитов, анортозитов и хромитовых руд (рис. 1). Он состоит из двух пироксенитовых слоев общей мощностью 7-15 дюймов и протяженностью 155 миль, в которых преимущественно сульфиды платиноидов ассоциируются с сульфидами железа, никеля и меди. Главный магнетитовый пласт мощностью 8 футов, протяженностью 200 миль со средним содержанием Fe 55,8-57,5 %, TiO₂ 12,2-13,9 %, V₂O₅ 1,4-1,7 % залегает в основании габброидов Верхней зоны, которая включает еще 22 пласта магнетитовых руд, чередующихся с магнетитовыми габброидами и анортозитами (рис. 1). Они завершают оруденение в Бушвельдском плутоне в позднемагматическую стадию [7]. В Кемпирсайском плутоне платиноидное оруденение пространственно совмещено с раннемагматическими титаномагнетитовыми рудами, залегающими в пироксенитах и талаитах переходной зоны, сродни Критической, и с метаморфогенными постмагматическими хромитовыми рудами, остаточно сохранившимися среди аподунитовых серпентинитов ультрабазитового ядра, соответствующей Базальной серии Бушвельдского лополита.

Непосредственные исследователи Кемпирсайского массива и его руд [8] расценили его

как интрузию мантийной магмы, внедрившейся вдоль Главного Уральского глубинного разлома. Однако петрологию и рудогенез массива они изложили с позиции гравитационного расслоения магмы и руд по аналогии с плутонами древних платформенных областей без учета геодинамики герцинской складчатой системы Урала. Ниже на примере массивов кемпирсайского комплекса остановимся на этих пробелах, существенно восполняющих геодинамику развития, петрологию и рудогенез базит-ультрабазитовых автохтонных плутонов офиолитового пояса Мугоджар и их метаморфогенных альпинотипных сателлитов.

По опыту наших работ впервые проведенного сравнительного анализа геодинамики становления, петрологии и рудогенеза базит-ультрабазитовых плутонов складчатых и платформенных областей [1,6,9], прежде всего следует исходить из того, что они в складчатых областях формационно являются адекватными проявлениями аналогичного интрузивного магматизма в платформенных областях при особенностях многоступенчатого становления массивов в условиях сквозных альпинотипных структур в складчатых областях и петрологии магматизма на каждом уровне тектонического развития. Наиболее четко выделяются три тектоно-магматических ступени становления базит-ультрабазитовых массивов кемпирсайского комплекса при четырех петрологических стадиях формирования: астенолитовой, интрузивной, метамагматической и протрузивно-реститовой [1,5,6].

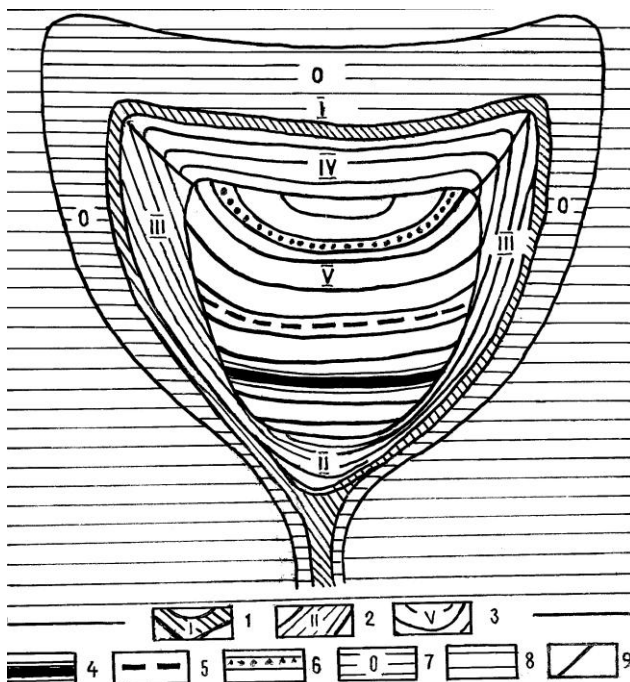


Рис. 1. Принципиальная схема строения расслоенной базит-ультрабазитовой интрузии этмолитовой морфологии и дискордантного залегания в горизонтально залегающих докембрийских толщах платформенных областей по Н.П. Михайлову и др. с дополнениями автора по размещению рудоносных пластов. Структурные зоны и серии интрузии (1-3): 1 — зона закалки (I), 2 — краевая серия (II — нижняя, III — боковая, IV — верхняя), центральная серия ультрабазитов (V). Руды Бушвельда: 4 — Главный хромитовый пласт Базальной зоны,

5 — платиноносный риф Меренского Критической зоны, 6 — Главный магнетитовый пласт Верхней зоны. Вмещающая рама интрузии (7-8): 7 — ореол термального воздействия интрузии (0), 8 — неизмененные породы.

Первая тектоно-магматическая ступень конвергентного геодинамического развития зафиксирована выступом срединно-океанического хребта, зажатым вдоль рифтовой расщелины между бортами столкнувшихся литосферных плит при закрытии палеоокеана в раннем девоне (Д₁). Его морфология, по геофизическим рукописным данным А.П. Бачина и В.Г. Парфенова (1985г.), отвечает слепому астенолиту высотой в 35-40 км, размещенному между базальтоидными литосферными плитами [2]. *Вторая тектоно-магматическая ступень* проявлена в становлении гипабиссальных автохтонных интрузивных плутонов концентрически-зонального строения, завершающих развитие Сакмарского офиолитового пояса в среднем девоне (Д₂). *Третья тектоно-магматическая ступень* межплитного развития выражена в дальнейшем усилении двухстороннего коллизионного сжатия до полного заскрытия палеоокеана, динамометаморфизме пород и руд базит-ультрабазитовых плутонов в шовной зоне и длительного выведения до приповерхностного уровня аллохтонных альпинотипных протрузий трассируемых вдоль Главного Уральского глубинного разлома и его опережающих нарушений в орогенных толщах верхнего структурного этажа Сакмарского офиолитового пояса (Д₃-С₃) и породах докембрийского складчатого основания Уралтауского поднятия [2], в результате чего офиолитовый пояс становится Сакмарско-Уралтауским.

Выделенные промежуточные фрагменты трехступенчатого тектоно-магматического развития Сакмарско-Уралтауского офиолитового подвижного пояса разобщены не только во времени становления, но и в пространстве. По горизонтали контуры слепого срединно-океанического хребта первой ступени установлены гравимагнитным методом на глубине 3 км и прослежены по простиранию на 230 км между Даульским и Кемпирсайским массивами при ширине порядка от 7 км, тогда как ширина указанных офиолитовых плутонов превышает 30 км. Вторая тектоно-магматическая ступень представлена следующими гипабиссальными автохтонами: Даульским, Кемпирсайским, Хабарнинским, Согралинским, Желанарским, Халиловским, Медногорским, Котралинским, Шайтантауским, Краковским, последовательно вытянутыми с юга на север в виде гарполитовых и штокообразных выходов на палеозойскую поверхность с разбросом по всей широте Сакмарского офиолитового пояса [2]. Они, как отмечалось, расположены на пересечении срединно-океанического продольного хребта с поперечными орогенными разломами и корнями уходят в астенолитовый выступ. Третья тектоно-магматическая ступень развития приповерхностных альпинотипных протрузивных тел строго контролируется продольными тектоническими разломами. В одних случаях они унаследуют узкой полосой долгоживущие

глубинные разломы, секущие орогенные породы верхнего структурного этажа в стержневой части офиолитового пояса, в других — выполняют вновь образованные оперяющие нарушения в древних породах соседней Уралтауской структурно-формационной зоны. Например, Халиловско-Таловская узкая зона серпентинизированных ультрабазитов в пределах Сакмарского офиолитового пояса трассируется вдоль Главного Уральского разлома на 250 км, а целая серия эклогитизированных ультрабазитовых массивов Мамытский, Эбетинский, Санасарский, Аккермановский и др. в виде блоковых будин площадью 10-30 км² цепочкой вытянуты вдоль Бородинского разлома, рассекающего породы Уралтауского докембрийского микроконтинента (рис.

2, а). Крупные по размерам автохтонные офиолитовые массивы среди упругих вулканогенно-осадочных пород Сакмарского синклинория претерпели в условиях коллизионного сжатия лишь пластическую деформацию с выведением избыточной массы серпентинитов в верхние структурные этажи в виде бескорневых протрузивных линз, валиков и клиньев с тектоническими контактами. Они в жестких монолитных тисках древних гранитоидных пород претерпели, как будет показано, динамометаморфизм, уплотнение и алмазоносную эклогитизацию [6].

Природа и степень проявления локального метаморфизма в автохтонных ультрабазитах Кемпирсайского плутона при образовании богатых хромитовых руд.

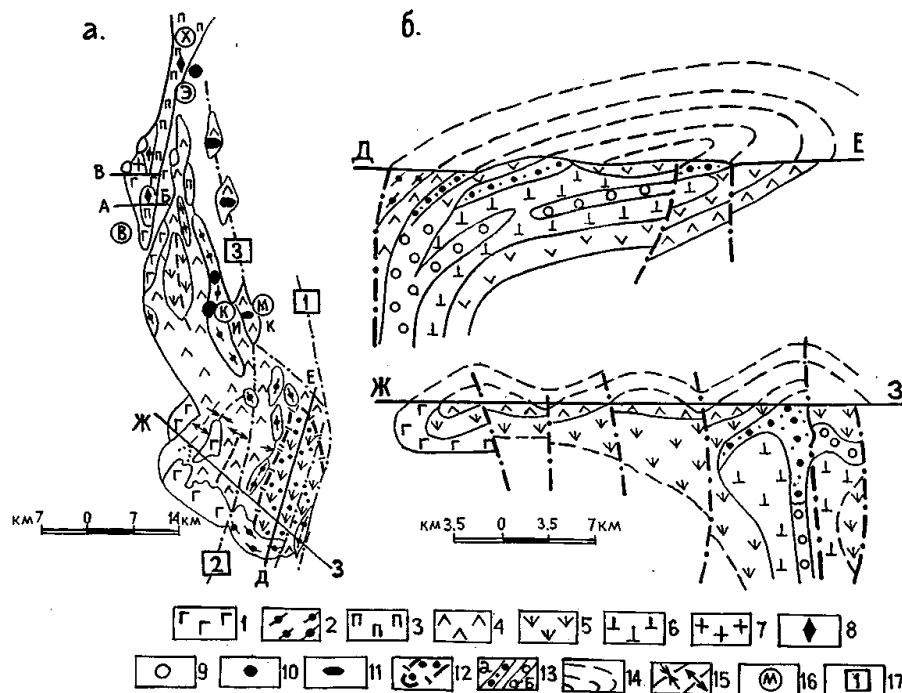


Рис. 2. Схематическая геолого-структурная карта Кемпирсайского конкордантной базит-ультрабазитовой гарполитовой интрузии и размещения его протрузивных сателлитов, рудных месторождений, зон развития скарноидов и эклогитов. 1 — габброиды, 2 — габбро-амфиболиты, 3 — пироксениты, 4 — перидотиты, 5 — гарцбургиты, 6 — дуниты, 7 — гранитоиды, 8 — титаномангнетитовые месторождения, 9 — скарно-мангнетитовые месторождения, 10 — скарноиды, 11 — алмазоносные рутиловые эклогиты, 12 — контур гравитационной аномалии, хромитовых месторождений Главного рудного пояса, включая эпицентр магмаподводящего канала (в плане), 13 — тела хромитовых руд: а) разведанные, б) прогнозные (в разрезе), 14 — оси сводовых поднятий плутона, фиксируемых останками линз габброидов и габбро-амфиболитов апикальной части и междупольных впадин, 15 — проектные контуры денудированных слоев пород и руд апикальной части плутона, 16 — символы интрузивных массивов и участков рудных месторождений, скарнов, скарноидов и эклогитов (в кругах): В-Велиховский, Х-Хабарнинский, Э-Эбетинский, К-Куагачский, М-Мамытский, 17 — номера глубинных разломов (в квадратах): 1 — Главный Уральский, 2 — Кемпирсайско-Даульский, 3 — Бородинский.

Минералогия автохтонных базит-ультрабазитовых концентрически-зональных массивов кемпирсайского комплекса габбро-пироксенит-дунитовой формации Сакмарско-Уралтауского офиолитового подвижного пояса Мугуджар проявлена в следующих родственных магматических, метасоматических и метаморфических рудоносных субформациях, включающих месторождения и рудопроявления, прежде всего, детально изученного нами Кемпирсайского плутона и сопровождающего его Мамытского протрузивного сателлита [1,5,6]: 1) раннемагматическая габбро-пироксенитовая с платиноносными титаномангнетитовыми

пироксенитами (косьвитами); 2) позднемагматическая гарцбургит-дунитовая с акцессорными включениями хромшпинелидов переменного состава и морфологии; 3) постмагматическая апогабброидная гранитоидно-монцанитоидных метасоматитов с сопутствующими известковыми скарнами и магнетитовыми рудами в контакте с карбонатными породами чанчарской свиты; 4) автометаморфогенная апогабброидных гранатовых амфиболитов и скарноидов, апогипербазитовых магнезиальных скарнов, серпентинитов и хромшпинелидовых нодулей; 5) метаморфогенная реститовых богатых руд платиноносных хромшпинелидовых нодулей; 6)

контактово-метаморфическая апосерпентинитовых хризотил-асбестовых жил и тальковых пород 7) ультраметаморфическая апокозьвитовых алмазоносных рутиловых эклогитов.

Даже в пределах наиболее крупного Кемпирсайского гарполитового плутона лишь северо-западная его часть сохранилась в виде свежих разностей полнокристаллических интрузивных пород и магматогенных титаномагнетитовых и скарново-магнетитовых руд, тогда как восточная половина массива, заключенная между Кемпирсайско-Даульским и Главным Уральским глубинными разломами и их оперениями, претерпела повсеместный приразломный метаморфизм различной степени (рис. 2, а). Он проявлен в образованиях автометаморфизованных магнезиальных скарнов, гранатовых скарноидов и серпентинизированных ультрабазитов — особо богатых и крупных по запасам остаточных хромитовых руд в автохтонной Кемпирсайской интрузии и алмазоносных рутиловых эклогитов в Мамытской протрузии [5,6]. Ранее природу такого наложенного метаморфизма могли бы отнести, например, к региональным проявлениям или к приразломным тектонофациям. Однако причина приразломного метаморфизма, как и самих разрывных деформаций и смятий, лежит значительно глубже, в области мантийной плюмовой тектоники. Глубинные разломы и рифтовые расщелины и раздвиги являются лишь путями проникновения магматических расплавов и флюидов. По геофизическим данным строения земной коры, под офиолитовым поясом зафиксирована конвергентная шовная зона столкнувшихся в предколлизийную стадию литосферных плит торцово-надвигового типа с амплитудой ступенчатого смещения 8-10 км [6,2], что и обусловило длительное поступление больших объемов мантийной магмы и рудоносных трансмагматических флюидов в остаточную тектоническую расщелину с последующими потоками постмагматических растворов, наложивших метасоматоз и гидротермальный метаморфизм на сформировавшиеся магматические породы и руды. Завершаются регрессивные процессы автометаморфических изменений финальным динамометаморфизмом в коллизийную стадию при полном закрытии бывшего океанического пространства сомкнутыми плечами литосферных плит в условиях возрастающей конверсии тангенциального сжатия, прекращения поступления мантийных флюидов и перерождения горизонтальных движений в вертикальные под влиянием двойного коллизийного сжатия.

Регрессивному гидротермальному метаморфизму и возрожденному межплитному финальному динамометаморфизму подверглись практически все базит-ультрабазитовые породы и рудные проявления восточной части Кемпирсайского плутона, включая вмещающие породы залегающих вдоль Главного Уральского, Кемпирсай-Даульского и Бородинского глубинных разломов и между ними (рис. 2). Габбро, габбро-нориты, тылаиты краевой фации массива претерпели приразломную амфиболитизацию до образования рассланцованных гранатовых габбро-

амфиболитов и амфиболитов с преобразованием прилегающих к ним известковистых пироксенитов и перидотитов в хлоритизированные амфиболиты, горнблендиты и алмазоносные рутиловые эклогиты. В ультрабазитах ядерной фации массива дуниты, гарцбургиты, энстатиты, троктолиты и другие магнезиальные породы местами подверглись автометаморфическому магнезиальному скарнированию и фронтальной серпентинизации. Фронтальная серпентинитовая гидратация ультрабазитов сопровождается увеличением объема, соответственно возрастанием внутрикамерного давления и завершается в коллизийную и особенно эпейрогенетическую стадии тангенциальным сжатием и собирательной перекристаллизацией хромшпинелидовых аксессуаров до нодулей, далее сближением и уплотнением хромшпинелидовых нодулей до богатовкрапленных и сплошных остаточных руд в реститовых ультрабазитах автохтонного материнского массива и соответственно протрузивным выдавливанием избытка серпентинизированных гипербазитов в орогенные этажи герцинид, которые альпинотипно трассируются вдоль глубинных разломов (рис. 2). Альпинотипные протрузии серпентинизированных и эклогитизированных гипербазитов в верхних структурных этажах и остаточные концентраты хромшпинелидовых нодулей богатых руд в автохтонных офиолитовых массивах нижних структурных этажей герцинид объединены в метаморфогенную протрузивно-реститовую стадию коллизийного этапа становления офиолитового подвижного пояса Мугоджар [1,5,6].

Платиноносные титаномагнетитовые пироксениты раннемагматического этапа локализованы на северо-западе Кемпирсайского массива, в хвостовой его части (рис. 2,а), где они слагают Велиховское промышленное месторождение авгит-ильменит-магнетитового минерального типа [10]. Платиноносный титаномагнетит образует сидеронитовую вкрапленность в пироксенитах и перидотитах (козьвитях), слагая рудные зоны козьвитов. Содержание в козьвитях Fe — 17-20 %, TiO_2 — 2 %, V_2O_5 — 0,2 % и ЭПГ (элементы платиновой группы — Pt , Pd , Ph) около 1,2 г/т. Рудные пироксениты представлены тремя зонами пластообразных тел, вытянутых субмеридионально и круто падающих на запад под углом 60°-70° согласно общему залеганию стратиформно расслоенных вмещающих интрузивных пород [2,6]. Севернее, среди пироксенитов и перидотитов Хабаровинского массива, известны аналогичные титаномагнетитовые руды Горюнского и Херсонского месторождений [10].

Скарново-магнетитовые руды постмагматического этапа относятся к контактово-метасоматическому типу [10]. Они развиты в экзоконтакте габброидов краевой фации того же Велиховского участка Кемпирсайского интрузивного массива с известняками чанчарской свиты среднедевонского возраста, размещены западнее Велиховского титаномагнетитового месторождения, где слагают Западно-Велиховское и Северо-Велиховское месторождения с падением скарново-

рудных тел на запад под углом порядка 60° [2,6]. Скарново-магнетитовые зоны в эндоконтакте Кемпирсайского массива сопряжены с метасоматически измененными осветленными габброидами, по составу соответствующими метагранитоидам. В экзоконтактной зоне массива развиты мрамор и роговики [10].

Аутометаморфические апогабброидные скарноиды, амфиболиты и апогипербазитовые магнезиальные скарны. Гранатовые и пироксеновые скарноиды и амфиболиты развиты по расщепленным габброидам краевой фации в восточной эндоконтактной зоне Кемпирсайского массива (Куагашский участок) и в западной части небольшой Мамытской протрузии, а также в сопряженных с ними породах переходной зоны — троктолитах и форелленштейнах. Эти скарноиды и амфиболиты известны в литературе как гранатовые габбро, эклогитоподобные породы и гранатовые амфиболиты. Примечательно, что останцы и ксенолиты песчаников в габбро-амфиболитах восточной экзоконтактной зоны Хабаровинского массива (Эбетинский участок) метаморфизованы до кварц-гранатовых скарноидов [11]. Магнезиальные скарны шпинель-тремолитового состава иногда с тальком и антигоритом образованы по дунитовым прослойкам троктолитов Шандашинского участка в юго-западной эндоконтактной зоне и Куагашского участка, расположенного в восточной эндоконтактной зоне Кемпирсайского массива и ограниченного Главным Уральским разломом (рис. 2, а).

Метаморфогенные платиноносные хромитовые руды относятся к протрузивно-реститовой стадии формирования базит-ультрабазитовых массивов кемпирсайского комплекса [1,6]. Они размещены в серпентинизированных дунитах ультрабазитового ядра на юго-востоке Кемпирсайского массива, составляют вереницу многочисленных линзовидных и пластообразных тел различной густоты вкрапленности хромшпинелидовых нодулей до сплошных хромитовых руд. Мощность хромитовых рудных тел, переменная от 10 до 800 м в местах раздува и тупо выклиниваются до 1500 м. Эти тела в виде двух субмеридиональных зон слагают Главный рудный пояс трех десятков отрабатываемых месторождений Кемпирсайской группы. Западная рудная зона прослежена на 12 км и включает следующие промышленные месторождения (с юга на север): Алмаз-Жемчужина, Миллионное, Геофизическое 7, 16, 29^а, 38, 39, Комсомольское, Поисковое, Геофизическое III, IV, V и 20 лет КазССР. Восточная зона вытянута на 22 км и состоит из месторождений Первомайское, Геофизическое 21, Спорное, Спутник, Гигант, Геофизическое I, II, VI, Восход, Карашаганское, 40 лет КазССР, Молодежное, Александровское. Рудные тела этих зон, по которым впервые нами составлены сводные продольные и поперечные разрезы (рис. 2, б), по простиранию постепенно погружаются с севера на юг от пологозалегающих в куполах апикальной части массива до крутопадающих у южной кромки габброидов краевой фации массива. Здесь они

сближаются и на глубине сливаются в одну корневую рудно-магматическую систему Главного рудного пояса, которая конвергентно погружается в вертикальную ножку гарполита, фиксируемую геофизической аномалией (рис. 2, б разрез Ж-3). Последствия динамометаморфизма при формировании хромитовых руд проявлены не только в их морфологии, меняющихся структурно-текстурных особенностях, высоком содержании Cr_2O_3 и составе РЭПГ (редкие элементы платиновой группы — Os, Ir, Ru) около 0,8 г/т, но и в строении хромшпинелидовых нодулей. Обычно они изометричны, диаметром менее 1 см, но нередко встречаются вытянутые одинаково ориентированные агрегаты нодулей до 2-3 см по длинной оси, которые приобрели эллипсоидную форму при одностороннем давлении, когда они были в пластичном состоянии. Изотропное внутреннее строение нодулей также является следствием метаморфизма. Повсеместная их микротрещиноватость, залеченная серпентином, свидетельствует о динамометаморфизме. При усилении стресса образуются порошкового («сажистого») облика катаклазированные рудные тела хромитов, вытянутые вдоль пострудных разломов.

Рудообразующие хромшпинелидовые нодули с реститовой основной массой аподунитовых серпентинитов в интерстициях являются типоморфными индикаторами аутометаморфического происхождения их путем собирательной перекристаллизации хромшпинелидов гипидиоморфнозернистых выделений акцессорных хромшпинелидов, одиночные реликты которых встречаются в гарцбургитах и перидотитах в виде октаэдрических контуров. Такие кристаллические зерна обычны для хромшпинелидовых кумулатов бедных руд интрузий бушвельдского типа. В интрузиях платформенных областей нодули овальной формы размером от 0,2 до 2 дюймов в диаметре отмечаются только в упомянутой нами зоне серпентинитов среди хромитовых руд Базальной толщи Бушвельдского массива. Здесь по описанию авторов [4, с. 34] «Каждая нодуля состоит из одного или нескольких кристаллов бронзита или плагиоклаза, пойкилитически включающего обильные мелкие хромитовые зерна..., поэтому участки, чрезвычайно обогащенные, нодулями непригодны для разработки». Как видно, эти нодули в Бушвельдском лополите не дозрели до изотропных рудообразующих нодулей Кемпирсайского массива, но вместе с тем свидетельствуют об эволюционном развитии рудных нодулей при метаморфизме ультрабазитов складчатых областей.

Проведенная статистическая компьютерная обработка 177 химических анализов интрузивных, метасоматических и метаморфизованных пород и руд Кемпирсайского плутона, в основном заимствованных из многочисленных опубликованных и рукописных работ предшественников, позволила получить объемную петрологическую диаграмму соотношения усредненных химических составов восьми главных пород и руд массива (рис. 3). Она наглядно отражает фациальную зональность магматического расслоения базит-ультрабазитовых пород и метаморфогенного изменения и

перераспределения пород и руд в следующей последовательности: от габброидов краевой фации до дунитов ядерной фации Кемпирсайского массива, при которой закономерно уменьшается щелочность, известковистость, железистость, алюмосиликатность, возрастает магнезиальность и резко возрастает хромитовое оруденение [6].

Соответственно в этих породах и рудах меняется состав хромшпинелидовых аксессуариев алюмохромита — $Fe(Cr,Al)_2O_4$ хромпикотита — $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ и рудного магнохромита — $(Mg,Fe)(Cr)_2O_4$. Отсюда следует, что в газовой среде расслоенного магматического расплава ультрабазитов различной магнезиальности существовало равновесие между аксессуарами хромшпинелидов переменного состава и вмещающими алюмосиликатами. Хромистость в акцессорных выделениях хромшпинелидов увеличивается от 35% в алюмохромитовых интерстициальных одиночных выделениях лерцолитов до 65% в гипидиоморфных магнохромитовых зернах дунитов при среднем валовом содержании в этих породах Cr_2O_3 всего 0,31% (рис. 3, фиг. 5,6,7). При фронтальной серпентинизации последних и протрузивном их отжати именно магнохромитовые акцессории серпентинизированных дунитов группируются в метаморфогенные нодулы и далее в рудные тела с высоким содержанием хрома, что на последней фигуре №8 петрохимических диаграмм (рис. 3) проявлено в сокращении магнезиальности и резком увеличении содержания Cr_2O_3 до 65%. Иными

словами, в коллизионный этап конвергентной стадии закрытия палеоокеана горизонтальные движения перерождались в вертикальные выжимки протрузий серпентинизированных ультрабазитов с фрагментами перидотитовых ядер и габброидов плутонов кемпирсайского комплекса, которые были выведены в верхние структурные этажи герцинид Мугоджар вдоль Главного Уральского глубинного разлома и оперяющих его нарушений и затем консолидировались в виде бескорневых будин в зонах меланжа [2,6]. В реститах же серпентинизированного ультрабазитового ядра Кемпирсайского плутона магнохромитовые нодулы с содержанием Cr_2O_3 до 65% группировались во вкрапленные и сплошные руды с аналогичным валовым содержанием Cr_2O_3 , тогда как при алюмохромитовых и хромпикотитовых нодулах в ультрабазитах Среднего Урала содержание Cr_2O_3 в рудах Краковской и Саранской групп месторождений колеблется от 30 до 40%, руды которых пригодны лишь для производства огнеупоров.

Установленные нами геодинамические и рудно-петрологические постулаты по геолого-структурному строению, формированию и рудогенезу концентрически-зональных базит-ультрабазитовых плутонов кемпирсайского комплекса позволяют наметить выбор новых направлений поисково-разведочных работ и обосновать перспективы по наращиванию ресурсов наиболее ценных промышленных руд хромитов и платиноидов которые будут рассмотрены в следующей статье трудов КапГТУ.

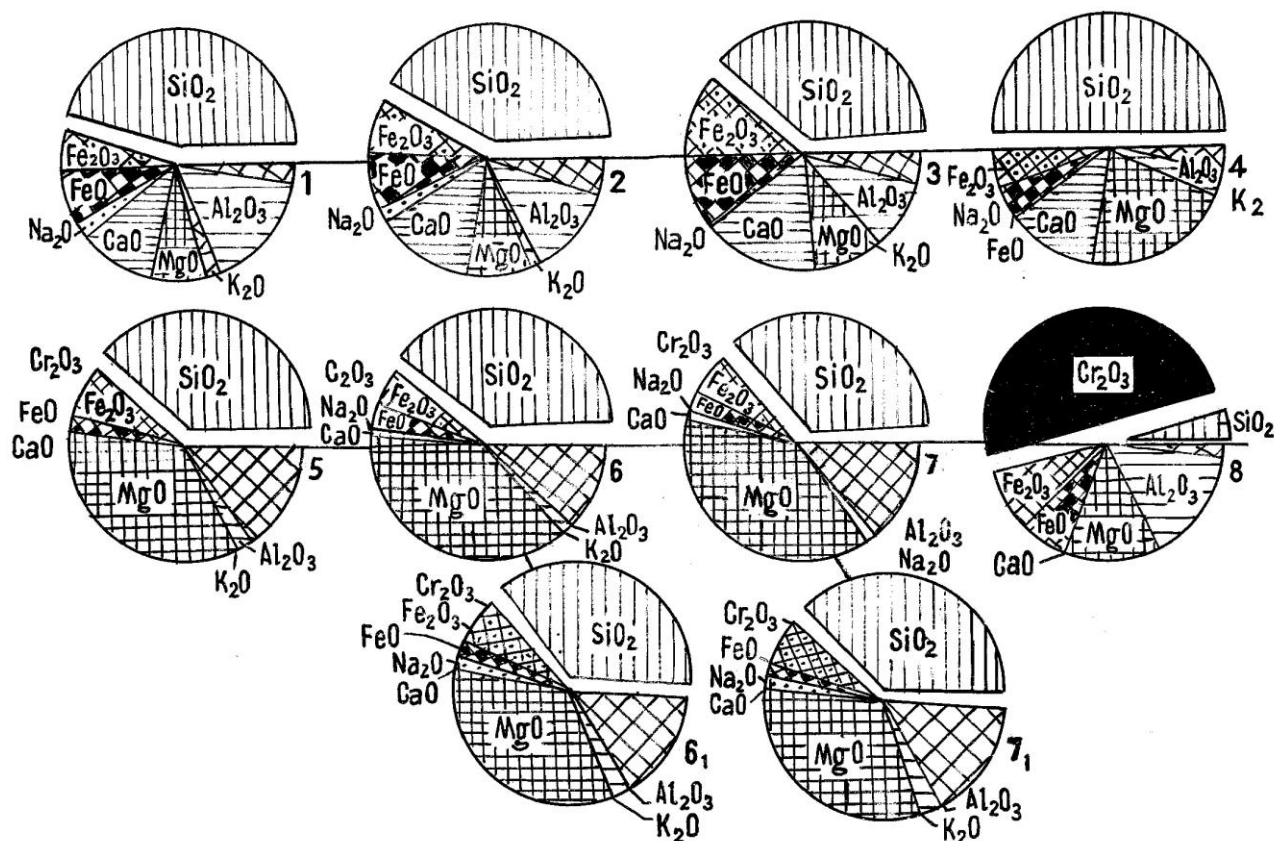


Рис. 3. Петрохимические диаграммы магматических дифференциатов габбро-пироксенит-дунитовой формации и постмагматических метаморфитов Кемпирсайского плутона: 1 — габбро, 2 — меланократовые габброиды-тылаиты,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекмухаметов А.Е. Петрология и минералогия базит-ультрабазитовых плутонов кемпирсайского комплекса в офиолитовом поясе Мугоджар // Геология Казахстана. 1995. №5-6. С. 45-51 — на русском языке; С. 154-159 — на английском языке.
2. Бекмухаметов А.Е., Бекмухаметов З.А. Месторождения черных металлов кемпирсайского интрузивного комплекса Мугоджар // Атлас моделей месторождений Казахстана. Алматы, 2004. С. 106-107.
3. Камерон Ю.Н., Десбора Дж.А. Условия залегания и особенности хромитовых месторождений восточной части Бушвельдского комплекса // Магматические рудные месторождения. М.: Недра, 1973. С. 27-42.
4. Коттерил П. Хромитовые месторождения Селюкве (Родезия) // Там же. С. 105-128.
5. Бекмухаметов А.Е., Бекмухаметова З.А. Формационно-генетические особенности и геодинамика становления уникальных месторождений черных металлов Казахстана // Геология Казахстана. 2004. С. 168-177.
6. Бекмухаметова З.А., Атажанова Ж.А. Рудогенез месторождений черных металлов в базит-ультрабазитовых массивах кемпирсайского комплекса Мугоджар // Geologiya va mineral resurslar. Ташкент, 2005. №3. С. 12-17.
7. Уиллемз Дж. Ванадиевые магнетитовые руды Бушвельдского комплекса // Магматические рудные месторождения. М., 1973. С. 129-150.
8. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского Плутона. М.: Наука, 1968. 178с.
9. Атажанова Ж.А., Бекмухаметова З.А., Диаров А.Б. Особенности петрологии и рудоносности базит-гипербазитовых плутонов платформенных и офиолитовых поясов складчатых областей // Вестник ВКГТУ. Усть-Каменогорск, 2004. С. 5-11.
10. Бекмухаметов А.Е. Велиховское месторождение // Металлогения Казахстана. Алма-Ата, 1982. С. 33-41.
11. Зверев А.Т., Лобанова З.М. Природа габбро-амфиболитов Главного гипербазитового пояса Урала (на примере Кемпирсайского и Хабарнинского массивов) // Изв. АН СССР. 1973. №3. С. 53-66.

ӘОЖ 622.807:622.7(574.3)

Н.Р. ЖОЛМАҒАМБЕТОВ

Аспирациялық жүйедегі құбыр ішіне отырған шаңды сығылған ауа көмегімен үрлеу

Соңғы жылдары көптеген өнеркәсіптердің қарқынды дамуының барысында, технологиялық процестердің жұмыс істеуі кезінде шаңның мөлшерден тыс көп бөлінуі салдарынан ауа бассейнінің ластануы, соның салдарынан жұмыскерлердің денсаулығының нашарлауы нәтижесінде кәсіби аурулардың күрт өсуі байқалады. Осы кәсіби аурулардың ішінде шаңның әсерінен пайда болатын пневмокониоз ауруының алатын орны ерекше.

Пайдалы қазба байлықты өндіру және одан шикізат өндіру процесінде көптеген кен-байыту фабрикаларында, уатқыш-сұрыптау цехтарында технологиялық процестер кезінде, және де басқа өндірістік жағдайларда шаңның мөлшері ақырғы шекті концентрациядан (АШК) 10-100 есе асып түсетін жағдайлар көптеп кездеседі [1].

Осы мәселелердің алдын алу шаралары бойынша ең нәтижелісі және кең тарағаны аспирациялық жүйе болып табылады. Аспирациялық жүйенің қызметі өндіріс бөлмесінде пайда болған шаңды сорып құбырлар арқылы шаң тазалағыш аппараттарға тасымалдап жеткізу болып табылады. Аспирациялық жүйенің кемшіліктерінің бірі, шаңды тасымалдау кезінде ірі шаң бөлшектерінің ауа — шаң ағымымен сорылып кетпей құбырдың төменгі бетіне жабысып қалып қоюы. Осының нәтижесінде құбыр ішінің кедергісі жоғарылап, үйкеліске жұмсалатын қысым көбейіп қалыпты жұмыс реті бұзылады. Кейбір жағдайларда құбыр ішін жартылай немесе толықтай бітеп тастауы мүмкін. Осыған себеп тек қана шаң бөлшектерінің мөлшері ғана емес, сонымен қатар шаңның өзіне тән қасиеттері (жабысқақтығы, дымқылдығы, тығыздығы, химиялық құрамы) болуы мүмкін.

Қазіргі уақытқа дейінгі әдістер мен құралдарды қолдану, аспирациялық жүйені жартылай немесе толықтай тоқтатуды талап етеді. Бұл жағдай технологиялық процеске және өндірістегі өнімділікке кері әсерін тигізетіні белгілі. Көптеген байқаулар нәтижесін сараптай келе шаңның құбыр ішіне шоғырлануы, құбырдың горизонтал орналасқан аумақтарында және құбырдың желдеткіштен алыс орналасқан аймақтарында байқалатыны анықталды [2,3]. Сондықтан шаңның құбыр ішіне шоғырланбауы үшін, ауа-шаң қозғалысының механизмін білу және жаңа әдістер мен құралдарды жобалау мен зерттеулер жүргізу, аспирациялық жүйенің нәтижелі жұмыс істеуіне әкеледі.

Аспирациялық жүйені өндірісте қолданудың тиімділігін, жұмыс істеу уақытын және өнімділігін арттыру мақсатында, жоғарыда келтірілген проблеманың алдын алу үшін мынадай эксперименттік жұмыс жүргізілді.

Аспирациялық жүйенің құбыр ішінде шаңның шоғырлануы жиі байқалатын аймақтарда, құбырдың үстіңгі бөлігінен форсункалар арқылы сығылған ауа беріп, құбырдың төменгі бөлігіне отырып қалған шаңды үрлеу арқылы, құбыр ішіндегі ауа ағыны жылдамдығының жоғарылауы нәтижесінде шоғырланған шаңды үрлеп, ұшырып әкету көзделген. Осы әдістің қаншалықты пайдалы екендігін және форсункаларды бір-бірінен қандай арақашықтықта орналастыру керектігін дәлелдеу эксперименттік жұмыстың басты мақсаты болды.

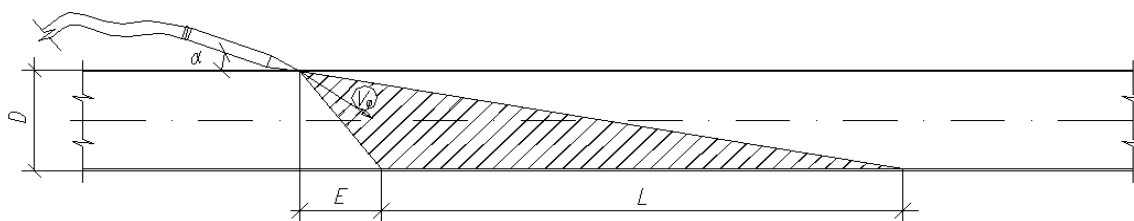
Ол үшін ұзындығы 3м, диаметрі 250мм, құбыр ішінің (1-сурет) төменгі бетін ұзындық өлшемімен белгілеп, құбырдың үстіңгі бөлігінде жасалған көлемі 10 x 2500 мм терезе арқылы құбыр ішіне елеуіштен өткізілген, ірілігі 25 мкм дейінгі шаңды біргелік қылып шашамыз. Сонан соң терезені жауып, құбырдың

үстіңгі бөлігінде орналасқан форсунка арқылы сығылған ауа беру арқылы, құбырдың төменгі бетіне отырған шаңды үрлейміз. Құбырдың төменгі бетінің шаңнан тазарған бөлігінің ұзындығын, құбырдың төменгі бетінде белгіленген ұзындық өлшемінің көмегімен анықтаймыз. Эксперименттік жұмысты форсунканың диаметрін 2,4,6,8,10 мм және орналасу бұрышын суретте көрсетілгендей 20,40,60° өзгертіп отыру арқылы, форсунканы қолданғанда диаметрінің және орналастыру бұрышының қандай болғанында жақсы нәтиже көрсететіндігін анықтадық.

Эксперимент жүргізу үшін көмір, күл және цемент шаңы алынды, яғни жұмыс нәтижелері 1-кестеде келтірілгендей, форсунканың орналасу бұрышы $\alpha=20^\circ$ және диаметрі 10 мм болғанда, тазаланған аумақ L — дің ұзындығы ең жоғарғы көрсеткішті көрсеткені

анықталды. Сонымен қатар форсунканың диаметрін үлкейткен сайын, оны қолданудың тиімділігі арта түсетіндігін байқадық. Ал қолданылған шаңның түрлеріне байланысты, цемент шаңына қарағанда, күл шаңының жақсы ұшқындағанын көрдік.

Эксперимент нәтижесі бойынша мынадай қорытынды жасауға болады: өндірістердегі аспирациялық жүйелердің құбырының ішіне шаңның жиі шоғырланып қалатын бөліктерінде, жоғарыда келтірілген эксперимент нәтижелеріне сәйкес, форсункалар арқылы қосымша ауа ағынын беріп, құбыр ішіне отырып қалған шаңды үрлеу арқылы аспирациялық жүйенің тұрақты және тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге, сонымен қатар жұмыс істеу мерзімін ұзартуға болатындығы байқалды.



1-сурет — Эксперименттік жұмыс жүргізуге арналған желдету жүйесі бөлігінің жалпы көрінісі

1 кесте

ЭКСПЕРИМЕНТ НӘТИЖЕЛЕРІ

№	Шаңның түрі	Форсунка диаметрі d_f , мм	Бұрыш α , °C	Форсунка арқылы берілген ауа ағынының жылдамдығы, V_f м/сек					
				50 м/сек		100 м/сек		150 м/сек	
				E , мм	L , мм	E , мм	L , мм	E , мм	L , мм
1	Көмір шаңы	2	20	250	7	242	48	235	90
			40	210	14	205	73	195	130
			60	170	23	175	95	168	193
		4	20	320	89	295	165	278	390
			40	300	91	283	173	263	440
			60	270	68	265	157	235	370
		6	20	310	337	303	560	295	880
			40	260	290	245	533	235	830
			60	230	246	212	485	205	720
		8	20	265	565	248	890	228	1110
			40	220	478	208	800	205	1000
			60	165	385	145	710	140	830
2	Күл шаңы	2	20	210	715	193	1233	190	1360
			40	180	685	165	935	153	980
			60	150	510	136	805	122	820
		4	20	235	12	228	56	200	118
			40	212	21	205	85	185	165
			60	165	35	146	110	130	195
		6	20	290	96	282	266	260	430
			40	248	103	235	287	233	475
			60	236	76	225	205	215	405
		8	20	275	352	263	645	247	930
			40	205	330	203	590	190	870
			60	148	318	136	535	120	780
3	Цемент шаңы	2	20	210	588	200	936	195	1190
			40	173	515	162	841	145	945
			60	145	475	130	735	115	855
		4	20	187	765	173	1315	165	1405
			40	155	690	152	1090	135	1210
			60	135	570	130	825	105	980
		6	20	248	3	225	43	215	73
			40	208	12	176	73	170	115
			60	175	15	153	100	135	145

			40	287	78	257	165	238	290
			60	262	61	233	143	210	255
			20	303	325	270	530	250	840
		6	40	253	276	223	510	205	810
			60	215	234	185	445	175	690
			20	248	535	235	865	210	1080
		8	40	215	454	195	793	175	930
			60	146	373	119	680	105	850
			20	200	690	230	1195	190	1215
		10	40	185	673	195	1010	165	920
			60	145	481	110	795	105	795

ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М.: Химия, 1976. 431 с.
2. Фильней М.И. Проектирование вентиляционных установок. М.: Высшая школа, 1966. 204 с.
3. Сатарин В.И. Движение и обеспыливание газов в цементном производстве. М.: Высшая школа, 1986. 284 с.

УДК 658.652.002

В.Ф. ДЕМИН
Н.Н. ТУЛЕПОВ
В.В. ДЕМИН

Обоснование эффективного способа охраны выемочных выработок при отработке маломощных пластов

Радикальным направлением повышения эффективности угледобычи является внедрение интенсивных технологических схем выемки с оптимальными параметрами, высокопроизводительными средствами механизации при высокой степени концентрации горных работ.

Внедрение «вертикального принципа» по совершенствованию всех структур системы «шахта», начиная от очистных, подготовительных работ и кончая транспортом, включающей использование высокопроизводительного оборудования, ресурсосберегающей технологии и прогрессивной организации труда, предполагает повышение технико-экономической эффективности подземного горного производства. Такой комплексный подход к совершенствованию шахтного фонда позволит обеспечить эффективность внедрения прогрессивной технологии подземной добычи угля и создать благоприятные условия для применения техники нового поколения.

В Карагандинском бассейне сложность проблемы развития горных работ на более глубокие горизонты связано с тем, что основные запасы угля находятся на глубинах 400-500 м и свыше 600 м, а средняя глубина шахт составляет 500 м [1]. При этом в бассейне ведется, преимущественно, разработка пластов мощных и средней мощности, где эффективным образом используются возможности существующей выемочной техники. Запасы таких пластов ограничены и могут иссякнуть. Поэтому важным подходом в обозримой перспективе является вовлечение в отработку запасов маломощных и при необходимой проработке и обосновании целесообразности выемки забалансовых запасов угольных пластов Карагандинского бассейна.

В связи с ограниченностью капитальных вложений на обновление основных фондов и реконструкцию угольных предприятий, рациональное использование имеющихся на шахте георесурсов

приобретает особую важность. При вовлечении в отработку маломощных пластов увеличатся объемы попутно добываемой шахтной породы с 5-10 до 10-15 %, что обусловит рост затрат на ее утилизацию и приведет к снижению эффективности производственной деятельности горных предприятий.

Общая протяженность поддерживаемых горных выработок по шахтам УД АО «Миттал Стил Темиртау» составляет 698,8 км, из которых используется 598,6 км, остальные изолированы и законсервированы. Большая часть выработок (92 %) закреплена рамной металлоарочной крепью. Горные выработки, не соответствующие паспорту, составляют 2,6 % (около 17,3 км), из них большая часть не соответствует по сечению — 62,2 % выработок. Доля горных выработок, не соответствующих паспорту по высоте и зазорам примерно одинакова — по 19,6 %. Протяженность поддерживаемых выработок по восьми шахтам УД АО «Миттал Стил Темиртау» за последние годы ежегодно сокращается на 135-165 км. По статистическим данным, объем горных выработок, приходящихся на одну шахту, составляет около 87,4 км или 66 м на 1000 т добычи, при средних объемах погашения 6,3-24,2 км или в среднем 10 км горных выработок на одну шахту. С переходом на прогрессивные технологические схемы отработки угольных пластов по принципу «шахта-лава» или «шахта-пласт» с высокой степенью концентрации ведения горных работ можно существенно сократить объем обслуживающих выработок на одну лаву. Резко выраженная негативная тенденция по росту трудоемкости работ на содержании и ремонте горных выработок (рис. 1) также требует ее преодоления.

Из анализа существующего положения, при котором потенциальные возможности комплексно-механизированных забоев растут, одной из основных причин возникновения внелавных простоев является неудовлетворительное состояние участков подготовительных выработок, вызванное, в первую

очередь, ухудшением горно-геологических условий с ростом глубины горных работ и увеличением протяженности воздухоподводящих путей. На каждую лаву приходится в среднем 59,2 км горных выработок (табл. 1). Анализ объемов поддерживаемых горных выработок в Карагандинском бассейне показывает, что наиболее часто в неудовлетворительном состоянии находятся подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою.

Если принять за единицу максимальное давление на крепь присечных выработок, то для выработок, охраняемых целиками шириной 8 м, прирост давления составит 1,2; 6 м — 2; 4 м — 5, а при сохранении выработок для повторного использования — 6 [2, 3]. Величина приконтурных напряжений при поддержании выработки за лавой в 6 раз больше, чем при присечном способе охраны выработок. Вместе с тем, технология с повторным использованием выработок способствует обособленному разжижению и удалению метана по источникам поступления, снижению вероятного образования опасных скоплений метана, уменьшению объемов проведения выработок по воспроизводству фронта очистных работ.

Затраты на поддержание повторно используемых выработок традиционными конструкциями усиливающих крепей, чаще с одинарными или двойными прогонами из спецпрофиля с ремонтниками из гидростоек или стоек трения с многократными подрывками почвы (до трех раз — при отработке первого выемочного столба и двух раз — при

отработке соседнего столба) и перекреплением (до двух раз) выработок, достаточно велики и составляют в среднем 15-20 тыс. т/м за срок ее службы и приближаются к стоимости их проведения. Это обусловлено тем, что выработки, как правило, перекрепляются сразу после прохода лавы, по крайней мере, меняются боковые ножки или восстанавливаются узлы податливости арочной крепи. В процессе поддержания выработок позади очистного забоя перекрепляется до половины их протяженности при дефектности крепи в поддерживаемой части от 10 до 95 %, при среднем уровне 46 %. Из сказанного следует, что существующие виды крепления и охраны повторно используемых выемочных выработок не обеспечивают их удовлетворительного состояния и безремонтного поддержания, а комплекс процессов, связанных с возведением возможных видов охранных сооружений сопряжен со значительными трудностями из-за применения немеханизированных работ и может являться сдерживающим фактором для процессов очистной выемки. В неудовлетворительном состоянии могут находиться как вентиляционные, так и конвейерные выемочные выработки. В вентиляционных выработках ведется интенсивная подрывка пород почвы, по крайней мере «штраба» (например, на пластах k_1 , k_2 , k_7 , k_{10} , k_{12}), а также при необходимости и перекрепление (по мощному пласту k_{12}) для обеспечения минимально требуемых эксплуатационных размеров площади поперечного сечения.

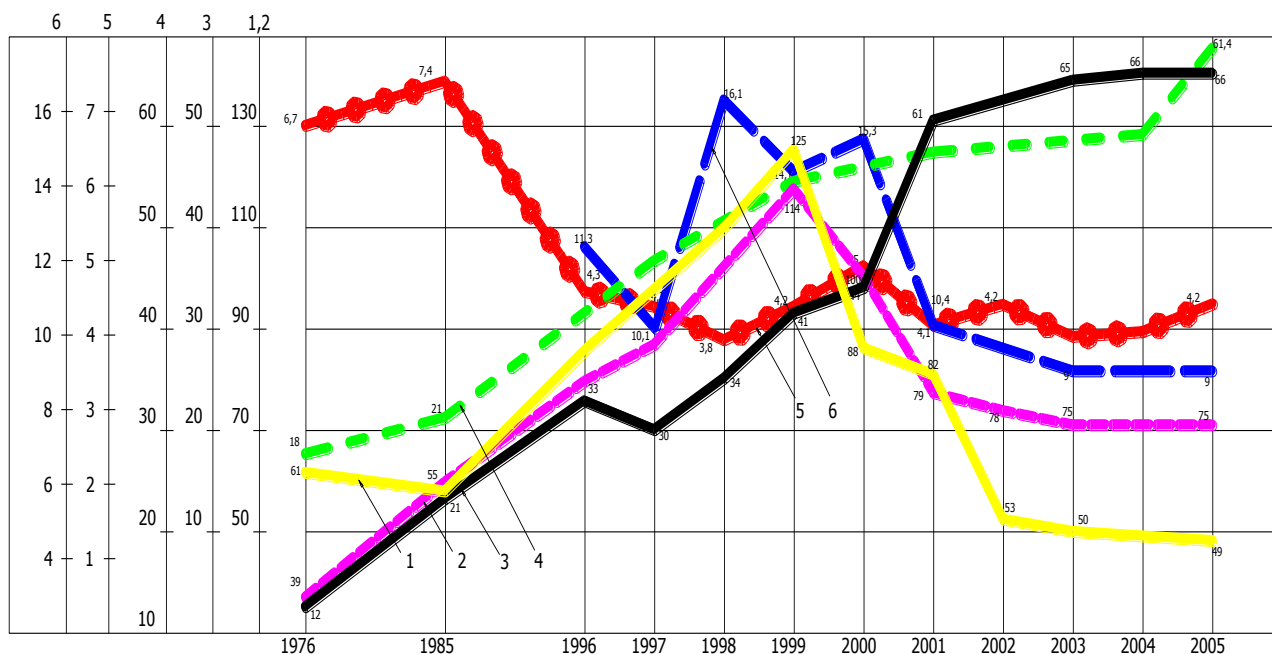


Рис. 1. Техничко-экономические показатели работы шахт.

1,2,3 — трудоемкость работ соответственно: очистных, подготовительных, на содержании и ремонте выработок чел-см/1000т; 4 — протяженность горных выработок, км/лаву; 5 — проведение подготовительных выработок, км/1000т; 6 — погашение горных выработок, %.

Таблица 1

ПРОТЯЖЕННОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Протяженность, км	по годам					
	1996	1997	1998	1999	2000	2002

Общая по УД (в знаменателе — км/лаву); относительно предыдущего года	1207.40(15) 32.8	1180.55(15) 30.0	1043.89 (15) 34.3	854.92(8) 41.0	778.59(8) 44.4	737.72(8) 61.3	698.82(8) 59.2
	-146.06	-325.85	-136.68	-166.89	-139.28	+40.83	-38.9
По одной шахте: от-до средняя	44.09-142.22 80.49	41.21-171.75 78.70	47.71-124.80 69.59	45.00-155.00 109.62	46.34-153.36 92.21	43.71-141.64 97.32	121.34-43.59 87.4
Пройдено по УД (в знаменателе — м/1000 т добычи); относительно предыдущего года	43.79 4.3	53.88 4.2	34.52 3.8	30.80 4.2	36.63 4.5	40.14 4.1	43.37 4.3
	-3.04	+10.09	-19.36	-3.72	+5.82	+3.52	+3.2
По одной шахте: от-до средняя	0.26-7.58 2.92	0.17-4.15 3.59	1.08-6.43 2.30	2.62-6.24 3.85	2.62-6.24 4.58	3.81-6.54 5.02	3.62-7.21 5.4
Погашено по УД (в знаменателе — % к общей протяженности); относительно предыдущего года	136.16 11.3	188.59 10.1	171.19 16.4	123.30 14.4	112.95 15.3	84.02 10.4	84.02 10.4
	+11.26	+52.43	-17.41	-47.89	-10.35	-39.92	-1.75
По одной шахте: от — до средняя	2.20-40.14 9.08	0.96-12.05 12.57	4.48-41.21 11.41	5.40-40.00 15.41	6.38-16.88 14.12	5.16-17.53 10.13	6.33-24.15 10.3

Примечание — В скобках указано количество шахт на данный период.

Анализ результатов замеров позволил определить напряженно-деформированное состояние угольно-породного массива вокруг выработок для определенных горно-геологических условий в зависимости от средств усиления крепления и способов охраны. По величине и распределению концентрации напряжений при мощности пласта от 1 до 2 м и охране выработки деревянными кострами и чураковыми стенками: максимумы со стороны угольного массива и со стороны выработанного пространства примерно одинаковы и составляют по 150-170 кН/м², а при органной крепи — снижаются до 130-150 кН/м² (табл. 2). При мощности угольного пласта 2,0-2,5 м и охране органной крепью: со стороны массива концентрация напряжений составляет 160-170 кН/м², а со стороны выработанного пространства — 230-250 кН/м², над верхняком выработки — 50-70 кН/м² (рис. 2 и 3). Причем увеличение количества органных рядов снижает жесткость крепления и применение более одного органного ряда — нерационально.

Характер распределения давления зависит от вынимаемой мощности пласта, так, например,

смещения и конвергенция пород кровли и почвы при увеличении мощности пласта с 1,0 до 2,0 м растут в среднем на 10-20 %.

Сопоставляя полученные данные с величинами нагрузки на крепь выработок применительно к классификации ВНИМИ [4], по которой нагрузки со стороны кровли для выемочных выработок до 60 кН/м² — относят к благоприятным условиям поддержания; 60-120 кН/м² — к средним; 120-350 кН/м² — к тяжелым, можно сделать вывод об относительно сложных условиях поддержания выработок позади лавы в Карагандинском бассейне.

Из сравнения технико-экономических показателей различных способов возведения околострековых охранных сооружений (табл. 3) следует, что бутовые полосы экономичнее других способов и обладают большей технологичностью с механизацией производственных процессов их возведения. Увеличение первоначальных затрат на возведение полос по сравнению с кострами и органными рядами компенсируется экономией за счет снижения стоимости поддержания выработок и ликвидацией затрат на утилизацию шахтной породы.

Таблица 2

МАКСИМУМЫ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД, ОКРУЖАЮЩИХ ВЫЕМОЧНУЮ ВЫРАБОТКУ

Мощность пласта, м	Средство охраны	Значение максимальных напряжений, кН/м ²	
		со стороны массива	со стороны выработанного пространства
2,0-2,5	Двухрядная органная крепь	170-250	150-240
	Трехрядная органная крепь с бутовой полосой	150	230
	Трехрядная органная крепь с бутовой полосой	170	300
1,0-1,9	Деревянные костры	170	180
	Чураковая стенка	170	180
	Однорядная органная крепь	145	130
	Двухрядная органная крепь	150	140

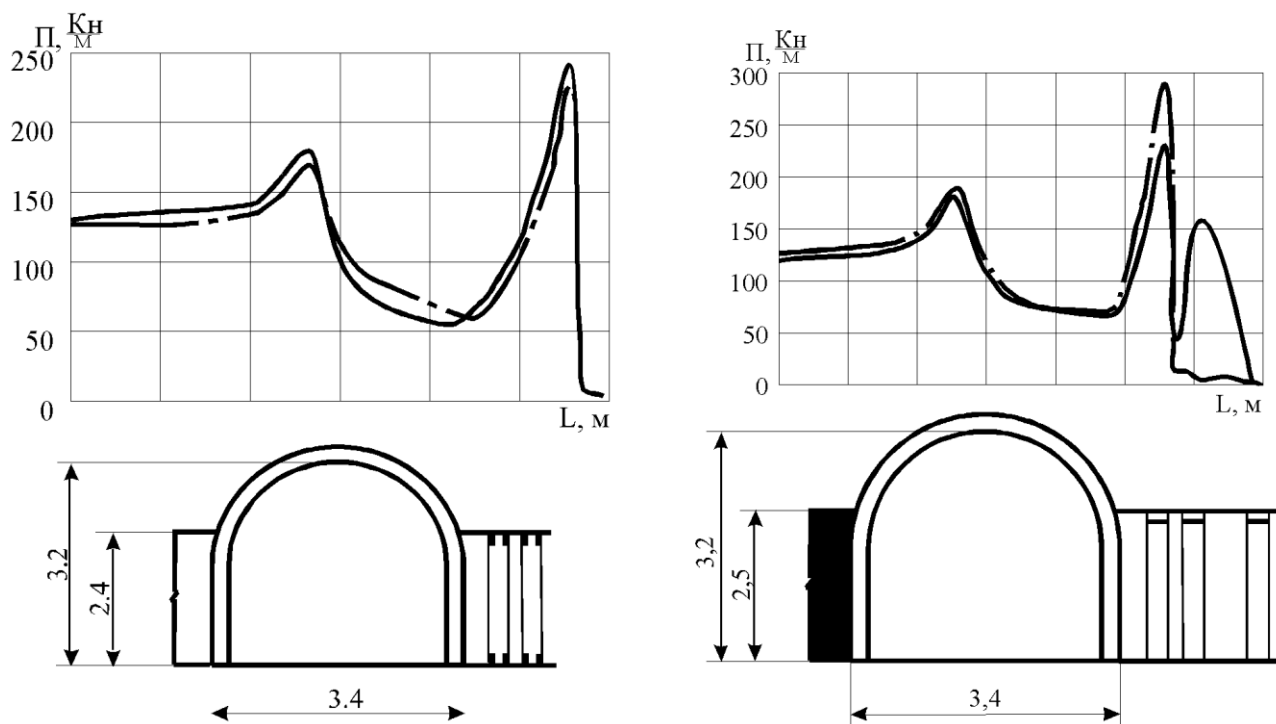
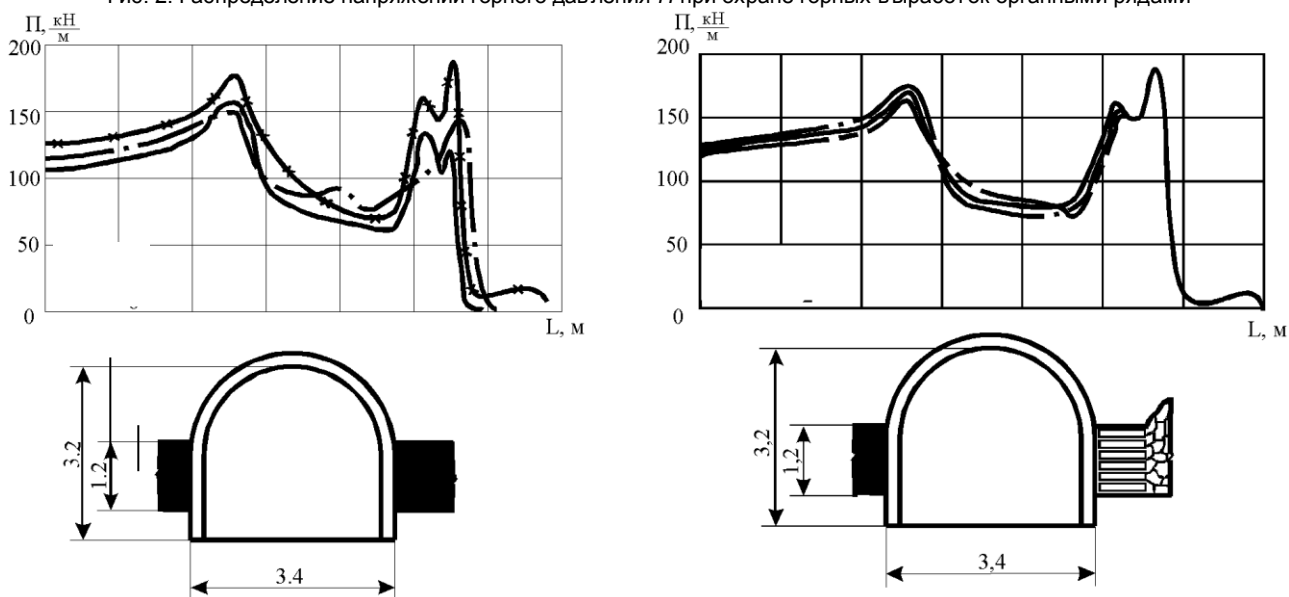
Рис. 2. Распределение напряжений горного давления P при охране горных выработок органическими рядамиРис. 3. Распределение напряжений горного давления P при различных способах охраны горных выработок

Таблица 3

ПОКАЗАТЕЛИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОХРАННЫХ ПОЛОС

Способ охраны	Дальность транспортировки, м	Трудоемкость возведения 1м, чел-см	Производительность, м ³ /ч	Затраты на 1 м полосы, тнг			
				Амортизационные отчисления	Материалы	Заработная плата	Общие
Природный ангидрит	300	0,5	20	193	1900	490	2580
Быстротвердеющий бетон	400	1,0	10	106	1495	980	2580
Железобетонные тумбы	-	0,67	-	-	2800	750	3550
Бутовая полоса	300	0,57	50	-	2500	1760	2010
Костер и двухрядная органическая крепь	-	0,20	-	-	1900	830	1930

Исследования напряженно-деформированного состояния приконтурного массива выемочных выработок показали, что эпюра напряжений при возведении породных опор для охраны выемочных выработок в массиве горных пород резко меняется. Максимум напряжения сжатия «уходит» на 5-10 м в угольный массив и снижается в полтора раза по сравнению с картиной, при отсутствии бутовых опор. Напряжения над контуром выработки также уменьшаются в 1,2-1,3 раза, а эпюра напряжений, связанная с обрезом пород основной кровли в выработанном пространстве лавы, смещается на контур возведенной породной полосы (рис. 6). Всем этим достигается повышение устойчивости выемочной выработки.

Установлено, что при раздельной выемке и транспортировании горной массы даже при коэффициенте присечки боковых пород, равном 0,9 (рис. 4) при совмещении процессов, скорость проходки при прочих равных условиях снижается на 10-15 %, а стоимость проходки увеличивается соответственно в 1,25-1,3 раза (рис. 5).

Применение же временной механизированной проходческой крепи [5] позволит полностью совместить процессы крепления и отбойки горной массы и повысить темпы проведения выемочных выработок.

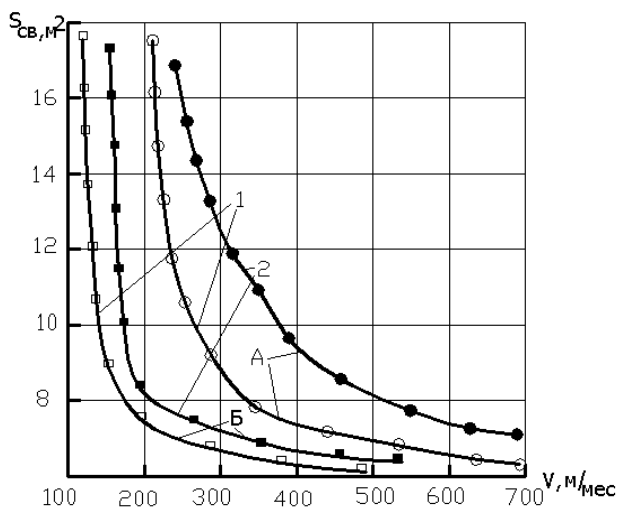


Рис. 4. Зависимость скорости проведения горных выработок от влияющих факторов.
1 и 2 — соответственно, при коэффициенте присечки боковых пород 0,9 и 0,5;
А и Б — соответственно при совмещении и без совмещения технологических процессов.

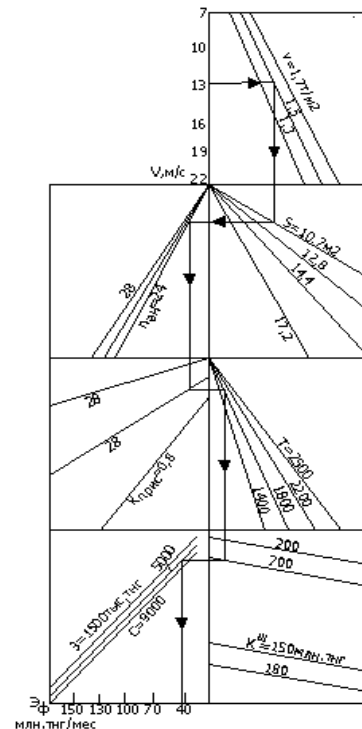


Рис. 5. Определение эффективности при технологических схемах проведения подготовительных выработок смешанным забоем по маломощным пластам.
 V — плотность угля, т/м³; S — сечение выработки в свету, м²; n — количество рабочих дней в месяце; T — цена угля, тн/г; $K^{ш}$ — шахтные сопутствующие расходы, млн. тн/г; $K_{прис}$ — коэффициент присечки боковых пород, доли единицы; $З$ — затраты на проведение горных выработок, тн/г в месяц.

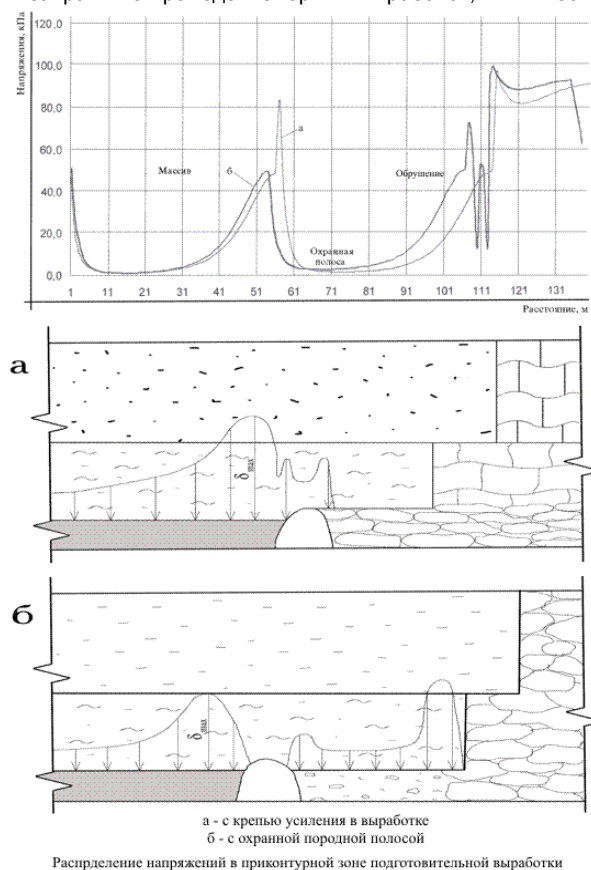


Рис. 6. Напряжение в приконтурной зоне выработки без (а) и с охранной бутовой полосой (б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квон С.С., Роот Э.Г., Демин В.Ф. и др. Проблемы разработки маломощных и сложноструктурных пластов Карагандинского бассейна. Караганда, 2003. 437 с.
2. Бажин Н.П., Райский В.В. Пути совершенствования бесцеликовых способов охраны подготовительных выработок на угольных шахтах СССР // Горная механика: Сб. научных трудов ВНИМИ. Л., 1988. С. 50-55.
3. Баймухаметов С.К., Спроге А.О. Совершенствование способов поддержания выемочных выработок за лавой при бесцеликовой технологии отработки пластов в Карагандинском бассейне // Уголь. 1989. №2. С. 14-16.
4. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л.: ВНИМИ, 1986. 222 с.
5. А.С. № 1411492. СССР. Временная предохранительная крепь / С.С. Квон, В.Ф. Демин. Оpubл. БИ 23.07.1988.

Раздел 3

Строительство. Транспорт.
Металлургия. Машиностроение

УДК 539.3

А.Т. КАСИМОВ

Уточненные теории расчета многослойных конструкций

Широкие потребности различных отраслей современной техники в новых эффективных конструкциях и материалах с заранее заданными свойствами создали предпосылки к интенсивному развитию теории многослойных пластин.

Расчет слоистых пластин в трехмерной постановке представляет сложную задачу строительной механики, тем не менее, известен ряд задач, решенных в рамках трехмерной теории упругости. К ним относятся решения Б.Г. Галеркина и Ф. Власова для толстой однородной плиты. Их результаты можно считать точными. Строгое решение получил А.Э. Брюккер [5] для трехслойной плиты, рассматривая заполнитель как трехмерное тело. Сюда же можно отнести некоторые точные решения В.Г. Пискунова, Н.С. Пагано и метод расчета многослойных плит, предложенный М.Д. Галилеевым. Полученные учеными результаты могут служить «эталоном» при оценке результатов расчета по прикладным теориям.

В настоящее время наиболее полно разработаны теория и методы расчета трехслойных пластин. Анализ допущений и методы решения различных задач трехслойных конструкций приведены в работах [1, 5, 6, 7, 9, 10,]. В дальнейшем будут рассмотрены лишь наиболее общие направления теорий многослойных пластин и методов их расчета. Особое внимание уделено двумерным теориям, основанным на методе гипотез. Они нашли свое отражение в обзорах и статьях, в периодических изданиях [2, 6, 8, 11].

Существует два направления в применении метода гипотез к построению двумерных уравнений теории многослойных пластин, отмеченные в обзоре [6]. **Первое**, более общее, в котором для вывода уравнений применяются кинематические гипотезы для каждого отдельного слоя. Порядок уравнений при этом зависит от числа слоев. К этому направлению относятся работы Э. Рейсснера, А.П. Прусакова, Э.И. Григолюка, В.В. Болотина, П.П. Чулкова, В.Е. Чепиги, Л.Э. Брюккера, Л.М. Куршина, А.Я. Александрова.

Ю.Н. Новичкова, Л. Либереску, Л.В. Баева, Р. Шмидта и др. Наиболее плодотворно исследовались этим подходом трехслойные пластины с привлечением отдельных допущений для несущих слоев и заполнителя.

Более точным подходом обладают исследования слоистых пластин, основанные на следующей системе гипотез: для несущих слоев справедлива гипотеза Кирхгофа-Лява о прямой нормали, а для заполнителя — гипотеза прямой линии, т.е. заполнитель воспринимает только поперечный сдвиг. Тогда в процессе через все слои, превращается в ломаную линию. Эта система гипотез в литературе получила название — гипотеза ломаной линии. На основе гипотезы ломаной линии теория трехслойных пластин получила развитие в работах А.Я. Александрова, Л.Э. Брюккера, Л.М. Куршина, А.П. Прусакова, Э.И. Григолюка, П.П. Чулкова и многих др.

В работах А.П. Прусакова, Х.М. Муштари [7], Л.Э. Брюккера [5] Х.М.Куршина разработана теория трехслойных пластин с легким заполнителем. Здесь рассмотрены пределы применимости допущений о пренебрежении изгибной жесткостью заполнителя, о линейном законе распределения тангенциальных перемещений по толщине заполнителя.

Теория трехслойных пластин с жестким заполнителем считается более общей, т.к. здесь предполагается, что заполнитель воспринимает определенную часть продольных усилий. Эта теория получила развитие в работах Э.И. Григолюка и П.П. Чулкова, А.П. Прусакова [10] и др.

Трехслойные конструкции несимметричной структуры по толщине с жестким заполнителем рассматривались Х.М. Муштари, Г.Н. Васициной, Н.З. Галимовым, Э.И. Григолюком, П.П. Чулковым, В.Н. Корневым, Ф.А. Коганом, К.Н. Борщенко.

Результаты экспериментальных исследований изгиба трехслойных пластин приведены в [1].

В.В. Болотным разработана теория расчета многослойных пластин с произвольным количеством чередующихся жестких и мягких слоев. Для жестких слоев приняты гипотезы Кирхгофа-Лява, а в мягких слоях пренебрегаются напряжения σ_1 , σ_2 , σ_3 . Перемещения подчиняются линейному закону. Все эти допущения сводятся к гипотезе ломаной линии. Решена задача изгиба прямоугольной пластины, опертой по контуру. Для пластин с большим количеством слоев может быть применен принцип континуализации, который сводит задачу к некоторой однослойной анизотропной пластине с непрерывно и медленно меняющимися жесткостными характеристиками по толщине. Этот подход получил дальнейшее развитие в работе [4].

Отметим также новый подход к построению уравнений изгиба пластин, основанный на энергоасимптотическом методе, который предложен А.П. Прусаковым. Этот метод позволяет представить искомые функции в виде рядов. В едином итерационном процессе осуществляется получение основного, вихревого и потенциального напряженных состояний.

Для слоистых пластин симметричного строения метод был применен А.В. Плехановым.

Характерной особенностью теорий рассматриваемого направления является высокий порядок разрешающих уравнений многослойных пластин.

Второе направление основано на описании напряженно-деформированного состояния пластин на основе единых гипотез для всего пакета слоев.

Основоположником этого направления считается С.А. Амбарцумян [3]. В дальнейшем этот подход получил развитие в работах В.В. Васильева, Б.Г. Газизова, П.М. Огибалова и М.А. Колтунова, С.Г. Лехницкого и многих других исследователей.

Однако в этих работах предлагалась классическая теория, применимая лишь для тонких изотропных и слабо анизотропных пластин и оболочек.

Следующим шагом был учет поперечного сдвига. Впервые С.П. Тимошенко ввел в уравнение колебаний балки угол поворота за счет деформаций поперечного сдвига. Модель типа Тимошенко была распространена на пластины В.В. Васильевым, Б.Л. Пелехом и др.

Впервые уточненная теория для однородных пластин была предложена Э. Рейснером. В качестве гипотез были приняты линейные выражения для напряжений σ_j ($i, j = 1, 2$), что приводит к линейному изменению перемещений по толщине пластины.

А.П. Хорошун свел трехмерную задачу теории упругости к двумерной путем использования принципа однородности напряженно-деформированного состояния тонкостенного элемента произвольной структуры по толщине. Получены уравнения пластин без учета касательных поперечных напряжений и с учетом этих напряжений.

В первом варианте однородными относительно координат x_1 и x_2 , т.е. функцией поперечной координаты, являются тангенциальные напряжения.

Во втором варианте однородными относительно координат x_1 и x_2 являются поперечные касательные напряжения σ_3 и σ_2 и их первые производные по координатам x_1 и x_2 . Построенная теория является более общей по сравнению с теориями типа Тимошенко. В уравнения входят слагаемые для перерезывающих усилий, учитывающие сжимаемость и слоистость пластин.

Следует особо отметить теорию А.Ф. Рябова [11], построенную для многослойных оболочек (пластин) с изотропными слоями на основе допущений о криволинейном распределении касательных напряжений по толщине пакета слоев.

А.Ф. Рябовым показано, что система уравнений имеет 12-й порядок, но для пластин может быть понижена до 6. В дальнейшем теория А.Ф. Рябова с некоторыми модификациями была распространена его последователями В.Г. Пискуновым на оболочки и пластины с трансверсально изотропными слоями, А.О. Рассказовым на оболочки и пластины с ортотропными слоями, а также их учениками. Система разрешающих уравнений у В.Г. Пискунова имеет 20-й порядок, а у А.О. Рассказова — 16-й порядок.

Характерной особенностью этих работ является то, что построение уравнений многослойных пластин и оболочек осуществлялось без введения приближенной зависимости между моментами высшего и обычного порядков.

К этому же направлению относятся работы А.Ш. Боженова. В них учитываются поперечный сдвиг, нормальное обжатие и удлинение нормали. Эта теория обладает универсальностью и в то же время относительно низким 12-м порядком разрешающих уравнений.

Таким образом, в настоящее время построены различные варианты уточненных теорий, которые с той или иной точностью описывают работу многослойных пластин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.Я., Брюккер Л.Э., Куршин Л.М., Прусаков А.П. Расчет трехслойных панелей. М.: Оборонгиз, 1960. 270 с.: ил.
2. Альтенбах Х.Ю. Основные направления теории многослойных тонкостенных конструкций: Обзор // Мех. композит. матер. 1998. 34, №3. С. 333-348.
3. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. М.: Наука, 1967. 268 с.
4. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1980. 374 с.: ил.
5. Брюккер Л.Э. Некоторые варианты упрощения уравнений изгиба трехслойных пластин // Расчеты элементов авиационных конструкций М.: Машиностроение, 1965. Вып.3. С. 74-99.
6. Григолюк Э.И., Коган Ф.А. Современное состояние теории многослойных пластин // Прикл. механика. 1972. Т.8. №6. С. 3-17.
7. Муштари Х.М. О применимости различных теорий трехслойных пластин и оболочек // Изв. АН СССР, ОТН. 1960. №6. С. 163-165.
8. Пискунов В.Г., Рассказов А.О. Развитие теории слоистых пластин и оболочек // Приклад. механика. Т. 38. №2. 2002. С. 22-58.
9. Особенности изгиба трехслойной панели несимметричной структуры при локальных нагрузках / Поляков В.А., Шлица Р.П., Хитров В.В., Жигун В.И. // Мех. композит. матер. 1999. 35. №6. С. 717-742.
10. Прусаков А.П. К теории расчета ортотропных трехслойных пластин с жестким наполнителем // Расчеты элементов авиац. констр. М.: Машиностроение, 1965. Вып. 3.
11. Рябов А.Ф. Разраунок багатоларовых оболочек. Киев: Будивельник, 1968. 96 с.

ӘОЖ 622.232.8

Т.У. САРСЕМБАЕВ
Ж.А. КОНИРОВА

Тасымалдаудың гравитациялық тәсілінің рационалды параметрлерін белгілеу

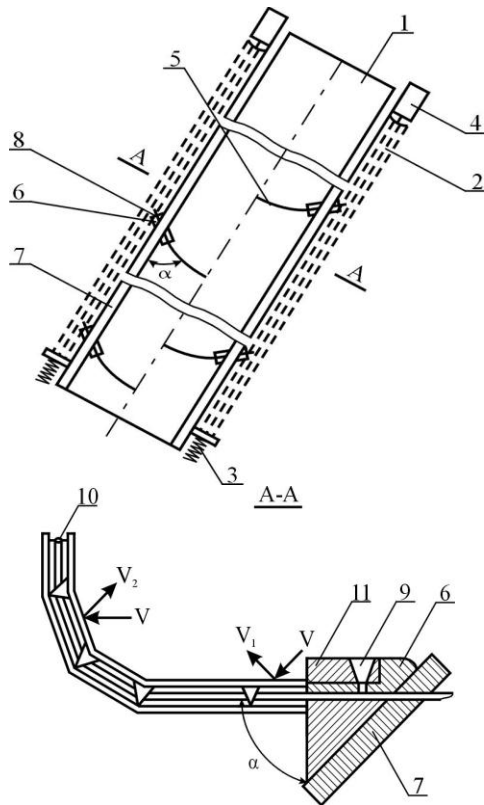
Күрткөлбеу тақта жағдайында көмірді тасымалдаудың гравитациялық тәсілін қолдану нағыз экономикалық шешім болады. Өйткені ағынды тәсіл ұзын-кенжарда жеке бекітпемен және уатпа балға мен бұрғылы-атпалық жұмыстардың көмегімен қазуда қолданылады, сонда механикаландырылған ұзынкенжар үшін бағыттайтын базасы бар қазба машинасының гравитациялық қондырғысын сындарлы (кинематикалық) қиыстыру қажет болады.

Сусымалы материалдарды тасымалдау кезінде, мысалы, гравитациялық түсірім орналасқан көлбеу бұрышына және табанның тұрпат өлшемесіне тәуелділіктегі пайдалы қазбалардың уатынды қазылымдарын басқарудың оралымды жетегінің әр түрлі орындарында оралымды элементті іліп алу жолымен жылдамдықты өшіру қисықтығын орналастырады (2-сурет). Осыдан келіп көлбеу бұрышы қанша көп болса, сонша оралымды элементті керу жолымен жылдамдықты өшіру иілімі жоғарылайды.

Түсірімнің барлық ұзындығы бойынша жылдамдықты өшіруді басқару оралымды жетекпен 2 жүзеге асырылады, бір ұшы серіппемен 3 өзара іс-әрекет жасайды, ал басқасы су цилиндрімен 4 қосылған. Су цилиндрін 4 басқаруда оралымды жетекті 2 керу жоғарылаған кезде жылдамдықты өшіру иілімінің қисықтығы да жоғарылайды (1-сурет).

Әртүрлі габариттік өлшемдері бар жүктерді (контейнерлер, ағаштар) тасымалдау кезінде оралымды элементті басқару жетегіне 2 қосымша серіппесі бар және бекітпелі бұрандалы элементі бар жетек арқылы біріктіріледі.

Габариттері әр түрлі контейнерлерді, ағаштарды және материалдарды тасымалдау үшін оралымды элемент қосымша серіппелі жетек 9 арқылы басқару жетегіне 2 жалғанған. Тасымалдау кезінде қатты материал жылдамдық өшіргіштің әсерінен өзінің алғашқы жылдамдығын азайтады, сол уақытта жетек 2 оралымды элементтің көмегімен серіппені қыса отырып меншікті салмағымен әрі қарай тасымалданады. Осы қатты материал өткеннен кейін серіппе жылдамдық өшіргішті бастапқы қалпына келтіреді.



1-сурет — Жылдамдық өшіргіштің сындарлы сұлбасы
1 — тасымалданатын буынның секциясы; 2 — басқарудың оралымды элементі; 3 — серіппе; 4 — басқарудағы су цилиндрі; 5 — илетін жылдамдық өшіргіші; 6 — табанды призма; 7 — тасымалданатын буынның жағдауы; 8 — құлыптанған ілмек; 9 — қосымша жетек; 10 — серіппелі сауыт; 11 — бұранда

Тасымалдаудың гравитациялық тәсілінің параметрлерін меншікті ауырлық күшінің әсерінен болатын материалдар қозғалысының заңдылықтарына қарай отырып анықтаймыз.

Ағын қозғалысының жылдамдығы құрайды:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \ell_0 \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f_{mp})} \quad (1)$$

немесе

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f_{mp}) \cdot \ell_0^2} \quad (2)$$

мұнда ℓ_0 — өшіргіштер арасындағы арақашықтық, м;

α — көкжиекке келетін буынның көлбеу бұрышы, град;

f_{mp} — көмірдің сырғанауда үйкелу коэффициенті.

Ағын қозғалысының жылдамдығы құрайды:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f_{mp}) \cdot S_0^{\ell_0} \cdot \ell_0^{\frac{1}{2}} d \ell} \quad (3)$$

Осыдан ℓ_0 , м:

$$\ell_0 = 0,115 \cdot \frac{V^2}{\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f_{mp}} \quad (4)$$

(3) және (4) өрнектерінен V_0 және V шамалары арақатынаспен байланысты екені көрінеді:

$$V_0 = 1,50 \cdot \bar{V}. \quad (5)$$

Жылдамдықты тікелей өшіруші бар қондырғыда ағын қозғалысын зерттейміз. Энергияны сақтау негізінде:

$$\frac{m \cdot V_0^2}{2} = m \cdot a \cdot \ell', \quad (6)$$

мұнда m — жүк ағынының массасы, т;

α — дене қозғалысының үдеуі, м/с²;

ℓ' — өшіргіш проекциясының ұзындығы, м.

$\sin \alpha'$ және $\cos \alpha'$ қатынаспен анықталады (2-сурет):

$$\sin \alpha' = \sin \alpha \cdot \cos \gamma,$$

$$\cos \alpha' = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \gamma},$$

мұнда γ — өшіргіштер қондырғысының бұрышы, град.

$$\ell' = \frac{b}{2 \cdot \sin \gamma'} \quad (b \text{ — тірейтін төсемнің ені, м}) \text{ екенін}$$

ескере отырасақ, (6) өрнек мынадай түрде болады:

$$0,364 \cdot V^2 = (-\sin \alpha' + \cos \alpha' \cdot f_{mp}) \cdot \frac{1}{\sin \gamma}. \quad (7)$$

Бірнеше түрлендірулерден кейін:

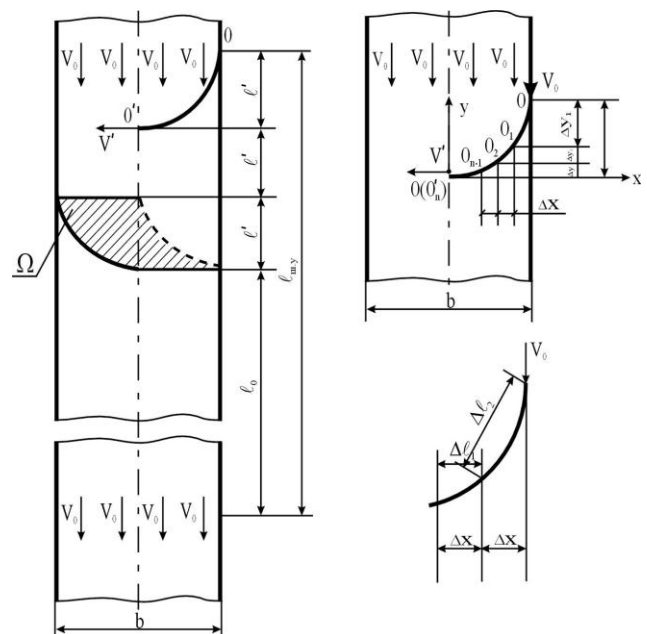
$$\begin{aligned} & \operatorname{tg}^2 \gamma (0,133 \cdot V^2 - f_{mp}^2) + \operatorname{tg} \gamma (0,72 \cdot V^2 \cdot \sin \alpha) + \\ & + (\sin^2 \alpha - f_{mp}^2 \cdot \cos^2 \alpha) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Қосымша енгіземіз:

$$S = \operatorname{tg} \gamma \quad (9)$$

орнына қойып квадраттық теңдеуді шешеміз (8). Соңында:

$$\begin{aligned} S = & \frac{-0,72 \cdot V^2 \cdot \sin \alpha}{0,265 \cdot V^4 - 2 \cdot f_{mp}^2} \pm \\ & \pm \sqrt{\frac{0,53 \cdot V^4 \cdot f_{mp} \cdot \cos^2 \alpha + 4 f_{mp}^2 \cdot \sin^2 \alpha - 4 \cdot f_{mp}^4 \cdot \cos^2 \alpha}{0,265 \cdot V^4 - 2 \cdot f_{mp}^2}} \end{aligned} \quad (10)$$



2-сурет — Қысық сызықты жылдамдық өшіргіші бар қондырғыда көмірді тасымалдау заңдылығын анықтауға

арналған есептік сұлба
 Ω — өшіргіштер қондырғысының ең жоғарғы бұрышында
 көмірдің жинақталу зонасы

(9) өрнегін ескере отырып өшіргіш қондырғысының бұрышын құраймыз:

$$\gamma = \arctg(S). \quad (11)$$

Көмірдің бір бөлігі $[RoO]$ зона арқылы өтпейтіндіктен (2-сурет) нәтижелі жылдамдық V'_0 былай болады:

$$V'_0 \leq \frac{V_0 + V'}{2} = \frac{V_0}{2}. \quad (12)$$

1. Жылдамдықты қисық сызықты өшіргіш қондырғысында ағын қозғалысын зерттейміз.

$[00']$ өшіргіш доғасы бойынша қозғалыс нәтижесінде $V' \approx 0$ қатынасы орындалады, яғни ағынды толық тежеу бар болады.

$[00']$ доғасын $\Delta x \rightarrow 0$ болатын n элементарлық бөліктерге бөлеміз (2-сурет). Доғадағы қозғалысты $[001]$, $[0102]$, ..., $[On-1, On(0')]$ элементарлық бөліктер бойынша жүретін қозғалысқа алмастырамыз. Сонымен $\Delta x \rightarrow 0$ кезінде $V_1, V_2, V_3...$ және вектор бағыттары сәйкес келеді, яғни жергілікті кедергіден жоғалу тарту кедергісіне қарағанда айтарлықтай төмен болады (3-сурет). Тік өшіргіш үшін келтірілген қатынастарды қолданамыз:

$$V_1 = \sqrt{V_0^2 + 2g \cdot \Delta l_1 \cdot (\sin \alpha'_1 - \cos \alpha_1 \cdot f_{mp})}, \quad (13)$$

$$V_i (V') = \sqrt{V_{i-1}^2 + 2g \cdot \Delta l_i \cdot (\sin \alpha'_i - \cos \alpha_i \cdot f_{mp})}.$$

(13) өрнегін алдағы өрнекті ескере отырып мына түрде көшіріп жазуға болады:

$$V_i (V') = \sqrt{V_0^2 + 2g \sum_1^n (\Delta l_i \cdot (\sin \alpha'_i - \cos \alpha_i \cdot f_{mp}))}, \quad (14)$$

мұнда α'_i — көлденең жазықтыққа n элементарлық бөліктің көлбеу бұрышы, град. $\sin \alpha'_i = \sin \alpha \cdot \cos \gamma_i$ екенін ескере отырып (2, 3, 4-суреттерін кара):

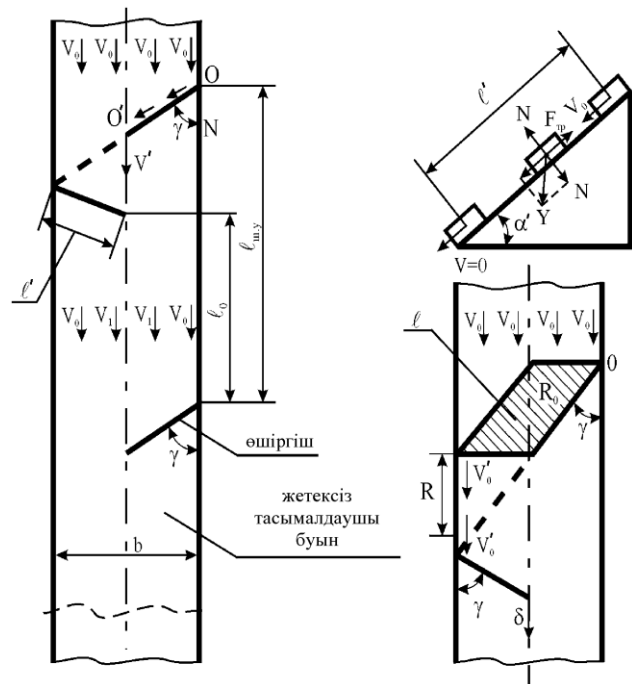
$$V_i (V') = \sqrt{V_0^2 + 2g \sum_1^n (\Delta l_i \sin \alpha \cos \gamma_i - \Delta l_i \cos \alpha'_i f_{mp})}. \quad (15)$$

(15) өрнегін түрлендіреміз, сонда есептік сұлбадан (2-сурет) көрінгендей былай өрнектеледі:

$$\sum_1^n \Delta l_i \cos \gamma_i \sin \alpha = \sin \alpha \cdot \sum_1^n (\Delta l_i \cos \gamma_i) =$$

$$= \sin \alpha \cdot \sum_1^n \Delta Y_n = \sin \alpha \cdot l',$$

$$\sum_1^n \Delta l_i \cos \alpha'_i \cdot f_{mp} = f_{mp} \cdot \sum_1^n (\Delta l_i \cos \alpha'_i).$$



3-сурет — Тік жылдамдық өшіргіші бар қондырғыда көмірді тасымалдау заңдылығын анықтауға арналған есептік сұлба

$(\Delta l_i \cos \alpha'_i) - \Delta l_i^{\delta}$ көлденең жазықтығына арналған элементарлық бөлік проекциясының шамасы:

$$\sum_1^n \Delta l_i \cos \alpha'_i \cdot f_{mp} = f_{mp} \cdot \sum_1^n \Delta l_i^{\delta}.$$

$n \rightarrow \infty \sum_1^n \Delta l_i^{\delta} = L$ кезінде, мұнда L — көлденең жазықтыққа (4-сурет) арналған $[00']$ доға проекциясының ұзындығы. Оның ұзындығын анықтаймыз:

$$Y(x) = \frac{4l'}{b^2} \cdot x^2, \quad (16)$$

$$l = \frac{b}{4} \sqrt{1 + \left(\frac{4l' \cos \alpha}{b} \right)^2} + \frac{b^2}{16l' \cos \alpha} \cdot l_i \left(\frac{4l' \cos \alpha}{b} + \sqrt{1 + \left(\frac{4l' \cos \alpha}{b} \right)^2} \right). \quad (17)$$

l шамасын мына түрде көрсеткен ыңғайлы:

$$l = l(\alpha, l', b).$$

Сонымен (15) өрнегі мына түрде болады:

$$V_0^2 + 2g(\sin \alpha \cdot l' - L(\alpha, l', b) \cdot f_{mp}) = 0. \quad (18)$$

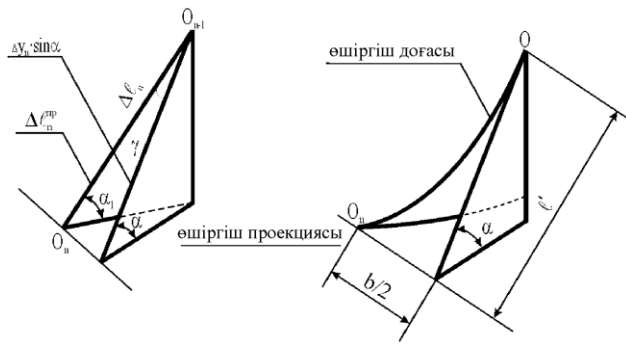
(5) өрнегін ескерсек, $V_0^2 = 2,25V$, былай болады:

$$2,25V^2 + 2g(\sin \alpha \cdot l' - L(\alpha, l', b) \cdot f_{mp}) = 0. \quad (19)$$

V, α, b, f_{mp} бере отырып l' ізделетін шамасын анықтаймыз.

Ұсынылған қондырғыны қабырғалық сынау дәлелдегендей жылдамдықты қисық сызықты өшіргішті қолдану күрткөлбеу көмір тақтасын талдау жағдайында көмір тасымалдауды ағынды тәсілмен шығару мәселесін неғұрлым тиімді шешуді қамтамасыз етеді: ағын қозғалысы шартты бірқалыпты сипат алады,

яғни жылдамдық кез келген нүктеде берілген шамадан жоғарламайды.



4-сурет — Есептік сұлбалар

а) көкжиек жазықтығына элементарлық бөліктің көлбеу бұрышын анықтау; б) өшіргіш доғасы проекциясының ұзындығын анықтау

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сагинов А.С., Квон С.С., Лазуткин А.Г., Ермеков Т.Е. Флангово-фронтальная выемка пластовых месторождений. Алма-Ата, 1983. 280 с.

УДК 621.01.531.4

Ж.Б. БАКИРОВ
Г.Д. ТАЖЕНОВА

Динамика привода с упругой муфтой

Простейшей динамической моделью машины является одномассовая жесткая модель, которая применима, когда двигатель обладает большой избыточной мощностью или рабочей характеристикой с большой крутизной. Для уменьшения вибрации в приводных механизмах между двигателем и машиной устанавливают упругую муфту. При этом момент на входном валу привода равен моменту в муфте:

$$M_M = b\dot{\theta} + c\theta, \quad (1)$$

где θ — деформация муфты;
 b, c — коэффициенты диссипации и жесткости.
Уравнение движения модели имеет вид:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M(t) - J\ddot{\varphi}, \quad (2)$$

где φ — угол поворота входного вала;
 J, M — моменты инерции механизма и крутящий момент, приведенные к входному валу.
Рассмотрим установившееся движение, при котором $\dot{\varphi} = \omega, \ddot{\varphi} = 0$. При этом крутящий момент является периодической функцией времени

$$M(t) = M_0 + M_1 \cos \omega t.$$

Решая уравнение (1), получаем

$$\theta = \frac{M_0}{c} + \frac{M_1 \cos(\omega t + \gamma_1)}{\sqrt{(c - J\omega^2)^2 + b^2\omega^2}},$$

$$\gamma_1 = \arctg\left(\frac{-b\omega}{c - J\omega^2}\right).$$

Тогда момент, передаваемый муфтой, согласно (1) равен

$$M_M = M_0 + M_1 \sqrt{\frac{c^2 + b^2\omega^2}{(c - J\omega^2)^2 + b^2\omega^2}} \cos(\omega t + \delta), \quad (3)$$

$$\text{где } \delta = \gamma_1 + \gamma_2 = \arctg \frac{b\omega^3 J}{c(c - J\omega^2) + b^2\omega^2}.$$

При этом коэффициент эффективности виброзащиты, который равен отношению амплитуд момента, передаваемого упругой и жесткой муфтой, будет равен

$$K(\lambda) = \sqrt{\frac{1 + 4n^2\lambda^2}{(1 - \lambda^2)^2 - 4n^2\lambda^2}}, \quad (4)$$

где $2\varepsilon = b/I$, $\omega_0^2 = c/J$, $\lambda = \omega/\omega_0$, $n = \varepsilon/\omega_0$.

Тогда область эффективности упругой муфты ($K < 1$) определяется неравенством $\lambda > \sqrt{2}$.

Далее рассмотрены переходные процессы в приводе с упругой муфтой. Рассмотрен разгон привода с постоянным угловым ускорением α до установившейся угловой скорости ω при постоянном моменте M_0 . В этом случае определение деформаций муфты сводится к интегрированию уравнения

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = -M_0 - J\varepsilon_0[\sigma(t) - \sigma(t - t_p)] \quad (5)$$

при нулевых начальных условиях. Здесь $\sigma(t)$ — единичная функция Хевисайда, $t_p = \omega/\alpha$ — время разгона.

Решение уравнения (5) ищем операторным методом. В пространстве изображений это уравнение примет вид

$$(s^2 + 2\varepsilon s + \omega_0^2)\theta_* = -(\varepsilon_0 + \frac{M_0}{J}), \quad t \leq t_p;$$

$$(s^2 + 2\varepsilon s + \omega_0^2)\theta_* = -\frac{M_0}{J} - \varepsilon_0(1 - e^{-st_p}), \quad t > t_p.$$

Из первого уравнения

$$\theta_* = \frac{-(\varepsilon_0 + \frac{M_0}{J})}{(s^2 + 2\varepsilon s + \omega_0^2)} = \frac{-(\varepsilon_0 + \frac{M_0}{J})}{N_{(s)}}.$$

Оригинал дробно-рациональной функции находим по формуле [1]

$$\frac{M_{(s)}}{N_{(s)}} \rightarrow \frac{M_0}{N_0} + \sum \frac{M_{(s_k)}}{s_k N'_{(s_k)}} e^{s_k t},$$

где s_k — корень уравнения $N_{(s)} = 0$.

Для нашего случая:

$$S_{1,2} = -\varepsilon \pm ip, \quad p = \sqrt{\omega_0^2 - \varepsilon^2}, \quad N'_{(s)} = 2(s + \varepsilon).$$

Отсюда находим

$$\theta_{(t)} = -(M_0 + J\varepsilon_0)[1 - e^{-\varepsilon t}(\cos pt + \frac{\varepsilon}{p} \sin pt)]/C.$$

При $t > t_p$ к ранее полученному изображению добавляется

$$\theta_{*1} = \varepsilon_0 e^{-\varepsilon t_p} / N_{(s)}.$$

Оригинал этого решения равен предыдущему, но время нужно сдвинуть на $(-t_p)$. Суммируя полученные решения, имеем

$$\begin{aligned} \theta_{(t)} = & [-M_0 + (M_0 + J\varepsilon_0)e^{-\varepsilon t}(\cos pt + \frac{\varepsilon}{p} \sin pt) - \\ & - J\varepsilon_0 e^{-\varepsilon \Delta t}(\cos p\Delta t + \frac{\varepsilon}{p} \sin p\Delta t)]/C, \end{aligned}$$

где $\Delta t = t - t_p$.

Теперь по формуле (1) определим моменты, передаваемые муфтой:

$$M_M = (M_0 + J\varepsilon_0)[1 - e^{-\varepsilon t}(\cos pt - \frac{\varepsilon}{p} \sin pt)], \quad p = \sqrt{\omega_0^2 - \varepsilon^2}, \quad t \leq t_p; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} M_M = & M_0 - (M_0 + J\varepsilon_0)e^{-\varepsilon t}(\cos pt - \frac{\varepsilon}{p} \sin pt) + \\ & + J\varepsilon_0 e^{-\varepsilon(t-t_p)}[\cos p(t-t_p) - \frac{\varepsilon}{p} \sin p(t-t_p)], \quad t > t_p. \end{aligned}$$

Из формулы (6) видно, что момент на муфте при разгоне асимптотически приближается к $M = M_0 + J\varepsilon_0$. Максимум момента достигается приблизительно при $t = \pi/p$ и равен

$$M_{\max} \approx (1 + e^{-\pi\varepsilon/p})(M_0 + J\varepsilon_0).$$

После разгона происходит еще один переходной процесс, при котором M_M асимптотически приближается к M_0 .

При торможении с постоянным ускорением ε момент на муфте определяется по формулам (6) заменой в них ε на $(-\varepsilon)$.

При разгоне привода с произвольным ускорением деформация муфты определяется выражениями:

$$\theta = \frac{1}{Jp} \int_0^t e^{-\varepsilon(t-\tau)} \sin p(t-\tau) [M_0 + J\varepsilon_{(\tau)}] d\tau; \quad t \leq t_p; \quad (7)$$

$$\theta = \frac{1}{Jp} \int_0^{t_p} e^{-\varepsilon(t-\tau)} \sin p(t-\tau) J\varepsilon_{(\tau)} d\tau + \frac{M_0}{Jp} \int_0^t e^{-\varepsilon(t-\tau)} \sin p(t-\tau) d\tau, \quad t > t_p.$$

Так, при разгоне по линейному закону $\varepsilon_{(t)} = kt$ из этих формул с учетом (1) получаем

$$M_M = M_0 + Jkt - e^{-\varepsilon t} [M_0 \cos pt + p^{-1}(Jk - \varepsilon M_0) \sin pt], \quad t \leq t_p;$$

$$\begin{aligned} M_M = & M_0 + e^{-\varepsilon \Delta t} Jk [\cos p\Delta t + p^{-1}(1 - \varepsilon t_p) \sin p\Delta t] - \\ & - e^{-\varepsilon t} [M_0 \cos pt - p^{-1}(\varepsilon M_0 - Jk) \sin pt], \quad \Delta t > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Если при установившемся режиме ($M_{(t)} = M_0$) происходит изменение нагрузки на ΔM , то в системе вновь возникает процесс, в котором

$$M_M = M_0 + \Delta M [1 - e^{-\varepsilon t}(\cos pt - \frac{\varepsilon}{p} \sin pt)]$$

или

$$M_{\max} \approx M_0 + \Delta M (1 + e^{-\pi\varepsilon/p}).$$

Чаще всего причиной переходных процессов являются ударные нагрузки $M_y(t)$, действующие на привод при установившемся режиме в течение времени τ . В этом случае деформация муфты определяется следующими выражениями [2]:

$$\theta = M_0/C + \frac{1}{Jp} \int_0^t M_y(u) e^{-\varepsilon(t-u)} \sin p(t-u) du, \quad 0 \leq t \leq \tau, \quad (9)$$

$$\theta = M_0/C + \frac{1}{Jp} \int_0^\tau M_y(u) e^{-\varepsilon(t-u)} \sin p(t-u) du, \quad t > \tau. \quad (10)$$

При действии мгновенного импульса интенсивности ΔM , $M_y = \Delta M \delta(t)$, где $\delta(t)$ — дельта-функция Дирака. Тогда из (10) и (1):

$$\theta = M_0/C + \frac{\Delta M}{Jp} e^{-\varepsilon t} \sin pt,$$

$$M_M \approx M_0 + \Delta M e^{-\varepsilon t} (p \sin pt + 2\varepsilon \cos pt),$$

$$M_{\max} \approx M_0 + \Delta M \omega_0 e^{\frac{-\pi}{2}}. \quad (11)$$

При действии прямоугольного импульса той же интенсивности:

$$\theta = \frac{M_0}{C} + \frac{\Delta M}{C} [1 - e^{-\varepsilon t}(\cos pt + \frac{\varepsilon}{p} \sin pt)], \quad 0 \leq t \leq \tau, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \theta = & \frac{M_0}{C} + \frac{\Delta M}{Jp\omega_0^2} [-e^{-\varepsilon t}(\varepsilon \sin pt + p \cos pt) + \\ & + e^{-\varepsilon \Delta t}(\varepsilon \sin p\Delta t + p \cos p\Delta t)], \quad \Delta t = t - \tau > 0. \end{aligned}$$

Моменты, передаваемые муфтой, при этом будут равны

$$M_M = M_0 + \Delta M [1 - e^{-\varepsilon t}(\cos pt - \frac{\varepsilon}{p} \sin pt)], \quad 0 \leq t \leq \tau, \quad (13)$$

$$M_M = M_0 + \Delta M [-e^{-\varepsilon t}(\cos pt - \frac{\varepsilon}{p} \sin pt) +$$

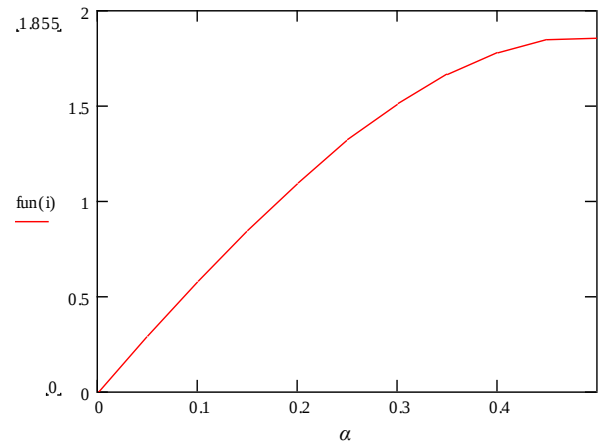
$$+ e^{-\varepsilon \Delta t}(\cos p\Delta t - \frac{\varepsilon}{p} \sin p\Delta t)], \quad t > \tau.$$

Если продолжительность удара $\tau > \pi/p \approx \pi/\omega_0 = T/2$, то максимальный момент достигается при $t = T/2$ и равен

$$M_{\max} \approx M_0 + \Delta M (1 + e^{-\pi m}).$$

Если τ меньше половины периода собственных колебаний, то максимальный момент следует находить путем анализа выражений (13) на ПЭВМ. На рис. приведен график изменения максимального безразмерного момента $y_{\max} = (M_{\max} - M_0) / \Delta M$ от отношения продолжительности удара к периоду собственных колебаний $\alpha = \tau / T$ при $n = \varepsilon / \omega_0 = 0,05$.

$y_{\max}$



Зависимость безразмерного максимального момента от продолжительности удара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968. 500с.
2. Вибрации в технике: Справочник, Т.6/ Под ред. К.В. Фролова. М.: Машиностроение, 1981. 456 с.

УДК 621.833.6.001.24

Т.С. ФИЛИПОВА
П.П. ПАЛЕВ

Определение погрешности передаточного отношения передач, содержащих планетарные механизмы

1. Основные типы планетарных механизмов. По виду зацепления зубчатые планетарные механизмы, получившие в практике наибольшее распространение, можно свести к четырем основным типам, схемы которых изображены на рисунке 1 [1-3]. В этих же работах рассмотрены кинематические возможности механизмов и области их применения.

Введем обозначения: $i_{i\bar{e}}^0$ (в дальнейшем i^0) — требуемое передаточное отношение, определяемое из соотношения частоты вращения входного и выходного звеньев; $i_{i\bar{e}}^*$ (в дальнейшем i^*) — передаточное отношение, определяемое через числа зубьев.

Формулы передаточных отношений i^0 и i^* различных кинематических вариантов основных типов механизмов сведены в таблице 1.

Таблица 1

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ i^0 И i^* РАЗЛИЧНЫХ
КИНЕМАТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ОСНОВНЫХ
ТИПОВ МЕХАНИЗМОВ

Кинематический вариант механизмов		i^*	i^0	
А		$A_{1H}^{(3)}$	$i^* = \frac{z_1 + z_3}{z_1}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_H}$
		$A_{H1}^{(3)}$	$i^* = \frac{z_1}{z_1 + z_3}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_1}$
В	с разноименным зацеплением сателлитов	$B_{1H}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3 - z_2 z_4}{z_1 z_3}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_H}$
		$B_{H1}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3}{z_1 z_3 + z_2 z_4}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_1}$
	с внешним зацеплением сателлитов	$B_{1H}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3 - z_2 z_4}{z_1 z_3}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_H}$

с внутренним зацеплением сателлитов	$B_{H1}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3}{z_1 z_3 - z_2 z_4}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_1}$
	$B_{1H}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3 - z_2 z_4}{z_1 z_3}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_H}$
	$B_{H1}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3}{z_1 z_3 - z_2 z_4}$	$i^0 = \frac{n_s}{n_1}$

Условные обозначения: z_i — число зубьев i — го колеса; n_s — синхронная частота вращения вала электродвигателя; $n_{\text{вых.зв}}$ — частота вращения выходного звена механизма.

Вариант механизма с однозвеновым сателлитом обозначается А, верхний индекс обозначает неподвижное звено, нижний — подряд обозначения звена, от которого передается вращение и основного звена, его воспринимающего. Вариант механизма с двухзвеновым сателлитом обозначается В; верхний и нижний индексы обозначают то же, что у варианта А.

С помощью основных типов механизма возможно образовать:

1 Одноступенчатые передачи, состоящие только из одного планетарного механизма;

2 Многоступенчатые передачи:

2.1 Образованные сочетанием последовательно соединенных между собой планетарных механизмов;

2.2 Образованные последовательно соединенными планетарными механизмами и простыми зубчатыми механизмами.

В планетарных механизмах входящими в эти передачи входными и выходными звеньями могут быть центральные колеса и водило Н. Конструкция механизма с входным зубчатым колесом 4 нерациональна в отношении габаритов [3], поэтому будем рассматривать только механизмы с

неподвижным колесом 4; при входном звене 1 — это редуктор, а при входном водиле H — мультипликатор.

Одноступенчатые передачи. Рассмотрим передачу, образованную планетарным механизмом типа A , ограничимся замедляющей передачей, т.е. кинематическим вариантом $A_{1H}^{(3)}$ (рисунок 1, а). Формулы для определения передаточных отношений помещены в таблице 2.

Многоступенчатые передачи, образованные последовательным соединением между собой планетарных механизмов. Сложные двухступенчатые передачи образуются сочетанием последовательно соединенных между собой планетарных механизмов типа A или B или A и B . Наибольшее распространение на практике получили передачи, образованные сочетанием механизмов типа A (рис. 2, а). В табл. 3 помещены формулы для определения i^0 и i^* .

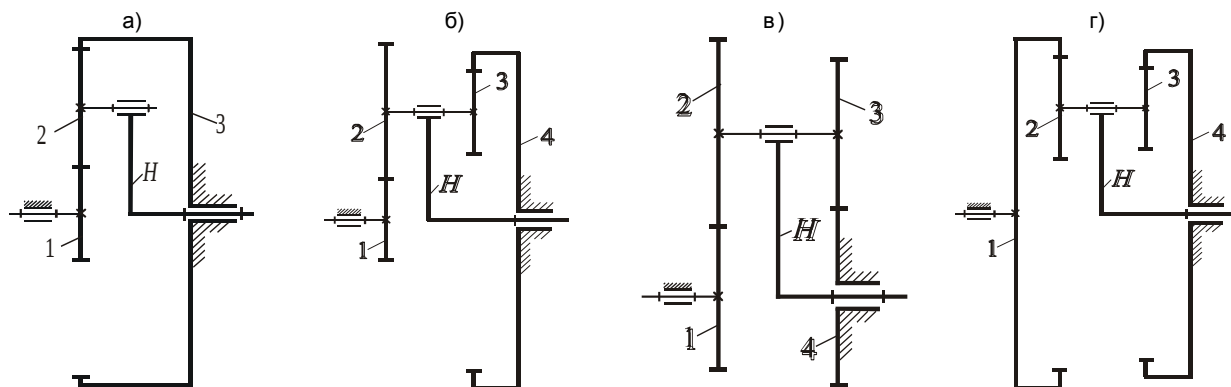


Рис. 1. Основные типы простых планетарных механизмов :

а — механизм с однозвеновым сателлитом; б — механизм с разноименным зацеплением сателлитов; в — механизм с внешним зацеплением сателлитов; г — механизм с внутренним зацеплением сателлитов

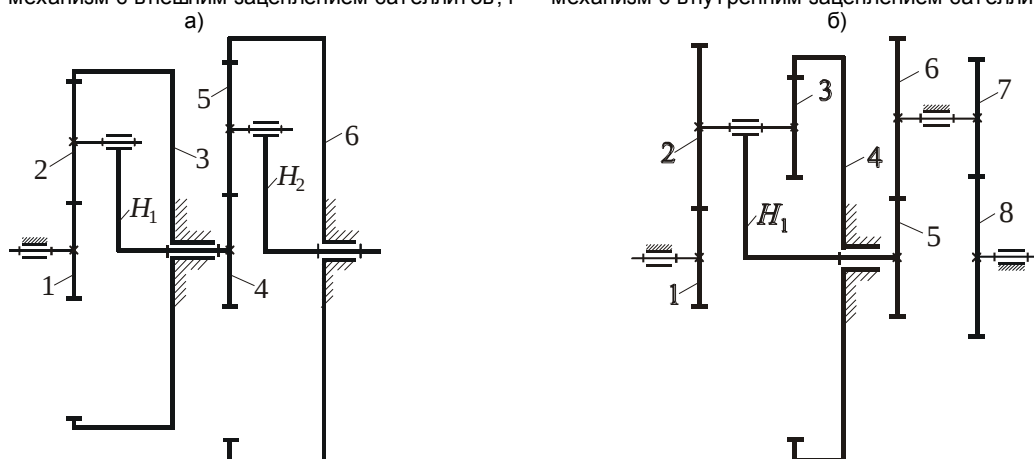


Рис. 2

Многоступенчатые передачи, образованные последовательным соединением планетарных механизмов с простыми зубчатыми механизмами. На рисунке 2, б изображена передача, образованная планетарным механизмом типа B и двухступенчатым простым зубчатым механизмом (5, 6, 7, 8). В таблице 4 помещены формулы для определения i^0 и i^* .

Таблица 2

Кинематический вариант	i^*	i^0
$A_{1H}^{(3)}$	$i^* = 1 + \frac{z_3}{z_1}$	$i^0 = \frac{n_1}{n_H}$

Таблица 3

Кинематический вариант	i^*	i^0
$A_{1H_1}^{(3)} A_{4H_2}^{(H)}$	$i^* = \left(1 + \frac{z_3}{z_1}\right) \left(1 + \frac{z_h}{z_4}\right)$	$i^0 = \frac{n_1}{n_{H_2}}$

Таблица 4

Кинематические варианты	i^*	i^0
-------------------------	-------	-------

$\hat{A}_{1H}^{(4)}$	$i^* = \frac{z_1 z_3 + z_2 z_4}{z_1 z_3} \left(-\frac{z_A}{z_{51}} \right) \left(-\frac{z_8}{z_7} \right)$	$i^0 = \frac{n_1}{n_8}$
----------------------	--	-------------------------

Определение i^0 . Из таблиц 1, 2, 3, 4 следует, что формула для определения i^0 может быть записана в общем виде

$$i^0 = \frac{n_{\text{вх.з.}}}{n_{\text{вх.з.}}},$$

где $n_{\text{вх.з.}}$ — частота вращения входного звена;
 $n_{\text{вх.з.}}$ — частота вращения выходного звена.

Синхронные частоты вращения вала короткозамкнутых асинхронных электродвигателей (наиболее часто применяемых в качестве приводных двигателей) равны 750, 1000, 1500 и 3000, т.е. они образуют конечное множество являющееся подмножеством множества натуральных чисел

$$\{n_{\text{вх.з.}}\} \subset N(1, 2, 3, \dots). \quad (*)$$

Частоты вращения выходных звеньев передач также образуют множества, являющиеся подмножеством множества натуральных чисел

$$\{n_{\text{вых.з}}\} \subset N(1, 2, 3, \dots). \quad (**)$$

Очевидно, что множества $\{n_{\text{вх.з}}\}$ и $\{n_{\text{вых.з}}\}$, в общем случае, являются непересекающимися.

Из (*) и (**) следует, что передаточные отношения i^0 есть натуральные числа, являющиеся частным от деления натуральных чисел. Однако в множестве натуральных чисел деление не всегда выполнимо. Условие выполнимости деления в множестве натуральных чисел вытекает из понятия кратности чисел: $n_{\text{вх.з}}$ должно принадлежать множеству чисел: $n_{\text{вых.з}}, 2n_{\text{вых.з}}, 3n_{\text{вых.з}}, 4n_{\text{вых.з}}, \dots$. В этом случае i^0 является точным значением требуемого передаточного отношения и представляет собой натуральное число.

Если условие кратности не выполняется, то i^0 следует определять в множестве рациональных чисел Q .

Любое число этого множества обозначается символом $\frac{a}{b}$, где a — любое целое число, b — любое отличное от нуля целое число.

Представим $n_{\text{вх.з}} / n_{\text{вых.з}}$ в виде десятичной дроби. Обращение обыкновенной дроби в десятичную, как известно [4, 5], опирается на две теоремы, суть которых заключается в следующем:

1) если знаменатель дроби можно представить в виде $2^m 5^n$ (m и n — целые неотрицательные числа), то дробь обращается в конечную десятичную дробь;

2) если знаменатель дроби нельзя представить в виде $2^m 5^n$, то обращение обыкновенной дроби в десятичную, выполняется делением числителя на знаменатель, при этом получается бесконечная десятичная дробь.

Определение i^* . Рассмотрим вначале планетарные механизмы, поскольку они входят в кинематические передачи. Ограничиваясь замедляющими передачами, рассмотрим кинематические варианты $A_{1H}^{(3)}$ и $\hat{A}_{1I}^{(4)}$. В свою очередь различают кинематические варианты $\hat{A}_{1I}^{(4)}$: механизм с разноименным зацеплением сателлитов, механизм с внешним зацеплением сателлитов, механизм с внутренним зацеплением сателлитов.

Кинематический вариант $A_{1H}^{(3)}$. Из таблицы 2 имеем

$$i^* = 1 + \frac{z_3}{z_1} = \frac{z_1 + z_3}{z_1}.$$

Сумма $z_1 + z_3$ как сумма целых неотрицательных чисел есть целое неотрицательное число. Обозначим его $a_{(1+3)}$, если оно кратно z_1 , то i^* будет целым числом, в противном случае $a_{(1+3)} / z_1$ представляет обыкновенную дробь, которую надо обратить в десятичную дробь.

Для двухступенчатых передач, имеет большое значение разбивка общего передаточного отношения на передаточные отношения отдельных ступеней. Дать общие рекомендации по разбивке нельзя, так как при этом должны учитываться конкретные требования

к проектируемой передаче. В [6] приведены соотношения для выбора передаточных отношений быстроходной и тихоходной ступеней. Так, для рассматриваемой схемы ($\hat{A}_{1I}^{(3)}$ $A_{4H_2}^{(H)}$):

$$i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}} < 25, i_{\delta} = 4, i_T = \frac{i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}{4};$$

$$25 < i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \leq 63; i_T = 6,3; i_{\delta} = \frac{i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}{6,3};$$

$$i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}} < 63; i_{\delta} = 10; i_T = 0, i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}.$$

Требуемое передаточное отношение передачи

$$i^0 = \frac{n_5}{n_{H_2}} = i_{\delta}^0 * i_T^0.$$

Для схемы, изображенной на рисунке 2, а:

$$i_{\delta} = \left(1 + \frac{z_3}{z_1}\right); i_T = \left(1 + \frac{z_6}{z_4}\right).$$

Пусть $i_{\text{неп}} < 25$, тогда [6]

$$4 = \frac{z_1 + z_3}{z_1} = \frac{a_{(1+3)}}{z_1},$$

откуда получаем $z_3 = 3z_1$; в общем же случае $a_{(1+3)} / z_1$ есть обыкновенная дробь, которую следует обратить в десятичную, приняв в разложении $i_{\delta} = 4$. Для тихоходной ступени

$$i_T = \frac{i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}{4} = \frac{z_4 + z_6}{z_4} = \frac{a_{(4+6)}}{z_4},$$

откуда получаем

$$z_4 = \frac{4a_{(4+6)}}{i_{i\dot{\alpha}\dot{\alpha}}}.$$

Здесь, как и раньше, в общем случае, это условие не всегда может быть выполнено, и тогда $a_{(4+6)} / z_4$ надо обратить в десятичную дробь.

Для передачи, изображенной на рисунке 2, б, имеем передаточное отношение

$$i^* = \frac{z_1 z_3 + z_2 z_4}{z_1 z_3} \left(-\frac{z_6}{z_5}\right) \left(-\frac{z_8}{z_7}\right).$$

Тихоходная ступень представляет собой двухступенчатый соосный редуктор, для которого [6]

$$\frac{z_8}{z_7} = 0,95 \sqrt{\frac{z_6 z_8}{z_5 z_7}}; \frac{z_6}{z_5} = \frac{z_6 z_8 \sqrt{z_5 z_7}}{0,95 z_5 z_7 \sqrt{z_6 z_8}}.$$

Откуда получаем

$$z_8 = \frac{0,95 z_7 \sqrt{z_6 z_8}}{\sqrt{z_5 z_7}}; z_6 = \frac{z_6 z_8 \sqrt{z_5 z_7}}{0,95 z_7 \sqrt{z_6 z_8}}.$$

Так как в полученные равенства входят иррациональные числа, то z_8 и z_6 можно определить лишь приближенно, и, следовательно, передаточное число i^* следует также представить обращением в десятичную дробь.

2. Погрешность передаточного отношения. Абсолютная величина разницы между требуемым передаточным отношением и его приближенным

значением представляет погрешность. Поскольку знак ошибки не представляет интерес, поэтому определим абсолютную погрешность

$$\Delta_i = |i^0 - i^*| = \Delta_{i^0} + \Delta_{i^*}.$$

Для определения Δ_{i^0} и Δ_{i^*} представим i^0 и i^* в виде десятичных дробей

$$i^0 = i_m^0 * 10^m + i_{m-1}^0 * 10^{m-1} + \dots + i_{m-n+1}^0 * 10^{m-n+1} + \dots,$$

$$i^* = i_m^* * 10^m + i_{m-1}^* * 10^{m-1} + \dots + i_{m-n+1}^* * 10^{m-n+1} + \dots,$$

где i_i^0, i_i^* — цифры чисел i^0 и i^* ,

$i_i^0 = a, 1, 2, \dots, 9$, причем $i_i^0 \neq a$, старший десятичный разряд числа i^0 ,

$i_i^* = a, 1, 2, \dots, 9$, причем $i_i^* \neq a$ старший десятичный разряд числа i^* .

Точность приближенных чисел i^0 и i^* будет зависеть от количества верных значащих цифр [8], которые определяются из неравенств

$$\Delta_{i^0} < 0,5 * m^{m-n+1},$$

$$\Delta_{i^*} < 0,5 * m^{m-n+1}.$$

После определения числа верных значащих цифр в целях удобства дальнейших вычислений производят округление, в результате чего возникает погрешность округления. Чтобы эта погрешность была минимальной, нужно придерживаться некоторых правил округления (округления по дополнению). Суть этих правил сводится к тому, что если при округлении числа отбрасывается меньше половины единицы последнего сохраняемого десятичного разряда, то цифры всех сохраненных разрядов остаются неизменными; если же отброшенная часть числа составляет больше половины единицы последнего сохраненного десятичного разряда, то цифра этого разряда увеличивается на единицу [8].

Возникающая при округлении погрешность складывается с абсолютной погрешностью, т.е.

$$\Delta_{i_c}^0 = \Delta i^0 + \Delta_{i_{\text{ок}}}^0; \Delta_{i_c}^* = \Delta i^* + \Delta_{i_{\text{ок}}}^*.$$

С целью определения качества выполненных вычислений, т.е. доли абсолютной погрешности определения передаточного отношения, вводится относительная погрешность

$$\delta_i = \frac{\Delta_{i_c}}{|i^*|}; \delta_i = \frac{\Delta_{i_c}^0 + \Delta_{i_c}^*}{|i^*|}.$$

Относительную погрешность можно также определить по формуле

$$\delta_i = \frac{\Delta_{i_c}^0 + \Delta_{i_c}^*}{|i^0|}.$$

Если δ не превышает 5%, то различие между этими ошибками сказывается только на втором знаке погрешности, что не существенно.

Таким образом, предлагаемый подход учитывает

погрешность требуемого передаточного отношения и количество верных значащих цифр, что позволяет более точно определить погрешность передаточного отношения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов К. В. Теория механизмов и машин. М.: Высш. шк., 2001.

2. Теория механизмов и машин. Проектирование: Учебное пособие для машиностроительных специальностей / Под ред. О.И. Кульбачного. М.: Высш. шк., 1970.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988.
4. Потапов М.К., Александров В.В., Пасиченко П.Н. Лекции по алгебре и элементарным функциям. М.: Изд-во Московского университета, 1978.
5. Виноградов Н.М. Основы теории чисел. М.: Наука, 1965.
6. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учебное пособие для машиностроительных специальностей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1985.
7. Крылов А.Н. Лекции о приближенных величинах М.-Л.: ГИИТ, 1950.

УДК 669.036.011

И.К. ИБРАЕВ

Разработка состава стали для глубокой вытяжки

Выполнение заказов по производству листового проката для выпуска изделий, требующих глубокой и сверхглубокой вытяжки и подвергающихся в последующем нанесению покрытий и фарфоровой эмали, потребовало разработки новых марок стали, обладающих повышенной пластичностью и низкой склонностью к деформационному старению.

Анализ известных составов стали показывает, что наиболее близкой и удовлетворяющей вышеприведенным требованиям может отвечать сталь [1] следующего химического состава, мас. %:

углерод	0,04-0,09	алюминий	0,01-0,09
марганец	0,18-0,47	азот	0,004-0,009
кремний	0,03-0,07	титан	0,005-0,03
хром	0,02-0,03	железо	остальное

Опытно-промышленное опробование известного состава стали на АО «Миттал Стил Темиртау» выявило следующие недостатки. Присутствие в стали повышенного содержания кремния и титана повышает твердость холоднокатаного листа. При повышенных содержаниях титана в твердом растворе упрочняется сталь, что требует дополнительного отжига и дрессировки. Кроме того, при указанных концентрациях в стали титана, кремния и алюминия сталь загрязняется неметаллическими включениями в виде сульфидов титана, силикосульфидов, алюмосиликатов, которые ухудшают механические свойства и качество поверхности тонколистового проката. Сталь имеет повышенный предел текучести, низкую пластичность, повышенную твердость и склонность к деформационному старению из-за образования крупных нитридов и карбонитридов титана и алюминия, что требует особых условий отжига и дрессировки для устранения склонности к деформационному старению (табл. 1).

Недостатком технологии производства нестареющей стали с низкими конечными концентрациями фосфора, серы, углерода и со стабильной окисленностью разливаемой стали в условиях фосфористого передела является повышенная окисленность металла и шлака в конце кислородного конвертирования. Все это потребовало разработки, приемлемой к условиям фосфористого

передела, способа производства нестареющей стали, обеспечивающего его максимальную технологичность, получение низких конечных содержаний кислорода, азота, стабильного химического состава, высокого сквозного выхода годного и удовлетворяющего комплексу механических и потребительских свойств готового холоднокатаного листового проката и техническим условиям поставки.

При отработке исследовались варианты технологии, отличающиеся уровнем раскисленности стали, поступающей на разливку:

- «кипящий» вариант, заключающийся в раскислении и легировании алюминием металла в изложнице с окисленностью, соответствующей уровню кипящей стали с получением двухслойного слитка со структурой кипящей корковой зоны слитка, с наружной беспузыристой корочкой достаточной толщины;

- «полуспокойный» вариант, заключающийся в легировании в изложнице металла с окисленностью, соответствующей полуспокойной стали с получением двухслойного слитка со структурой корковой зоны нормально раскисленной полуспокойной стали;

- «спокойный» или «ковшевой» вариант, заключающийся в раскислении и легировании металла алюминием полностью в ковше до окисленности, соответствующей нормально раскисленной спокойной стали.

По результатам наших исследований [2, 3], наилучшие пластические свойства готового проката достигаются при «полуспокойном» варианте, кроме максимальной стабильности получения заданного химического состава при выплавке и раскислении, удовлетворительного качества поверхности и максимального выхода годного по переделам. Кроме того, по сведениям авторов [4], при введении алюминия и кремния в металл склонность стали к старению уменьшается в большей степени, чем при увеличении концентрации одного из указанных элементов. Это объясняется более полным выделением азота в виде аморфных нитридов алюминия и кремния. Аналогичные результаты получены при введении в сталь алюминия и бора [4].

Таблица 1

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОСТАВОВ СТАЛЕЙ

Показатель	Состав сталей
------------	---------------

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Углерод, %	0,015	0,02	0,05	0,020	0,010	0,020	0,05	0,07	0,08	0,08	0,07	0,05	0,08	0,07
Марганец, %	0,15	0,40	0,20	0,10	0,10	0,15	0,30	0,40	0,43	0,45	0,40	0,15	0,15	0,40
Кремний, %	0,003	0,040	0,030	0,005	0,030	0,040	0,015	0,005	0,050	0,050	0,040	0,015	0,060	0,060
Алюминий, %	0,010	0,070	0,040	0,005	0,040	0,030	0,040	0,070	0,080	0,080	0,020	0,040	0,090	0,070
Титан, %	0,0009	0,010	0,015	0,010	0,005	0,010	0,005	0,001	0,030	0,010	0,001	0,030	0,020	0,020
Ванадий, %	0,0005	0,001	0,007	0,0005	0,010	0,030	0,010	0,001	0,0015	0,030	0,030	0,0010	0,030	-
Германий, %	0,0015	0,0016	0,0010	0,0001	0,0005	0,0025	0,0006	0,0001	0,004	0,0025	0,0001	0,0016	0,0020	-
Кислород, %	0,018	0,004	0,013	0,002	0,020	0,015	0,008	0,004	0,003	0,004	0,015	0,008	0,003	0,010
Отношение: [Ge]/[O]	0,083	0,40	0,039	0,05	0,025	0,16	0,20	0,25	0,13	0,62	0,66	0,20	0,66	-
[Mn]/[C]	10,0	20,0	4,0	5,0	1,0	7,1	6,0	5,7	5,3	5,6	5,7	3,0	2,1	5,0
[V]/[Ti]	0,05	0,1	0,4	0,05	2,0	3,0	2,0	1,0	0,5	3,0	30,0	0,33	1,5	0
Глубина сферической лунки, мм	12,4	11,8	12,5	12,8	13,0	12,8	13,6	13,0	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,1
Твердость HR30T, ед.	50,1	52,4	53,2	50,3	50,2	44,8	42,0	45,0	53,6	55,6	50,2	52,6	53,5	53,0
Предел текучести до отжига, кг/мм ²	18,1	19,2	19,3	18,2	18,2	18,5	18,1	18,4	19,6	19,6	18,6	18,2	18,9	19,1
после отжига, кг/мм ²	21,6	22,8	22,5	23,5	24,6	18,9	18,6	19,0	22,4	21,4	21,5	20,8	19,6	21,6
после отжига и дрессировки, кг/мм ²	23,5	24,6	24,2	26,5	26,8	20,0	19,8	19,6	26,1	23,6	23,5	23,2	24,5	22,5
Номер зерна феррита, №	9-10	9-10	10	10	9-10	7-8-9	7-8	7-8-9	7-8-9	7-8	7-8-9	7-9	9-10	6-7-8
Номер ССЦ, №	1,5-2,0	2-3	2-2,5	1,5-2,0	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-2,0	2-3	2-3	1,5-3,0	2-3	2,0-3,0	2,0-2,5
Балл н/м включений, №	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0	1,5-1,0	1,5-2,0	1,0-2,5	1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	1,5-2,0	1,0-2,0	1,5-2,0	1,0-2,0	1,5-2,0
Показатель текстуры (J_{222}/J_{040}) ед.	1,0	1,2	1,7	1,0	1,1	1,8	2,3	2,1	1,3	1,8	2,0	1,7	1,5	1,3

Исследования показали, что «кипящий» и «спокойный» варианты не обеспечивают получения стабильного оптимального химического состава стали и, в особенности, по содержанию алюминия. К тому же, при ковшевом («спокойном») варианте раскисления наблюдается повышенное содержание азота (табл. 2), что является одной из причин неудовлетворительных механических свойств листового проката.

Таблица 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СТАЛИ 08Ю В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ РАСКИСЛЕНИЯ

Химический состав, %	Вариант технологии		
	«кипящий»	«полуспокойный»	«ковшевой»
Углерод	0,054	0,054	0,050
Марганец	0,27	0,29	0,30
Кремний	0,010 и менее	0,012	0,010 и менее
Фосфор	0,014	0,017	0,017
Сера	0,013	0,012	0,010
Алюминий	0,014	0,039	0,037
Азот	0,0045	0,0047	0,0053
	0,004 – 0,005	0,004 – 0,007	0,005 – 0,006
[AL]/[N]	4,4	6,9	8,9
	0,8 – 9,2	1,0 – 9,4	1,3 – 17,3

Особенностью производства стали 08Ю по «полуспокойному» варианту является то, что низкоуглеродистый полупродукт в процессе выпуска в сталеплавильный ковш раскисляется присадками силикомарганца, углеродистого ферромарганца и чушкового алюминия до получения концентрации марганца 0,32-0,36% и окисленности, соответствующей полуспокойной стали. Легирование стали алюминием осуществляется в процессе наполнения изложницы 85-90% ее высоты. Преимуществом данного варианта является значительное сокращение расхода алюминия и более высокое, стабильное усвоение жидкого алюминия, вследствие более низкой окисленности разливаемой стали. Анализ опытных плавов, проведенных по этому варианту показывает, что основная сложность

заключалась в получении низких концентраций кремния и марганца при достижении оптимальной окисленности разливаемой стали.

В отличие от выше рассмотренных вариантов, в данном случае не требуется отсечка шлака, а напротив, попадание конечного шлака в ковш при дополнительной присадке отсево извести перед вводом ферросплавов, вследствие интенсивного карботаж металла и шлака происходит, снижение концентрации кремния до 0,015% и ниже при достижении приемлемой окисленности стали.

Из анализа опытных плавов, проведенных с различным соотношением силикомарганца и ферромарганца, видно, что наименьшая степень повышения содержания углерода и относительно низкое содержание кремния в готовой стали установлено при соотношении SiMn к FeMn как 1:(0,50-0,57) [2].

Как показывают результаты исследований, наибольшие различия рассматриваемых вариантов раскисления проявились по содержанию алюминия в готовой стали (табл. 2) — на плавках, раскисленных по «кипящему» варианту, практически не удалось достичь оптимального содержания алюминия в готовой стали ни на одной плавке. Для «ковшевого» варианта характерен большой разброс концентрации алюминия с небольшой долей плавов с оптимальным его содержанием в готовой стали. Важным показателем, влияющим на механические свойства листового проката, является отношение [AL]/[N]. Из табл. 2 видно, что для металла, раскисленного по «кипящему» варианту, этот показатель очень низкий, в то время как для «ковшевого» варианта характерна значительная доля партий с показателем [AL]/[N], равным 15 и более, что также отрицательно влияет на пластические свойства холоднокатаного листа.

Анализ качества металла различных режимов раскисления показывает, что металл, раскисленный по «ковшевому» варианту, имеет максимальную отсортировку по дефектам «рвань», «плена» и минимальный выход годного в обжимном цехе по

сравнению с металлом других вариантов раскисления (табл. 3). На этом же металле имела место повышенная отсортировка по «раскатанному пузырю» и «плене» на непрерывно-травильном агрегате (НТА). Наибольший расход металла на сквозном переделе «посад в нагревательные колодцы — годное» после НТА наблюдается на плавках, раскисленных по «ковшовому» варианту, наименьший — на «полуспокойном» варианте, и связано это, в основном, с повышенной отсортировкой по пленам в обжимном цехе и НТА.

Таблица 3

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕТАЛЛА 08Ю

Показатель	Вариант технологии		
	«кипящий»	«полуспокойный»	«ковшевой»
Всад нагревательные колодцы, т	2353	19675	4791
Годное после обработки, т/%	1868 / 97,1	15298 / 95,5	3603 / 91,7
Отсортировка в обжимном цехе, т/% в т.ч.: по «рвани»	54 / 2,85	489 / 2,73	325 / 8,27
«плене»	-	373 / 2,32	229 / 5,80
	37 / 1,90	19 / 0,20	96 / 2,47
Сквозной расходный коэффициент обжимной-НТА, т/т	1,464	1,386	1,649
I группа отделки поверхности, %	39,9	46,5	10,3
II группа, %	51,4	42,0	71,7
III группа, %	0,5	4,3	6,8
2 сорт, %	5,9	5,6	9,3
Брак, %	2,3	1,7	2,0

Результаты исследований показывают, что выход проката I группы отделки поверхности сильно зависит от способа легирования низкоуглеродистого полупродукта алюминием и колеблется от 10,3% («ковшевой» вариант) до 46,5% («полуспокойный» вариант). Основной причиной перевода металла во второй сорт являются дефекты сталеплавильного производства, а во вторую и третью группы отделки поверхности — дефекты, полученные в ЛПЦ-2, в частности, пятна загрязнения, цвета побежалости, дефекты из-за травмирования полос в технологических линиях. Таким образом, с учетом перевода металла в пониженную группу отделки поверхности и сортность, сквозной расходный коэффициент получения проката I и II группы отделки поверхности для разных вариантов технологии составляет: 1,604 для «кипящего», 1,656 — «полуспокойного» и 2,011 — «ковшевого».

Исследование потребительских и механических свойств холоднокатаного листа из стали 08Ю проведено на Карагандинском заводе сантехнического оборудования (СТО). Поставка опытного металла проводилась по специально разработанным техническим условиям (ТУ-309-108-89 «Лист холоднокатаный для цельноштампованных ванн»). Соответствие комплекса механических характеристик листовой стали, выплавленной по различным вариантам технологии, требованиям НТД приведено в табл. 4.

Анализ статистических характеристик уровня механических свойств холоднокатаного листа

показывает, что из различных рассматриваемых вариантов, наиболее предпочтительные показатели у металла, легированного алюминием по «полуспокойному» варианту. Это связано с совместным действием алюминия и кремния на снижение склонности стали к деформационному старению.

Таблица 4

СООТВЕТСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТА ИЗ СТАЛИ
РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ РАСКИСЛЕННОСТИ

Категория вытяжки, НТД	Вариант технологии, доля партий, %		
	«кипящий»	«полуспокойный»	«ковшевой»
БГ, ГОСТ 9045-80	-	0,7	14,3
ВГ, ГОСТ 9045-80	21,0	7,2	50,0
СВ, ГОСТ 9045-80	5,3	3,6	-
ТУ 14-309-108-89	73,7	88,5	35,7

Подтверждением вышесказанному являются результаты переработки металла на Карагандинском заводе сантехнического оборудования (СТО) при производстве цельноштампованных ванн (К300), где проводился полистный учет качества штампуемости проката из стали различных режимов раскисления (табл. 5). Как видно из таблицы 5, наиболее высокие результаты по штампуемости имеет металл, легированный по «полуспокойному» варианту.

Наиболее полное устранение деформационного старения и повышение пластических свойств металла достигается при введении в сталь одновременно нескольких нитридообразующих элементов, таких как алюминий в комплексе с ванадием, титаном, германием [4].

Таблица 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ХОЛОДНОКАТАНОГО
ЛИСТА ИЗ СТАЛИ 08Ю НА К300

Показатель	Вариант технологии			Всего
	«кипящий»	«полуспокойный»	«спокойный»	
Задано на штамповку листов, шт	13290	162997	7688	182975
Получено годных листов, шт/%	11663 / 87,8	154707 / 94,9	7195 / 93,6	173566 / 94,3

Для экспериментальной проверки и подбора оптимального состава стали проведено несколько серий опытных плавов, при выплавке которых изменяли содержание вышеперечисленных элементов. Результаты опытных плавов приведены в табл. 1. Как показывают результаты расширенных испытаний, наилучшие пластические свойства и снижение склонности к деформационному старению достигаются при следующем составе стали, масс, % [2, 3]:

[C] [Mn] [Si] [Al] [Ti] [V] [Ge] [O] [S] [P]
0,02- 0,15- 0,005-0,020-0,001-0,001-0,00001-0,004- ≤ ≤
0,07 0,48 0,040 0,070 0,01 0,030 0,0025 0,015 0,0250,025

При условии, что отношение элементов германия к кислороду составляет 0,16-0,25, марганца к углероду 5,7-7,5 и ванадия к титану 1,0-3,0.

Как видно из табл. 1, наилучшие результаты достигаются не при максимальных концентрациях ванадия, титана, германия и алюминия, а при средних их значениях (состав 7), так как в этом случае отношения концентраций марганца к углероду, ванадия к титану и германия к кислороду оптимальны и позволяют наряду с измельчением структуры получить однородную структуру с дисперсными равномерно распределенными по телу зерна карбонитридами титана, ванадия и алюминия, а также устранить неравномерность балла зерна феррита и структурно-свободного цементита и обеспечить степень вытянутости зерна 2,5-3,0.

Металл опытных плавок подвергался разрывным испытаниям. При этом определялись сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение. Штампуемость определялась по показаниям механических испытаний и по выдавливаемости по методу Эриксона. Склонность стали к деформационному старению определяли по приросту предела текучести холоднокатаного листа до отжига, после отжига и после дроссировки. Кроме того, производили микроструктурный анализ, где определяли величину балла зерна феррита, структурно-свободного цементита, балла неметаллических включений и показатель текстуры J_{222}/J_{200} металла.

Из приведенных данных следует, что использование стали при предлагаемых содержаниях ингредиентов и отношений элементов: германия к кислороду, марганца к углероду и ванадия к титану в указанных выше пределах позволяет получать холоднокатаный лист, отвечающий требованиям сложной и особо сложной вытяжки, высокой отделки поверхности.

Переработка опытной партии холоднокатаного листа толщиной 2 мм производилась на заводе отопительного оборудования при штамповке ванн и чаш и последующем эмалировании. Средняя

отбраковка в изделиях на прессах не превышала 3-4 %. Испытания эмалированных изделий на появление дефекта «рыбья чешуя» показывают их отсутствие на всех изделиях, изготовленных из опытного металла.

Микроструктурный анализ холоднокатаного листа показывает, что балл зерна находится в пределах двух смежных номеров 7-8, зерно имеет сфероидальную форму со степенью вытянутости 2,5-3,0 при показателях текстуры J_{222}/J_{200} в пределах 1,8-2,3, балл неметаллических включений 1,5-2,0 глобулярной формы равномерно распределенных по телу зерна.

Разработанный состав стали используется для производства холоднокатаного листа, на АО «Миттал Стил Темиртау», который отгружается на Карагандинский завод отопительного оборудования и используется при производстве цельноштампованных ванн и чаш с эмалевым покрытием.

На разработанный состав стали получен Патент Казахстана на изобретение [3].

Таким образом, исследованиями установлены улучшение и стабилизация потребительских свойств холоднокатаного листового проката, снижение расхода алюминия и максимальная технологичность процессов раскисления, внепечной обработки и разливки при производстве нестареющей стали по «полуспокойному» варианту. Разработанная технология нестареющей стали с легированием алюминием в изложнице металла, раскисленного в ковше по полуспокойному варианту, позволяет отказаться от использования дефицитного металлического марганца или электроферромарганца при значительной экономии первичного алюминия. Причем процесс выпуска низкоуглеродистого полупродукта из конвертера можно проводить без отсечки конечного шлака и стабилизировать процесс раскисления его в ковше. При поддержании соотношения ингредиентов в предлагаемых пределах можно получить нестареющую сталь с высокими пластическими и технологическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. СССР № 954485, кл. C21C 5/00 Нестареющая сталь // Бюлл. 1982. № 3.
2. Ибраев И.К., Климушкин А.Н., Цымбал В.П., Герман В.И. К вопросу выбора технологии производства холоднокатаной нестареющей стали // Бюлл. Черметинформация. Черная металлургия. 1997. Вып. 11-12. 32-35.
3. Патент Казахстана №-3566. Промышленная собственность / Ибраев И.К., Цымбал В.П., Свичинский А.Г., Богомяков В.И., Куликов В.И., Ботов А.П. Сталь нестареющая // Официальный Бюлл. №-2. 10.06.96.
4. Стальные листы для глубокой вытяжки: Экспресс-информация / ЦНИИТЭИЧМ. Серия 12. Вып. 7. 1977. 10с.

УДК 621.9

Р.М. МУХАМАДЕЕВА

Особенности финишной обработки отверстий

Обработка внутренних цилиндрических поверхностей всегда была более сложным процессом, чем обработка наружных цилиндрических поверхностей. Это обусловлено «закрытостью» отверстий и связанными с этим трудностями ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности, подачи смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ), измерения и контроля микрогеометрии и размеров, наблюдения процесса, использования более сложной конструкции

инструмента и другими особенностями.

Основные и наиболее широко распространенные в промышленности способы чистовой обработки резанием не только не достаточно производительны, но и технологически несовершенны, поскольку, обеспечивая высокую точность обработки на уровне макрогеометрии, форму и размеры отверстий, они не создают соответствующие ей высокие характеристики на уровне микрогеометрии. В результате в технологическом процессе обработки гильз после

чистового растачивания вводится операция доводки, обеспечивающая необходимое качество поверхностного слоя.

Одним из направлений совершенствования чистовой обработки отверстий является переход от резания к обработке давлением. Область эффективного применения финишной обработки поверхностным пластическим деформированием в настоящее время достаточно широка и непрерывно расширяется. Этому способствуют:

- непрерывно повышающиеся требования к эксплуатационным свойствам поверхностей деталей машин;
- создание новых схем, способов и инструментов для холодной обработки давлением.

В настоящий момент стала возможной обработка давлением не только материалов высокой твердости, но и таких, как органическое стекло и различные пластмассы. Считавшиеся до некоторого времени предельными значения временного сопротивления $(150-170) \cdot 10^7$ Па и твердости 38-42 HRC, свыше которых обработка металлов давлением в холодном состоянии не рекомендовалась, оказались заниженными [1]. Усложнение кинематики процессов обработки давлением и в частности способа вибронакатывания обеспечило возможность создавать поверхности с регулируемым микрорельефом, обладающие новыми и ранее не достижимыми эксплуатационными свойствами.

Если говорить о гильзах гидроцилиндров, то они производятся преимущественно из пластичных материалов, и целесообразнее необходимое качество поверхности достигать поверхностным пластическим деформированием.

При пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя имеется ряд преимуществ, по сравнению с традиционной обработкой точением, шлифованием и полированием:

- сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое;
- отсутствует шаржирование обрабатываемой поверхности частичками шлифовальных кругов и полировочных паст;
- отсутствуют термические дефекты;
- можно достигать минимального параметра шероховатости поверхности в несколько раз за один рабочий проход;
- создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое;
- плавно и стабильно повышается микротвердость поверхности.

Приемлемые для чистовой обработки отверстий гидроцилиндров способы поверхностного пластического деформирования (ППД):

- Раскатывание — используется качение инструмента по рабочей поверхности;
- инструмент — ролик или шарик.
- Выглаживание — используется скольжение инструмента по поверхности, локально контактирующей с инструментом;
- инструмент — твердый наконечник или шарик.

• Дорнование (деформирующее протягивание) — используется поступательное выглаживающее скольжение инструмента по охватывающей его поверхности;

• инструмент — деформирующая протяжка (дорн).

• Ударное раскатывание — используется удар роликов в момент прохождения выступающих частей опоры, удар обеспечивается вращением опоры;

• Вибрационная обработка — используется накатывание или выглаживание при вибрации инструмента по касательной к поверхности деформируемого материала;

• инструмент — шар или выглаживающий наконечник.

Связь характеристик качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей свидетельствует о том, что оптимальная (с точки зрения повышения эксплуатационных свойств деталей) поверхность должна быть достаточно твердой, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности [2].

Основное требование к внутренней поверхности гидроцилиндра — износостойкость. Износостойкость внутреннего отверстия гильзы будет зависеть от волнистости и шероховатости, точнее, от высоты гребешков неровностей, от фактической площади поверхности контакта, от шага и формы отдельных неровностей, а также от микротвердости поверхностного слоя [3]. Тонкие и многочисленные неровности обеспечивают большую износостойчивость, чем крупные неровности большого шага. Направление риска обработки, по экспериментальным данным проф. П.Е. Дьяченко, показывает, что при жидкостном трении и малой высоте неровностей значения не имеет (т.е. нет преимущества протягивания). Оптимальная высота шероховатости, для обеспечения точности сопряжения, может быть определена по следующим рекомендациям [1]:

$$R_z = (0.1 \div 0.15) T_D$$

при диаметре сопряжения свыше 50 мм;

$$R_z = (0.15 \div 0.2) T_D$$

при диаметре сопряжения от 18 до 50 мм;

$$R_z = (0.2 \div 0.25) T_D$$

при диаметре сопряжения менее 18 мм.

Для обработки гильз гидроцилиндров железнодорожных домкратов диапазон обрабатываемых размеров находится в пределах от 30 до 80 мм. Требуемая точность обработки - 8 квалитет. Необходимая шероховатость внутренней поверхности деталей составляет $R_a = 0,63$ мкм.

При финишной обработке отверстий гидроцилиндров основной интерес как в теоретическом, так и в практическом отношении имеет явление упрочнения, сопровождающее холодную пластическую деформацию. В нашем случае оптимальной является поверхность, имеющая остаточные напряжения в пределах 200-350 МПа и повышение микротвердости не меньше 15 %.

Исследования показали влияние шероховатости поверхности заготовки на эксплуатационные свойства

готовой детали. Максимальная износостойкость присуща образцам, имеющим качественную предварительную обработку, при этом имеет место, так называемая, технологическая наследственность, т.е. изменение эксплуатационных свойств деталей под влиянием технологии их изготовления.

Технологическая наследственность проявляется не только во влиянии метода и режима обработки, применяемых на последних чистовых операциях, но также может проявляться в изменении свойств или потере точности формы готовой детали при ее эксплуатации в результате воздействия тех или иных элементов качества поверхности, созданных в поверхностном слое детали при черновой обработке [2].

Для целесообразного использования явления технологической наследственности необходимо установить непосредственные связи между эксплуатационными характеристиками деталей и режимами обработки детали на основных операциях ее изготовления. Для этого разумнее всего установить математическую зависимость: «эксплуатационная характеристика — функция качества поверхности», «качество поверхности — функция режима обработки». Совместное решение позволит установить прямую связь: «эксплуатационная характеристика — режим обработки».

Управление процессом чистовой обработки отверстий давлением значительно усложняется тем, что поверхностный слой материала заготовки предельно неоднородно деформирован в результате предшествующей ее обработки резанием, его микрогеометрия хаотична.

Сложность изучения процессов пластического деформирования обусловлена также тем, что при данных механических свойствах величина сопротивления металла пластическому деформированию непрерывно изменяется одновременно с изменением механических свойств [3], причем изменения эти по своему характеру неоднородны. Поэтому при расчетах значений параметров режима обработки металлов давлением, необходимо предварительно экспериментально устанавливать характерную для данного материала функциональную зависимость, связывающую его сопротивление пластическому деформированию с величиной деформации.

Таким образом, задача получения внутренней поверхности отверстий с прогнозируемыми свойствами должна решаться комплексно, то есть путем установления качественных зависимостей и количественных закономерностей между напряжениями и деформациями в реальном металле на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также обобщения данных накапливающегося производственного опыта.

В условиях АО ПЗТМ (г. Петропавловск) был создан осевой комбинированный инструмент для обработки отверстий гидроцилиндров, позволяющий получать отверстия с прогнозируемыми свойствами [4].

Развертка с уплотняющими ленточками (рис.1), имеет винтовые зубья (направление зуба обратно направлению вращения) и непосредственно на спинке зуба уплотняющий элемент. Поверхностное пластическое деформирование в этом случае сочетает в себе и выглаживание, и калибрование (дорнование отверстий).

Использование трехмерного твердотельного моделирования в автоматизированной системе проектирования КОМПАС позволило получить технологичную форму деформирующего элемента с вписанной дугой окружности, соответствующей необходимой величине натяга.

Обработка ППД может осуществляться только при рабочих напряжениях, вызывающих пластическую деформацию. При наличии между деталью и деформирующим инструментом только упругой связи обработка не производится.

Экспериментально доказано, что комбинированная обработка отверстий развертыванием возможна на цилиндрах гидроаппаратуры с высоким качеством, но параметры процесса и инструмента должны определяться с учетом специфики детали (диаметра отверстия, толщины стенки).

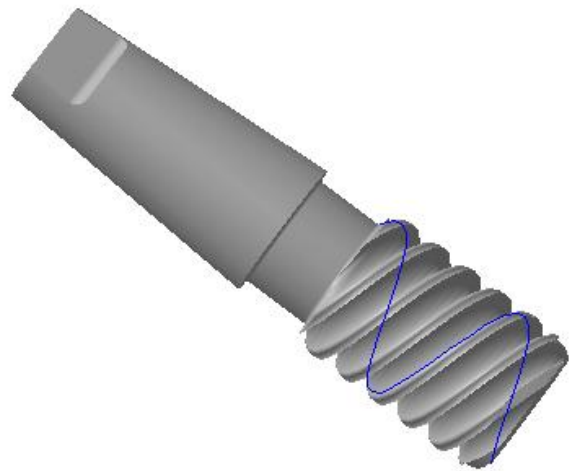


Рис. 1. Развертка с уплотняющими ленточками

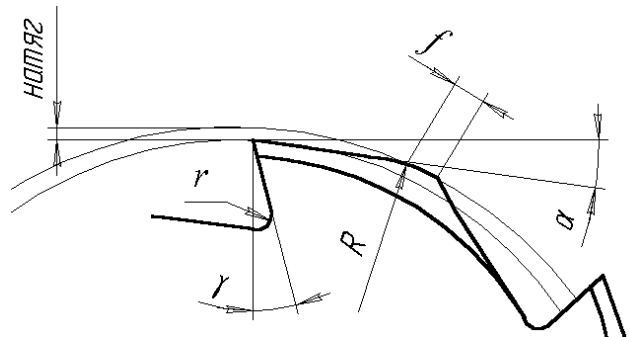


Рис. 2. Зуб развертки с уплотняющей ленточкой

Можно отметить следующие положения процесса комбинированной обработки:

- остаточные деформации $D_{обр.}$ по диаметру отверстий при обработке многозубыми инструментами практически не зависят от числа

деформирующих зубьев Z_d , а определяются общим натягом;

- натяг выбирается с учетом допустимого увеличения наружного диаметра детали D_n , т.н. «раздутия»;

- с увеличением натяга параметр шероховатости уменьшается до определенного предела. При чрезмерно большом натяге происходит налипание частиц обрабатываемого металла на инструмент и, как следствие, — ухудшение шероховатости;

- натяг необходимо выбирать с учетом исходного параметра шероховатости обработки. С увеличением натяга первоначально шероховатость уменьшается, после критического значения улучшение качества обрабатываемой поверхности возможно только в случае первоначально высоких гребешков неровностей. При качественной предварительной обработке улучшения качества не происходит.

После определения основных параметров процесса, которыми являются: среднее давление в контакте, контактная площадь, величина нормальной силы, передаваемой со стороны инструмента на обрабатываемую поверхность, размеры деформирующего элемента инструмента, продольная

подача; скорость обработки, обязательно проводится проверка на теплообразование и на условие нормального протекания процесса.

Экспериментальные исследования материала и его свойств, приобретаемых в результате комбинированной обработки, показало:

- эффект упрочнения поверхностного слоя обработанного отверстия наблюдается на глубине до 1 мм;

- поверхностный слой обработанного отверстия приобретает твердость до 30 HRC;

- структура деформированного слоя, особенно у поверхности, приобретает ярко выраженный волокнистый характер.

Очевидные преимущества комбинированной обработки: использование стандартного оборудования; простота настройки инструмента; сокращение технологических операций; улучшение качества поверхностного слоя; повышение износостойкости обрабатываемой поверхности, позволяют с уверенностью сказать, что в ближайшее время совмещенная обработка резанием и давлением будет занимать все большее место в металлообработке и в первую очередь при обработке отверстий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением. Санкт-Петербург: Политехника, 1998. 412 с.
2. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. Киев: Техника, 1981. 142 с.
3. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. М.: Машиностроение, 1985. 57 с.
4. Мухамадеева Р.М. Технология финишной обработки отверстий гидроцилиндров комбинированным инструментом // Депонированные научные работы. Алматы. 2004. Вып. 2.

УДК 621.81

Х.Г. АКАНОВ

К оптимизации конструкций зубчатых редукторов

При разработке технического задания часто выдвигаются особые конструктивные требования, сводящиеся к необходимости вписывания редуктора в определенный объем и минимизации какого-либо из его габаритов или особого расположения в пространстве. При этом используемые конструктивно-технологические решения во многом определяются серийностью, т.е. годовым выпуском [1].

Комплексный учет всех предъявляемых требований представляет главную трудность поиска компоновочных решений оптимальной модели конструкции редуктора. Отдельные, например, традиционно основные требования надежности и экономической эффективности, не требующие дополнительных пояснений, в совокупности всегда противоречивы. Понятное стремление наиболее полно удовлетворить одно из них всегда осуществляется за счет (в ущерб) другого.

Отметим здесь, что повышение технического уровня редуктора сопровождается увеличением себестоимости каждого килограмма его массы. Характер этой нелинейной зависимости определяется, в основном, влиянием относительной массы редуктора и, прежде всего, ее критическим значением, определяющим границы целесообразного уменьшения

относительной массы. В условиях широко распространенного в настоящее время единичного и мелкосерийного производства оказалось, что в случаях независимости снижения относительной массы от условий его эксплуатации выгоднее делать редуктор несколько более тяжелым, но с относительно «мягкими» колесами, чем более легкий, но с твердыми зубьями. При этом повышение суммарной массы зубчатых колес передачи окупается упрощением технологии их изготовления.

Как известно, масштабное серийное производство редукторов становится рентабельным лишь при условии применения специализированного оборудования вплоть до автоматических линий и при выпуске их более 10000, причем одного типоразмера в год [2].

В настоящее время при выполнении параметрической оптимизации редуктора в большинстве случаев в качестве основного критерия принимают относительную его массу (γ). Этот показатель, помимо характеристики рациональности использования металла в конструкции, отражает и экономическую составляющую определяемого технического уровня редуктора. Затраты на металл, как известно, составляют значительную часть

себестоимости редуктора (до 70% общей суммы производственных затрат) и во многом обусловлены трудоемкостью технологических процессов его изготовления.

Поэтому выбор материалов во многом обусловлен установлением зависимостей, имеющих существенное значение для оптимизации конструкции, между их механическими характеристиками (допускаемыми напряжениями) и массой редуктора, его основными геометрическими параметрами деталей.

Таким образом, масса редуктора достаточно хорошо коррелирует с трудоемкостью его изготовления.

Такая однокритериальная оптимизация, хотя и дает определенную возможность выделить некоторые сопутствующие параметры, влияющие на технический уровень проектируемого редуктора, но не в состоянии обеспечить требуемое соответствие его конструкции, основных качественных показателей современным требованиям. В этой связи возникает необходимость существенного дополнения и уточнения весьма упрощенного понятия технического уровня редуктора, а также в выборе и применении более широкого спектра показателей, способов, методов и средств, обеспечивающих требуемый более высокий уровень качества редуктора и соответствующие качественные характеристики.

Подобный подход обеспечивает более объективное определение действительного технического уровня редуктора. Причем учет этих дополнительных показателей качества удобнее производить путем представления их в виде комплексного показателя качества (K), отражающего совокупное влияние выбранных показателей на формирование технического состояния редуктора.

Определение требуемого уровня качества конкретного редуктора в таком случае должно быть осуществлено путем сравнения полученного комплексного показателя его качества (K) с аналогичным по структуре показателем (K_{Σ}) фиктивного эталонного редуктора, обладающего наиболее высокими удельными величинами соответствующих выбранных показателей качества. При этом следует определиться с количеством необходимых показателей на разных этапах жизненного цикла редукторов. Однако выбор таких наиболее весомых показателей усложняется в связи с серьезными трудностями обеспечения объективного сопоставления их между собой и принятия оптимальных решений при управлении качеством. Количество показателей для требуемой комплексной оценки уровня качества следует выбирать минимальным, но достаточным для возможно более полной технико-экономической оценки редуктора.

Задача выбора и определения оптимального количества показателей для оценки уровня качества редуктора является весьма сложной, т.к. качество (продукции) в современном представлении характеризуется, как известно, достаточно большим количеством показателей: назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации и т.д. Практически все они разнородны, не фиксируются на чертежах и не могут быть проконтролированы на

должном уровне. В результате расширения номенклатуры показателей возникает трудность и с однозначным определением уровня качества сравниваемых редукторов по комплексному показателю.

Однако, в общем случае уровень качества должен характеризовать минимально необходимую полноту отображения всей совокупности связей, существующих между основными деталями редуктора.

В отличие от постоянного значения технического уровня редуктора, оцениваемого относительно массой (γ), уровень его качества, вследствие включения в его структуру даже нескольких, как правило, неоднородных и несоизмеримых показателей, тем или иным способом связанных друг с другом, обладает определенными динамическими свойствами и, следовательно, характеризуется меняющимися с течением времени функционирования редуктора значениями комплексного показателя (K).

В этой связи с целью формирования более целостного представления о техническом уровне редуктора таких машин, как горно-транспортные, строительно-дорожные и т.п., работа которых характеризуется высокой динамической нагруженностью, считаем целесообразным дополнить его введением понятия динамического качества [3]. Этот показатель предназначен для отражения таких свойств редукторов, которые наиболее заметно влияют на их надежность в зависимости от режима и параметров динамического напряжения, уровня возникающих колебательных процессов, характера сочетаний высоко-и низкочастотных воздействий.

Повышение уровня качества не может быть обеспечено отдельными разрозненными мерами по совершенствованию методов и средств производства. Качество редуктора предопределяется, в первую очередь, структурными особенностями кинематической схемы, степенью оптимизации его конструкции, массогабаритными параметрами и зависит от точности взаимного расположения деталей, качества их изготовления и монтажа, а также от принятой системы технического обслуживания, рациональности выбора способа смазки и смазочных материалов, степени эффективности функционирования уплотнительных устройств.

В плане развития и реализации, предлагаемых в этой связи подходов к решению этой оптимизационной задачи существуют различные варианты. Одним из наиболее предпочтительных является оптимизация соотношения частоты вращения вала электродвигателя и передаточного числа привода, обеспечивающая минимизацию суммарной массы электродвигателя и редуктора, принимаемого в качестве основного критерия при заданной частоте вращения его выходного вала.

В качестве другого, не менее привлекательного варианта, представляется варьирование применяемых марок стали и видов термообработки с учетом налагаемых ограничений конструктивного характера. Эти ограничения обусловлены, в основном, требованиями обеспечения соразмерности зубчатых колес и соответствующих подшипников качения,

требуемой жесткости валов (быстроходных, желательно с неврезной шестерней), необходимых рабочих зазоров, условий смазки, возможностей размещения болтов крепления крышки с корпусом редуктора между подшипниковыми узлами и т.п. Предлагаются и другие, достаточно интересные подходы, связанные, в частности, с минимизацией площадей, объемов пространств, занимаемых приводами.

В существующих и предлагаемых вариантах параметрической оптимизации вопросы минимизации массы редуктора в большинстве случаев являются определяющими. Однако, как известно, такое однозначное стремление к уменьшению массы редуктора (γ) должно сочетаться с экономичностью в эксплуатации и изготовлении, надежностью и другими показателями, характеризующими качество функционирования электромеханического привода в целом. В настоящее время сложность и комплексность взаимоувязанных вопросов многокритериальной оптимизации, требующих решения в процессах проектирования и конструирования редукторов качественно нового уровня, чрезвычайно возросли. Результаты сравнительных расчетов различных вариантов оптимизации по нескольким критериям являются весьма сложной функцией ряда взаимосвязанных переменных влияющих факторов (параметров), при которой неизбежен большой объем вычислительных работ. В этой связи применение ЭВМ для поиска и выбора оптимальных вариантов с выдачей результатов в графическом виде является особенно целесообразным в случаях выполнения многокритериальной оптимизации, которая должна быть согласована с существующей практикой проектирования.

Более эффективное применение САПР — системы автоматизированного проектирования и конструирования для решения сложных оптимизационных задач сдерживается явной недостаточностью информации о математическом описании характера взаимосвязи наиболее важных переменных влияющих факторов (параметров) и закономерностях их изменения в течение времени эксплуатации редукторов в различных условиях.

В качестве необходимого дополнения общего характера отметим, что, как правило, большинство задач конструирования с трудом поддаются формализации и поэтому они решаются чаще всего эвристическими методами, т.е. на основе использования определенной системы логических приемов и рекомендаций практического характера и обработки имеющейся информации методами математической статистики.

Одним из наиболее предпочтительных вариантов поиска оптимальных решений является диалог: «Человек — ЭВМ». Этот процесс не охвачен общим алгоритмом и носит творческий характер. Многократное обращение к ЭВМ позволяет выяснить все условия решения задачи и выбрать окончательный вариант.

Весьма показательным характеризует вышеотмеченную ситуацию при выполнении соответствующих проектных расчетов и

конструктивных (компоновочных) разработок отсутствие должным образом обоснованной единой методики разбивки общего передаточного числа редуктора между ступенями, от соотношения которых в значительной степени зависят массогабаритные показатели как самого редуктора, так и всего привода в целом.

В связи с этим симптоматическим обстоятельством до настоящего времени при разбивке общего передаточного числа применяют, в основном, итерационные методы и руководствуются при этом ориентировочными рекомендациями, выработанными практикой проектирования и эксплуатации различных типов зубчатых редукторов по условию, как правило, минимизации массы редуктора (прежде всего, суммарной массы зубчатых колес тихоходной ступени). Отметим при этом, что разбивку общего передаточного числа редуктора производят с обязательным учетом определяющего влияния самой кинематической схемы редуктора и ее особенностей.

Задача достижения высокого технического уровня ($\gamma < 0,06$) редукторов за счет существенного уменьшения их массы и габаритных размеров путем использования зубчатых колес с зубьями высокой твердости, несмотря на кажущуюся очевидность, является весьма сложной и трудноразрешимой.

При проведении структурно-параметрической оптимизации многоступенчатых редукторов (в основном трехступенчатых) принятие условия минимизации суммарной массы зубчатых колес тихоходной ступени в качестве одного из определяющих критериев во многом объясняется и тем известным обстоятельством, что масса зубчатых колес этой ступени практически всегда превышает суммарную массу отдельных ступеней. Однако при этом необходимо иметь в виду то, что минимизация суммарной металлоемкости колес последней ступени редуктора путем применения более качественных, термообработанных (ТВЧ, цементация и т.п.) сталей вместо наиболее часто применяемых улучшенных еще не является гарантией значительного уменьшения массогабаритных показателей самого редуктора, а также всей приводной установки в целом. При этом следует учитывать стоимость и дефицитность стали и грамотно применять существующие конструктивно-технологические способы и методы, предназначенные для повышения их несущей способности путем выбора рациональной конфигурации деталей и использования многообразия видов упрочнения.

Отмеченное несоответствие объясняется влиянием таких обстоятельств, как: сохранение при такой замене параметров подшипниковых узлов и сопрягаемых с ними частей корпусных деталей (бобышек и т.п.), валов передачи, не всегда рациональной разбивкой общего передаточного числа редуктора; наличием ряда вышеотмеченных конструктивных ограничений. Сюда же следует отнести и известное влияние эффекта многопоточности, обусловленного самой кинематической схемой редуктора.

Соответствующие расчеты нельзя сводить лишь к подстановке в определенные формулы тех или иных исходных данных. Следует иметь в виду то, что,

улучшая одни показатели передач, конструктор неизбежно ухудшает другие. Поэтому для решения задачи обеспечения высокого технического уровня необходим всесторонний анализ, учет всей совокупности условий изготовления, функционирования как отдельных деталей и узлов редуктора, так и работы всего привода машинного агрегата в целом в течение всего времени его эксплуатации.

Практически не представляется возможным достаточно полно учесть все основные параметры, необходимые для исчерпывающей сравнительной оценки различных типов редукторов с целью выбора наиболее оптимального варианта для конкретного привода.

При выполнении расчетов на контактную прочность зубчатых передач, как правило, не учитывается должным образом негативное влияние микроперемещений (проскальзываний) колебательного характера поверхностей взаимодействующих деталей под нагрузкой на темп их изнашивания. Пока этот фактор не нашел отражения в существующих методах расчета на прочность и долговечность деталей машин.

Выбор для зубчатых колес тихоходных ступеней более качественных материалов с термомеханической обработкой следует производить достаточно осторожно, т.к. несущая способность зубчатых передач не всегда определяется контактной прочностью зубьев. Во многих случаях она лимитируется работоспособностью подшипников при известных ограничениях конструкторского характера, и это обстоятельство также не учитывается должным образом при выполнении кинематического расчета редукторов. Уменьшение межосевого расстояния при использовании более твердых сталей сопровождается существенным утяжелением условий работы подшипников качения, т.к. при этом соответственно увеличивается эквивалентная динамическая нагрузка на подшипник, которая с учетом степенной зависимости ее влияния обуславливает существенное снижение его реальной долговечности, особенно в сложных условиях эксплуатации (горные машины и т.д.).

Желаемая минимизация суммарной массы колес редуктора, существенно влияющей на параметры колебательных процессов в нем, еще не обеспечивает получения оптимального по массогабаритным показателям варианта конструкции редуктора в целом, поскольку при этом, как правило, не учитывается влияние массы валов, подшипников и соответствующих деталей корпуса.

Невысокие окружные скорости колес последней ступени, обуславливающие весьма малую толщину слоя смазки в зоне контакта зубьев и в подшипниках,

вызывают ускоренный износ подшипников качения при действии на них значительных динамических нагрузок в абразивной среде загрязненной смазки, свойственной горно-транспортным машинам. Отметим, что содержание породно-угольной пыли в масле редукторов горных машин достигает 15-20%, и это является специфической особенностью функционирования горной техники. Даже 10% загрязнения смазки таким малоабразивным материалом, как уголь, увеличивает износ зубчатых колес в 4-6 раз.

К сожалению, это обстоятельство, имеющее первостепенное значение для повышения уровня качества редукторов, не всегда должным образом учитывается при их конструировании в плане повышения требований к надежности и эффективности работы уплотняющих устройств и других видов и способов защиты узлов трения.

Оценка влияния вышеперечисленных факторов на уровень и темп снижения долговечности подшипников в существующих расчетных зависимостях и рекомендациях по их выбору отсутствует, как и оценка их по видам повреждений, например, сепараторов. Отметим, что в связи с вышеприведенными обстоятельствами параметрические отказы, обусловленные постепенным изменением параметров взаимодействующих деталей редуктора из-за износа, в том числе зазоров (все увеличивающихся люфтов), ослабления натягов, в практике проектирования и конструирования редукторов, обычно в расчетах на долговечность не принимаются.

Таким образом, в ряде случаев несущая способность упрочненной зубчатой передачи тихоходной ступени весьма заметно лимитируется долговечностью подшипников качения при заданных и возникающих ограничениях конструктивно-технологического и эксплуатационного характера.

В связи с этим параметрическую оптимизацию массогабаритных показателей редуктора следует осуществлять с учетом совокупного влияния наиболее важных из вышеотмеченных факторов и с обязательным согласованием с режимом и продолжительностью его функционирования.

В общем случае одним из основных результатов проведения любых вариантов оптимизации должно быть обеспечение целесообразной соразмерности редуктора с электродвигателем, а также с другими элементами привода. Этот показатель является наиболее очевидным подтверждением требуемого уровня проведения процесса проектирования и конструирования, рациональности компоновочных решений, обеспечивающих необходимую степень соответствия редуктора предъявляемым технико-экономическим и эргономическим требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов Н.И. Редукторы: конструкции и расчет. М.: Машиностроение, 1993. 462 с.
2. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1989. 496 с.
3. Аканов Х.Г. Конструирование редукторов. Алматы, 2001. 266 с.

Блочно-модульный принцип конструирования и компоновки агрегатов машин

В настоящее время возникла необходимость в обеспечении конкурентоспособности машин на основе высокой надежности их конструкции. Как показал анализ ранее выполненных работ, повышение прочности и выносливости деталей машин без учета технико-экономических факторов в сфере эксплуатации не позволяет обеспечить их высокую надежность и конкурентоспособность. В частности, имеет место высокая металлоемкость конструкции, вследствие чего снижается удельная эффективность машины. При этом в настоящее время в сфере эксплуатации отсутствует производственная база, способная обеспечить реставрацию свойств деталей различными технологическими способами, по причине ее нерентабельности. Таким образом, объективно сформировались предпосылки для обеспечения такой ремонтпригодности машин, когда ее конструкции имеет так называемую блочно-модульную компоновку. В случае отказа она позволила бы быстро заменять отдельные узлы или агрегаты с минимальным простоем машины в ремонте. При этом на момент замены они должны иметь минимальный остаточный ресурс.

Для обеспечения указанной надежности машин рассмотрим некоторую техническую систему, состоящую из конечного числа подсистем и элементов. Пусть каждая подсистема представляет собой функциональный модуль, состоящий в свою очередь из элементов и (или) групп элементов, объединяемых в некоторый блок. Для систематизации основных понятий под модулем предложено понимать некий агрегат, представляющий совокупность взаимодействующих элементов, самостоятельно выполняющий назначенные функции по преобразованию (сохранению) энергии. Тогда блоком следует именовать механизм (узел) как совокупность взаимодействующих элементов, предназначенных для передачи энергии без ее преобразования либо управления процессом ее передачи. На основе системного подхода каждый из таких модулей и блоков можно рассматривать самостоятельно как некоторую техническую систему.

Предложен ряд конструктивных и функциональных требований, которым должен отвечать каждый конструктивный модуль и блок. Они могут служить основой для создания машины блочно-модульной конструкции. Главное достоинство указанных требований заключается в реализации системного подхода к созданию машин, которым будет присущи:

- полная унификация отдельных конструктивных компонентов машины — позволит повысить количество вариантов компоновки машины из унифицированных блоков и модулей;

- повышение удобства монтажа и демонтажа технической системы их унифицированных блоков и модулей — упрощается технологический процесс сборки и разборки машины;

- сокращение времени изъятия и установки отдельного блока или модуля — повышается ремонтпригодность машины при условии отсутствия необходимости ремонтировать сам блок либо модуль.

С одной стороны, это существенно упрощает производство машины с позиций унификации ее компонентов. Существенное расширение модельного ряда машины достигается на использовании принципов комбинаторики при базировании на едином (типовом) несущем элементе (платформе). Разработка подобного модельного ряда является менее дорогостоящим, что позволяет снизить себестоимость разработки и производства машины. С другой стороны, это позволит существенно повысить коммерческую привлекательность машины за счет расширения гаммы моделей по критерию комплектации в соответствии с функциональным назначением, повысить универсальность машины как шасси, способного трансформироваться с использованием дополнительных компонентов (модификации машины с заменяемыми рабочими органами).

При условии обеспечения высокой надежности конструктивных модулей и блоков сокращается объем эксплуатационных затрат на поддержание работоспособности машин. Унификация блоков и модулей упрощает технологию монтажно-демонтажных работ и облегчает техническое содержание машин. Отказ от необходимости ремонта блоков и модулей избавит от необходимости содержать дорогостоящую ремонтную базу на предприятиях в сфере эксплуатации. Кроме того, обеспечение высокой безотказности и равной долговечности блоков и модулей с ресурсом машины при условии отказа от их ремонта позволит достичь высокой надежности машины и обеспечить ее высокую конкурентоспособность.

Для задания требований к надежности блоков и модулей машины необходимо учитывать характер ее технического содержания в эксплуатации. При эксплуатации машин блочно-модульной конструкции неизбежно возникнет поток отказов блоков и модулей, требований ремонта с целью восстановления работоспособности машины путем их замены. Целесообразно отказаться от обязательной процедуры ремонта самих блоков и модулей. Это позволит сократить ремонтные работы, снизить потребность в технологическом оборудовании.

Условно примем, что блоки и модули состоят из деталей сопоставимой долговечности с минимальной разницей значений наработок до отказа. Предложено называть их деталями равной долговечности. Тогда при отказе одной из деталей блока или модуля все остальные детали находятся в предотказном состоянии. Ремонтировать такой блок или модуль экономически невыгодно. Достаточно будет обеспечить технологический процесс замены отказавших блоков и модулей. В таком случае

эксплуатационные предприятия могут не иметь комплексную, дорогостоящую, высокотехнологичную базу, необходимую для выполнения ремонтных работ, а также не содержать высококвалифицированный персонал ремонтников.

Известно, что при каждом разъединении деталей существующих агрегатов (узлов) нарушается характер сопряжения их приработанных поверхностей. В период ввода агрегата в эксплуатацию после ремонта неизбежен новый процесс приработки сопрягаемых поверхностей замененных и попутно извлекавшихся деталей, сопровождающийся их интенсивным износом. С позиций обеспечения долговечности агрегатов и узлов машин, а также снижения затрат на поддержание их эксплуатационной надежности важно сократить до минимума количество разборочно-сборочных работ.

Предложено формировать безотказность отдельно взятого блока (модулей) на основе оценки ресурсных показателей входящих в него элементов. С учетом того, что функциональная модель безотказности блока (модуля), как правило, представляет собой техническую систему из M последовательно соединенных элементов, то средняя наработка блока до первого отказа оценивается по известной формуле [1]

$$T_{\bar{a}i} = \int_0^{\infty} P_{\bar{a}i}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^M P_{\bar{a}i}(t) dt, \quad (1)$$

где $P_{\bar{a}i}(t)$ — вероятность безотказной работы i элемента j блока.

Тогда средняя наработка системы из N блоков до первого отказа будет определяться как

$$T_{\bar{a}} = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N P_{\bar{a}i}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^M P_{\bar{a}ij}(t) dt. \quad (2)$$

При этом средняя наработка системы на отказ [2] оценивается формулой

$$T_{ii} = \frac{t_2 - t_1}{\Omega_u(t_2) - \Omega_u(t_1)}, \quad (3)$$

где $\Omega_u(t)$ — ведущая функция потока отказов технической системы.

$$\Omega_u(t) = \sum_{i=1}^N \Omega_{\bar{a}i}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Omega_{\bar{a}ij}(t), \quad (4)$$

где $\Omega_{\bar{a}ij}(t)$ — ведущая функция потока отказов j элемента i блока.

Следует учесть, что остаточные ресурс и стоимость каждого из совместно заменяемых деталей блока должны быть минимальны. Решение указанной задачи представляет особый интерес и требует отдельного рассмотрения.

Установлено, что чем выше качество каждого из элементов блока, тем меньше рассеивание ресурсов блока. Для снижения величины недоиспользованного остаточного ресурса деталей блока необходимо максимально повысить концентрацию ресурсов деталей в окрестностях среднего значения. Теоретически это достижимо путем повышения стабильности технологии изготовления и сборки блоков. При этом блок, имеющий собственные

ресурсные показатели, сам является элементом по отношению к вышестоящему иерархическому делению технической системы на подсистемы и элементы.

Поскольку ресурсные показатели блока (модуля) могут отличаться друг от друга, то с целью сокращения количества демонтажных операций и разъединений приработанных пар сопряженных деталей, блоки должны иметь рационально заложенный ресурсный потенциал. При этом блоки (группы деталей), расположенные на более глубоком уровне разборки машины либо агрегата (модуля), должны иметь больший по величине ресурс. С учетом дискретности количества ремонтов, ресурсы глубже расположенных блоков должны иметь средний ресурс больше в целое число раз по отношению к ближайшему поверхностному уровню разборки агрегата (модуля), машины.

Последовательность технологических уровней разборки предполагает, что наименьший ресурс более глубоко расположенного блока должен быть равен либо быть больше самого долговечного блока поверхностного уровня в z раз. Причем на каждом уровне разборки агрегата (машины) целесообразно обеспечить равный ресурс блоков. Это позволит существенно сократить количество ремонтов технической системы и снизить затраты на поддержание ее надежности. Тогда средний ресурс блоков каждого следующего k уровня разборки машины будет кратен среднему ресурсу наиболее безотказного блока, расположенного на первом уровне разборки машины:

$$\bar{T}_{\bar{a}k} = \bar{T}_{\bar{a}1} \prod_{i=1}^k z_i. \quad (5)$$

Поскольку ресурсные показатели отдельных блоков и модулей на одном технологическом уровне разборки машины могут отличаться, то их следует объединять в группы блоков совместных замен. При объединении подобных блоков в группу совместных замен во внимание следует принимать фактор обеспечения минимального остаточного ресурса и стоимости. В связи с этим при разработке технических заданий на проектирование изделий машиностроения следует устанавливать единые значения ресурсных показателей на компоненты, расположенные на общем уровне демонтажа машины.

Эффективность использования каждой системы замен блоков и модулей, а также выявление оптимальной РТР производится на основе оценки затрат $C_{nn}(t)$ на поддержание эксплуатационной надежности машин в функции продолжительности их использования t

$$\tilde{N}_{ii}(t) = \sum_{i=1}^N C_{ii}(t), \quad (6)$$

где $C_{nn i}(t)$ — затраты на устранение отказа i блока ($i=1..N$).

Для определения затрат, связанных с заменой i блока, предложено использовать выражение вида

$$\tilde{N}_{ii}(t) = C_{i\bar{a}i} \Omega_{\bar{a}i}(t), \quad (7)$$

где $\Omega_{\bar{a}i}(t)$ — ведущая функция потока отказов i

блока.

Величина $C_{отк}$ — это средняя стоимость устранения отказа, определяемая с учетом стоимости блока, расхода материалов, трудовых затрат и средней стоимости компенсации простоя машины при устранении отказа

$$\tilde{N}_{i \partial \bar{e}_i} = \tilde{N}_{\bar{a} \bar{e}_i} + \tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i} + \tilde{N}_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} + \tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i} \cdot \quad (8)$$

При условии неизменности технологии ремонтных работ расход материалов $\tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i}$ для конкретного вида отказа можно считать условно постоянной величиной. Однако предлагаемый широкий выбор материалов в условиях рыночной экономики также предполагает введение дифференцированного учета их стоимости.

Поскольку устранение отказа есть технологический процесс, определяемый техническими условиями еще на стадии создания изделия, то трудовые затраты для устранения отказа следует определять исходя из технологической сложности и трудоемкости работ с учетом квалификации привлекаемых исполнителей на ремонтных постах и специализированных участках как

$$\tilde{N}_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} = \delta_{i \bar{a} \bar{a}_i} \tau_{i \bar{a} \bar{a}_i} + \delta_{\partial \bar{a}_i} \tau_{\partial \bar{a}_i}, \quad (9)$$

где $\delta_{i \bar{a} \bar{a}_i}$ — стоимость 1 нормо-часа постовых работ при замене i -й детали, тенге/час;

$\tau_{i \bar{a} \bar{a}_i}$ — трудоемкость постовых работ при замене i -й детали, нормо-час;

$\delta_{\partial \bar{a}_i}$ — стоимость 1 нормо-часа участковых работ при замене i -й детали, тенге/час;

$\tau_{\partial \bar{a}_i}$ — трудоемкость участковых работ при замене i -й детали, час.

С учетом предлагаемого сокращения ремонтных работ по восстановлению работоспособности снимаемых сборочных единиц (узлов) в виде конструктивных блоков регламентированной долговечности при определении стоимости трудовых затрат следует учитывать только трудоемкость постовых работ

$$\tilde{N}_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} = \delta_{i \bar{a} \bar{a}_i} \tau_{i \bar{a} \bar{a}_i} \cdot \quad (10)$$

Регламентируя способ и технологию восстановления работоспособности машины путем быстрой замены легкоъемных блоков и модулей, становится возможным сократить трудоемкость постовых работ. При этом в состав экономии войдет стоимость участковых работ и часть стоимости постовых работ

$$\Delta \tilde{N}_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} = \delta_{i \bar{a} \bar{a}_i} \Delta \tau_{i \bar{a} \bar{a}_i} + \delta_{\partial \bar{a}_i} \tau_{\partial \bar{a}_i} \cdot \quad (11)$$

Организация ремонтных работ характеризуется не только трудоемкостью ремонтных работ, но и условиями транспортировки машины к месту ремонта, а также временем ожидания ремонта. При этом необходимо учесть дополнительную составляющую, обусловленную требованием рыночной экономики — штраф (пена), отражающую ответственность подрядчика за срыв принятых по контракту обязательств.

Тогда стоимость простоя машины в ремонте будет определяться как

$$\tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i} = \delta_{i \partial \bar{a}_i} \left(\tau_{i \bar{a} \bar{a}_i} + \tau_{\partial \bar{a}_i} + \tau_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} + \tau_{i \bar{a}_i} \right) + \delta_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} \tau_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} + C_{\partial \bar{a} \bar{a}_i}, \quad (12)$$

где $\delta_{i \partial \bar{a}_i}$ — стоимость 1 часа простоя машины при замене i -й детали, тенге/час;

$\tau_{i \bar{a}_i}$ — продолжительность ожидания ремонта машины при замене i -й детали, час;

$\delta_{\partial \bar{a} \bar{a}_i}$ — стоимость 1 часа транспортировки машины к месту ремонта, тенге/час;

$\tau_{\partial \bar{a} \bar{a}_i}$ — продолжительность транспортировки машины к месту ремонта, час;

$C_{\partial \bar{a} \bar{a}_i}$ — стоимость штрафа (неустойки по контракту), тенге.

С учетом использования неремонтируемых блоков и модулей появится экономия времени простоя машины на участковых работах. При этом стоимость компенсации простоя машины составит

$$\tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i} = \delta_{i \partial \bar{a}_i} \left(\tau_{i \bar{a} \bar{a}_i} + \tau_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} + \tau_{i \bar{a}_i} \right) + \delta_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} \tau_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} + C_{\partial \bar{a} \bar{a}_i} \cdot \quad (13)$$

При этом дополнительная экономия составит

$$\Delta \tilde{N}_{i \partial \bar{a}_i} = \delta_{i \partial \bar{a}_i} \tau_{\partial \bar{a}_i} \cdot \quad (14)$$

Тогда выражение (6) примет вид

$$\tilde{N}_{i \bar{e}}(t) = \sum_{i=1}^N C_{i \partial \bar{e}} \Omega_{\bar{a} \bar{e}}(t). \quad (15)$$

В соответствии с технико-экономическим методом определения оптимальной долговечности машин находится минимум суммарных удельных затрат $\tilde{N}_{\bar{a} \bar{a}_{\min}}$ и соответствующий ему оптимальный ресурс t_{onm} . При этом уровень надежности машины [3] равен

$$n = \frac{\tilde{N}_{\bar{e}}}{\sum_{i=1}^N C_{i \partial \bar{e}} \Omega_{\bar{a} \bar{e}}(t_{i \bar{e}})} \cdot \quad (16)$$

Тогда выражение для оценки минимума суммарных удельных затрат $C_{y \partial \min}$ примет вид

$$\tilde{N}_{\bar{a} \bar{a}_{\min}} = \tilde{N}_{\bar{a} \bar{e}}(t_{i \bar{e}}) = \frac{\tilde{N}_{\bar{e}}}{t_{i \bar{e}}} + \sum_{i=1}^N \frac{C_{i \partial \bar{e}}}{T_{i \bar{e}}}, \quad (17)$$

где $T_{i \bar{e}}$ — средняя наработка i блока на отказ за период эксплуатации t_{onm}

$$T_{i \bar{e}} = \frac{t_{i \bar{e}}}{\Omega_{\bar{a} \bar{e}}(t_{i \bar{e}})} \cdot$$

Для повышения уровня надежности машин необходимо оптимизировать распределение совокупных затрат $C_{y \partial}(t)$ на изготовление машины и на поддержание ее надежности. Выражение вида (17) в прямом виде отражает связь суммарных удельных затрат $C_{y \partial}(t)$ по рассматриваемой технической системе с безотказностью ее блоков. При этом из анализа формулы следует, что чем выше значение $T_{но_i}$, тем

меньше затрат потребуется на восстановление работоспособности машины при замене i блока. Таким образом, прогнозируемые значения затрат на восстановление работоспособности машин неразрывно связаны с безотказностью и долговечностью каждого ее блока либо модуля.

При этом детали блоков с избыточной долговечностью целесообразно заменить другими с величиной наработки не менее чем средняя наработка блока на отказ. Высвобождаемые при таком подходе средства можно инвестировать в недостаточно долговечные детали. При этом появляется возможность выбора более качественных сортов материалов, более эффективных методов их обработки. Принято допущение, что объем высвобождаемых средств будет равен объему инвестиций в улучшение надежности деталей. В таком случае стоимость изготовления машины не изменится.

Но будут сокращены затраты на поддержание надежности машины в эксплуатации. В результате суммарные удельные затраты $C_{yo}(t)$ будут снижаться.

Таким образом, принцип обеспечения высокой надежности машины блочно-модульной конструкции состоит в определении и реализации сопоставимой (условно равной либо кратной) долговечности деталей в составе каждого из ее модулей и блоков, минимизации трудоемкости их замены, а также сокращения остаточного ресурса входящих в состав блока элементов. При этом появляется возможность значительного упрощения конструкции блока и ее более компактного исполнения, т.к. нет необходимости обеспечивать ремонтпригодность самого блока после снятия с машины путем создания возможности дальнейшего демонтажа и удобства его выполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко Б.В. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т., Т. 2.: Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Общие понятия. Термины и определения.
3. Шейнин А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации. М.: Знание, 1977. Ч.1, 68 с. Ч.2, 43

УДК 536.37:629.7.023

В.Н. СОКОТУЩЕНКО
Д.И. ТАЛАЛАЕВ
А.В. ЧИКУЛАЕВ

Влияние температуры на образование пластической зоны в окрестности глухих отверстий при обработке лучом лазера

Отверстия по своей протяженности относительно толщины обрабатываемой детали можно разделить на два класса: сквозные и глухие. Образование сквозных или глухих отверстий при световой обработке определяется энергоемкостью процесса, отнесенной к единице длины обрабатываемой детали. Под энергоемкостью процесса понимается объем снимаемого материала за один импульс генерации [1]. При небольших значениях энергоемкости, как правило, образуются глухие отверстия. Образование сквозных отверстий осуществляется при определенной критической энергии излучения квантового генератора, при которой глубина обрабатываемого отверстия соизмерима с толщиной заготовки. В основе процесса формообразования глухих и сквозных отверстий с помощью светового луча лежат термодинамические процессы. Процесс формообразования глухих отверстий определяется тремя факторами: положением фокуса фокусирующей линзы относительно наружной поверхности заготовки, энергетическими параметрами светового луча, теплофизическими и оптическими характеристиками обрабатываемого материала [1].

1. Постановка задачи

Рассмотрим процесс (рис. 1) воздействия луча лазера на преграду. Поверхность преграды подвергается воздействию лазерного излучения с линейной плотностью W . Механизм взаимодействия светового луча лазера с материалом во многом обусловлен его теплофизическими свойствами. При этом процесс сопровождается большим выделением

тепла. В ходе излучения поверхность материала начинает нагреваться и со временем температура поверхности достигает температуры плавления. В глубь металла начинает двигаться граница: расплав — твердое тело. Происходит расплавление металла, который удаляется из лунки посредством выброса и испарения. Формируется лунка и в конечном результате образуется глухое отверстие [1].

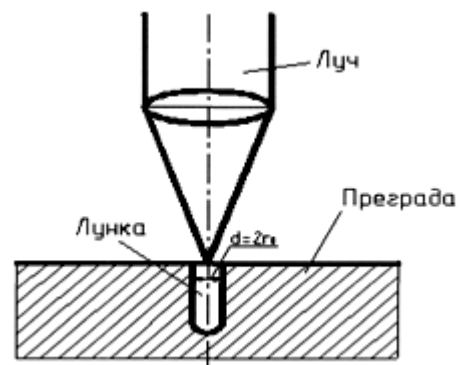


Рис. 1. Формирование лунки под действием лазера

Дифференциальное уравнение теплопроводности и соответствующие граничные и начальные условия в данной задаче имеют вид [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T,$$

$$\text{граничные условия: } T(\bar{r}, t) = T_{ie}, -\chi \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=\bar{r}} + \lambda_{ie} \rho \frac{d\bar{r}}{dt} = \frac{\bar{W}}{2\pi r},$$

начальное условие: $T(0, r_0) = T_\infty$,

где введены обозначения:

T_∞ — начальная температура металла;

$T_{пл}$ — температура плавления;

$\lambda_{пл}$ — удельная теплота плавления;

ρ — плотность;

$\overline{W}$ — линейная плотность источника тепла;

$a = \chi / \rho \cdot c$ — коэффициент температуропроводности;

χ — коэффициент теплопроводности;

c — удельная теплоемкость при постоянном давлении;

$\overline{r(t)}$ — координата движущейся границы фаз;

r_0 — радиус канала.

2. Решение задачи

Решением дифференциального уравнения теплопроводности является фундаментальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах для постоянного потока и имеет вид [3]:

$$T = T_\infty - AEi\left(-\frac{r^2}{4at}\right),$$

где $Ei = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^x}{x} dx$ — показательная интегральная функция.

Координата границы фаз при этом равна:

$$\overline{r} = 2p_0\sqrt{at},$$

где p_0 — решение трансцендентного уравнения:

$$De^{p_0^2} Ei(-p_0^2) - p_0^2 e^{p_0^2} Ei(-p_0^2) = \frac{(T_{i\bar{e}} - T_\infty)}{\lambda_{i\bar{e}}},$$

где $D = \frac{W}{4\pi a \rho \lambda_{i\bar{e}}}$.

Далее по заданным значениям теплофизических характеристик материала и параметров лазерной обработки получены численные результаты задачи о влиянии температуры на образование пластической зоны в окрестности глухих отверстий при обработке лучом лазера:

1. Теплофизические характеристики материала:

материал сталь 30;

температура плавления $T_p = 1637$ K;

плотность $\rho = 7850$ кг/м³;

теплоемкость $c = 470$ Дж/кг·K;

теплопроводность $\chi = 52$ Вт/м·K;

удельная теплота плавления $\lambda_{пл} = 27 \cdot 10^4$ Дж/кг;

температуропроводность $a = \chi / c \cdot \rho = 1.409 \cdot 10^{-5}$ м²/с.

2. Параметры лазерной обработки:

радиус пятна лазерного излучения $r_n = 5 \cdot 10^{-3}$ м;

мощность лазерного воздействия $P = 1000$ Вт;

линейная плотность потока излучения лазерного воздействия $W = 2.546 \cdot 10^6$ Вт/м;

скорость сканирования лазерного пучка по поверхности $V_L = 0.6$ м/с;

время лазерного воздействия $\tau = 2r_n / V_L = 0.017$ с;

зона термического влияния, на которое распространяется тепло за время лазерного воздействия $h_i = 2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau} = 9.639 \cdot 10^{-4}$ м;

скорость распространения теплового фронта за время лазерного воздействия $v_m = \sqrt{a / \tau} = 0.029$ м/с.

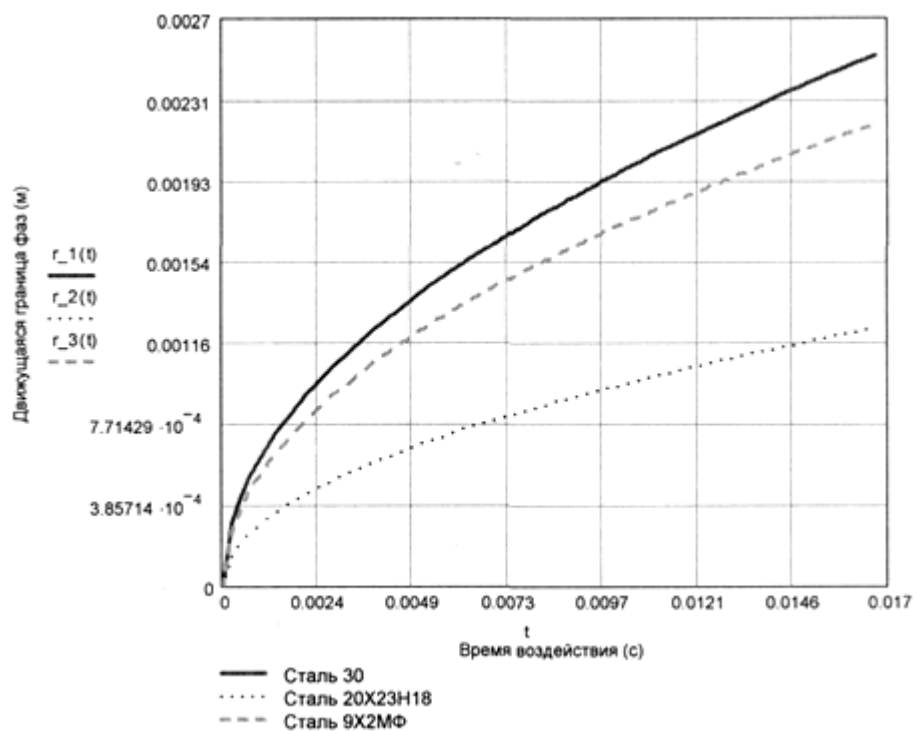


Рис. 2. Движущаяся граница раздела фаз: расплав — твердое тело от времени воздействия лазера для различных материалов

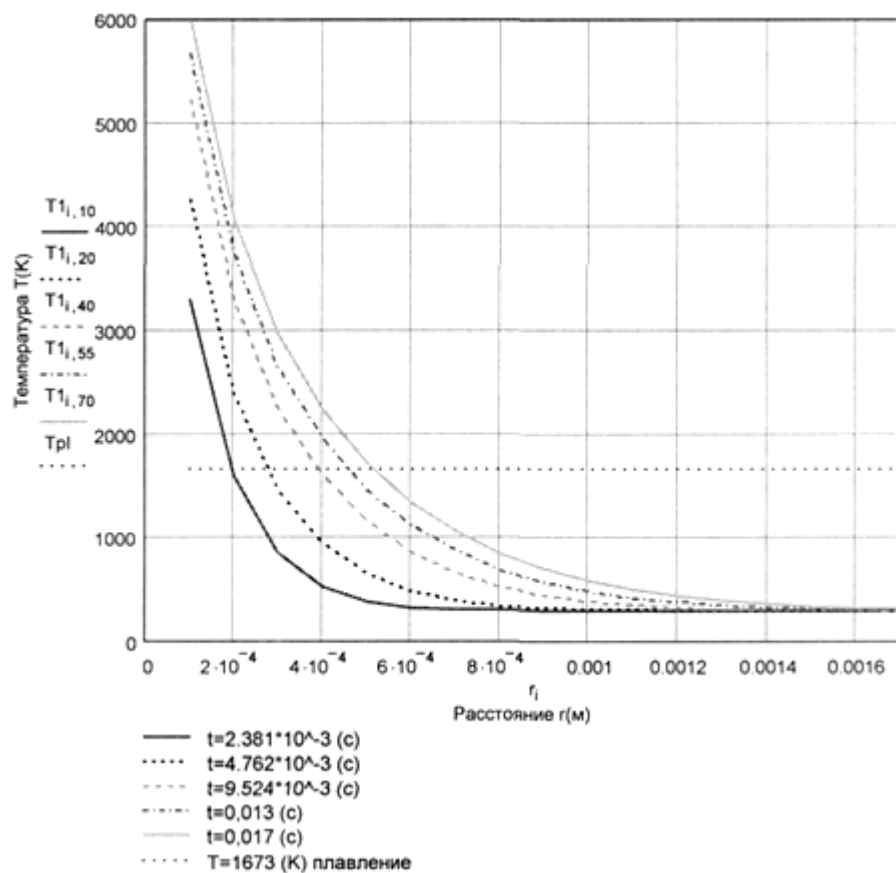


Рис. 3. Зависимость температуры $T(r)$ на стадии нагрева при различном времени воздействия лазера

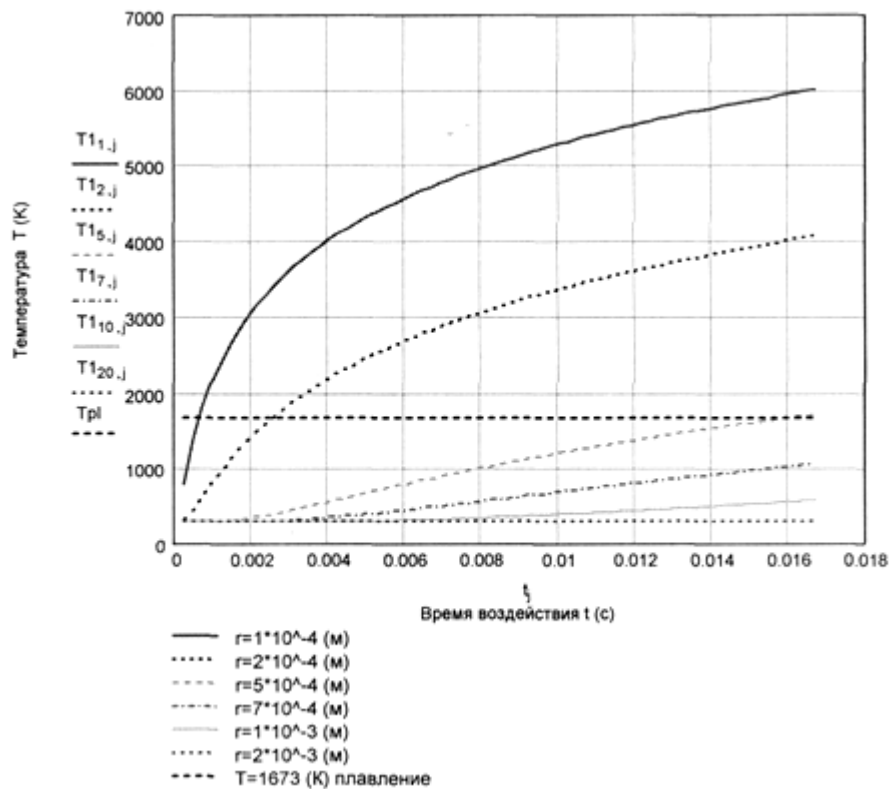


Рис. 4. Зависимость температуры $T(t)$ на стадии нагрева при различных радиусах от места воздействия лазера

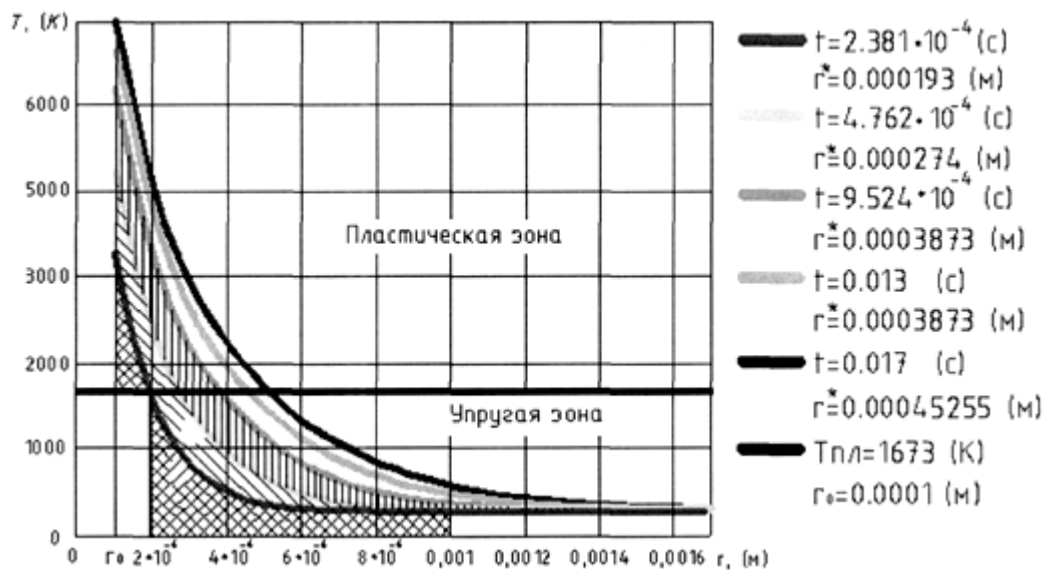


Рис.5. Зависимость температуры $T(r)$ на стадии нагрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка деталей лучом лазера / В.М. Суминов, Е.В. Промыслов, А.К. Скворчевский, Б.Г. Кузин. М.: Машиностроение, 1969.
2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1965.
3. Действие излучения большой мощности на металлы / С.И. Анисимов и др. М.: Наука, 1970.

Раздел 4

Энергетика. Автоматика. Управление

УДК 378.012.004.12

*Г.С. ЖЕТЕСОВА
Ж.Т. САРТАБАЕВ*

Достоинства и недостатки при внедрении стандартов серии МС ИСО 9000:2000

При разработке и внедрении систем менеджмента качества на предприятиях промышленной и непромышленной сферы, существуют общие моменты в их деятельности, способствующие получению наилучших результатов: обучение персонала всех уровней методам управления качеством; высокие темпы внедрения усовершенствований, наблюдаемые из года в год; привлечение работников к обеспечению качества. Наряду с этим имеется ряд причин неэффективного внедрения стандартов серии МС ИСО 9000.

Одно из значительных событий конца XX столетия — появление государств-лидеров в области качества. Это, в первую очередь, Япония, с которой началось соревнование в области качества. В начале 50-х годов японское качество ассоциировалось только со словом «плохо». Ныне Япония имеет статус экономической сверхдержавы. Этому способствовала революция в области качества, совершенная в Японии в течение нескольких послевоенных десятилетий.

Усилия различных стран в системном подходе — Японии, США, СССР, стран Европы — слились в Международные стандарты (МС) ИСО 9000, которые впервые появились в 1987 году. Концепция, на

которой базируются стандарты ИСО 9000, обладает несомненными достоинствами.

Сегодня в мире функционирует по различным оценкам от 600-700 тысяч предприятий, сертифицировавших системы качества на базе МС ИСО 9000.

Статистика показывает, что большинство предприятий, сертифицировавших системы качества, — это малые предприятия, а также предприятия и организации так называемой «непроизводственной» сферы, банки, сферы образования и обслуживания.

Разработка и внедрение системы качества принесли значительную пользу предприятиям. Что же дает система качества, если затраты на ее разработку значительно окупаются?

Джуран отметил: «С моей точки зрения, соблюдение требований стандартов ИСО 9000 или сертификация на соответствие не гарантируют компании занятие лидирующих позиций в области качества. Доказательств противного не существует, мы не располагаем результатами исследований, подтверждающих тот факт, что компания, сертифицированная на соответствие стандартам ИСО 9000, производит продукцию, превосходящую изделия

компании, которая не обладает этим сертификатом. Мне приходилось видеть некоторые результаты сопоставительных исследований продукции, сопоставлять сертифицированные и несертифицированные компании и существенных различий в области качества обнаружить не удалось». Но глубоких исследований в данной области пока не производилось, а следовательно, нет оснований утверждать, что сертификация системы качества влечет за собой улучшение качества изделий.

На самом деле, если обратиться к компаниям, добившимся наилучших результатов и внедрившим стандарт серии ИСО 9000, то они занимают лидирующее положение в области качества.

Эффективность от внедрения стандартов ИСО 9000 выражается в следующем:

- многие предприятия, особенно малые и средние, впервые ощутили вкус к качеству, поняли сущность управления качеством как явления;

- появилась универсальная оценка способности предприятия выпустить продукцию с заданным потребителем уровнем качества;

- повысилась стабильность показателей качества, преодолена тенденция к снижению уровня качества из-за непредсказуемости субъектов рынка, в первую очередь поставщиков материалов, сырья и комплектующих услуг;

- приобретен опыт управления качеством в организациях, которые не относятся к промышленному производству, преодолен предрассудок, что управление качеством — это прерогатива промышленности, расширены масштабы внедрения концепции управления качеством за рамки машиностроения.

Однако внедрение систем качества имеет и ряд недостатков. Например, следующие.

1. Система на основе ИСО 9000 должна рассматриваться как оболочка, внутри которой, в зависимости от специфики предприятий, применяются те или иные инженерные методы обеспечения качества, организационные и социальные приемы воздействия на все факторы производства. Этого зачастую не делается, и стандарты ИСО 9000 рассматриваются, как панацея от всех бед. Внедряя систему качества, каждое предприятие должно быть готово осуществить ряд мероприятий по непосредственному применению новых методов инжиниринга. На японских предприятиях, например, все построено на методах статистического контроля. Эти методы проникли глубоко в сознание всех участников производственного процесса. Диаграмма Паретто, Исикавы («Рыбий скелет»), семь инструментов, семь новейших инструментов, методов Тагути, применяемые при создании новых видов продукции, когда все потребности не осознаны даже самим потребителем. Эти потребности должны быть предсказаны, и, более того, потребитель должен воспитываться с учетом новых возможностей. Эти методы в той или иной мере применяются на каждом японском предприятии. В начале 90-х стандарты ИСО очень легко стали применяться в Японии, хотя долгое время в Японии они не признавались и японцы не понимали, зачем они нужны.

2. Недооценка значения обучения персонала всех уровней методам управления качеством.

3. Недостаточные темпы внедрения усовершенствований. Например, первичным звеном внедрения усовершенствований могут быть кружки качества, где должны рассматриваться предложения рабочих, а затем внедряться на предприятии с помощью соответствующей нормативной документации. На «Мицубиси электрик» насчитывается 16 тысяч стандартов предприятия различного уровня: часть из них справочного характера, управленческого, но во многом — технологического характера, созданных с помощью самих рабочих.

Существуют и дополнительные причины слабости систем качества, внедряемых на предприятиях и организациях стран СНГ.

1. Недооценка роли первого руководителя, в том числе недооценка им самим. Любая система внедряется от первого руководителя. Пока первый руководитель не встанет во главе системы, не продумает политику в области качества, не доведет эту политику до целей и функций системы, пока эти цели и функции системы не достигнут низового уровня, говорить о внедрении системы качества бессмысленно.

2. Отсутствие обратной связи с потребителем, усугубляющееся наличием посреднических фирм, которые не уточняют в договорах требований конечного потребителя. В результате конечный потребитель не получает того, что он хочет, не получает удовлетворенности.

3. Отсутствие обратной связи с поставщиками. До 90% продукции низкого качества вызвано низким качеством комплектующих. Нет системной работы с поставщиком. Поставщик должен стать членом коллектива, на которого распространяются все льготы, предусмотренные для персонала.

4. Несовершенная обратная связь с персоналом, неинформированность персонала, незнание ими целей и конкретных задач в области качества. Информация, которой располагает высшее звено, и информация, которая имеется в распоряжении низшего звена, значительно отличается по своей достоверности и по своей доступности. Необходимо создать общественное мнение вокруг каждого мероприятия, проводимого руководством.

5. Нечеткое определение ответственности и полномочий руководящих звеньев и рабочих, приводящих к дублированию функций. Не определяется ответственность высшего руководящего состава.

6. Анализ функционирования внедренных систем (внутренний аудит) проводится эпизодически, в пространстве функциональных подразделений, а не между ними, их взаимодействий, хотя чаще всего проблема находится именно в этом.

Причины неэффективности КС УКП и ИСО 9000 на российских предприятиях совпадают.

В связи с появлением предприятий, сертифицировавших систему, изменяется психология потребителя. Потребитель уже меньше доверяет сертификату на продукцию, полагая, что он не

отражает способности предприятия удовлетворить его потребности в стабильных характеристиках показателей качества продукции. Потребитель рассматривает сертификат на систему качества как свидетельство, что предприятие способно изготовить товар того качества, которое им заявлено, в необходимом количестве и в требуемые сроки. Более того, при наличии сертификата на систему качества потребитель в большинстве случаев не требует сертификат на продукцию, отдавая предпочтение изготовителю с сертифицированной системой качества.

Наличие сертификата на систему качества стало обязательным требованием участия в большинстве тендеров. Некоторые предприятия нашей области уже ощутили это на себе, когда не были допущены к

участию в тендерах на поставку своей продукции, проводимыми фирмами, в составе учредителей которых являются западные партнеры.

Таким образом, существует много факторов, под воздействием которых предприятия вынуждены заниматься созданием Систем качества на основе стандартов серии ИСО 9000. Однако самая важная причина — это возможность, предоставляющая руководителю предприятия приобрести уверенность в том, что все процессы, осуществляемые на предприятии, в том числе бизнес-процессы, и само предприятие в целом, управляемы. А заказчик получит то, на что рассчитывал, в установленные контрактом сроки, в необходимом количестве и с минимальным риском невыполнения условий контракта.

УДК 62-831:621.314.6

Н.В. МАКАРЕНКО

Границы устойчивости электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности

Электроснабжение тиристорного электропривода ряда горных машин осуществляется от автономных и неавтономных источников мощностью, соизмеримой с мощностью электродвигателя. Для таких условий характерно значительное (до 40%) изменение амплитуды переменного напряжения питающей сети, что приводит к деформации статических и динамических характеристик электропривода, а также к ложным отключениям, связанным с нарушением работы тиристорного преобразователя [1].

Проведенные исследования замкнутого по скорости и току тиристорного электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности показали, что при этом могут возникать автоколебательные процессы [2].

С целью оценки влияния активных и реактивных компонентов источника питания и нелинейностей управляемого выпрямителя на динамические характеристики электропривода были проведены исследования вышеуказанного типа электропривода с использованием средств имитационного моделирования. Имитационные эксперименты проводились на типовом электроприводе, силовая часть которого включает полностью управляемый трехфазный выпрямитель, компенсированный электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением 4ПФ132S. Управление электроприводом осуществляется с помощью одноконтурной системы регулирования, с пропорциональным регулятором скорости (РС).

Из результатов имитационных экспериментов следует, что в режимах пуска электропривода и при изменении его нагрузки несанкционированное закрытие тиристоров из-за превышения значения ЭДС якоря двигателя (E_H), обусловленное падением напряжения в сети (E_2), над выпрямленным приводит к разрыву электрической цепи. При этом сигнал датчика тока, поступающий в систему регулирования

равен нулю, а тиристоры закрываются. Это приводит к резкому увеличению выходного сигнала регулятора скорости. В следующий момент, когда падение напряжения в цепи якоря отсутствует, так как цепь разомкнута, напряжение сети E_2 начинает превышать E_H , тиристоры при наличии управляющего воздействия открываются, и поскольку выходное напряжение РС очень велико, это приводит к возрастанию ЭДС якоря и превышению его значения над выпрямленным значением напряжения сети. Последнее приводит вновь к несанкционированному закрытию тиристоров. Система входит в автоколебательный режим [2]. Очевидно, что типовые настройки для таких условий не применимы.

Для дальнейших исследований рассматриваемой системы была разработана схема замещения силовой части электропривода [3] с учетом следующих допущений:

- в связи с тем, что в каждый момент времени нагрузка через управляемый выпрямитель подключена только к двум фазам трехфазной системы электроснабжения, то в схеме замещения источник электроэнергии представлен компонентами $E_A(E_B)$, $L_A(L_B)$ и $R_A(R_B)$ — идеальными источниками ЭДС переменного напряжения, индуктивностями и активными сопротивлениями двух фаз A и B соответственно;

- активные сопротивления, индуктивности и напряжения ЭДС для каждой из фаз соответственно равны между собой;

- магнитный поток компенсированного электродвигателя в процессе работы электропривода не изменяется.

Схема замещения силовой части электропривода представлена на рисунке.

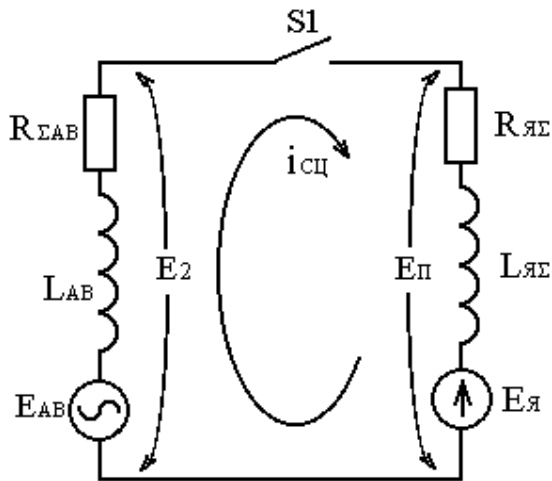


Схема замещения силовой части электропривода

В схеме замещения E_{AB} — источник ЭДС, L_{AB} — эквивалентная индуктивность, $S1$ — ключ, управление которым осуществляется с учётом условий коммутации вентилей и работы системы фазового управления.

Исходя из условий коммутации тиристоров, моделирующий их ключ $S1$ (см. рис.) замкнут, когда мгновенное значение ЭДС якоря электродвигателя и падение напряжения в его цепи E_H меньше, чем мгновенное значение ЭДС на входе управляемого выпрямителя E_2 .

Таким образом, условия коммутации ключа $S1$ описываются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} E_2 &\leq E_H - \hat{e}\hat{e}\hat{p} \div S1 \hat{\delta}\hat{\alpha}\hat{\Gamma} \hat{i} \hat{e}\hat{i} \hat{o}\hat{o}; \\ E_2 &> E_H - \hat{e}\hat{e}\hat{p} \div S1 \hat{\varsigma}\hat{\alpha}\hat{i} \hat{e}\hat{i} \hat{o}\hat{o}. \end{aligned} \quad (1)$$

Рассмотрим одноконтурную систему регулирования скорости при замкнутом ключе, т.е. $E_2 > E_H$, тогда:

$$\begin{aligned} E_H^* &= E_B^* + i_{N\hat{O}}^* \rho_B (1 + \hat{O}_B \hat{D}), \\ \hat{O}_i \hat{D} \omega^* &= i_{N\hat{O}}^* - \hat{i}_{\hat{N}}^*, \\ E_2^* &= E_{AB}^* - i_{N\hat{O}}^* \rho_{E\hat{I}} (1 + \hat{O}_{E\hat{I}} \hat{D}), \\ (\omega_{AN}^* - \omega_C^*) \cdot \hat{E}_{E\hat{N}} &= \hat{E}_{\hat{C}} \cdot E_{AB}^*, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\rho_{Я} = R_{Я\Sigma} i_{ЯH} / E_{ЯH}$; $T_{Я} = L_{Я\Sigma} / R_{Я\Sigma}$;

$$\hat{A}_{AA}^* = E_{AB} / \hat{A}_{B\hat{I}}; \quad E_B^* = E_B / \hat{A}_{B\hat{I}}; \quad i_{N\hat{O}}^* = i_{N\hat{O}} / i_f;$$

$\rho_{ПП} = R_{\Sigma AB} i_H / E_{ЯH}$ — относительное сопротивление источника питания;

$$\Phi^* = \Phi / \Phi_H; \quad \omega^* = \omega / \omega_H; \quad \hat{i}_{\hat{N}}^* = \hat{i}_{\hat{N}} / \hat{i}_f;$$

$$E_B^* = E_B / \hat{A}_{B\hat{I}} = \hat{N}\hat{O}_{\hat{I}} \omega^* \omega_f / \hat{N}\hat{O}_{\hat{I}} \omega_f = \omega^*;$$

$$T_M = J \omega_H / M_H; \quad M_H = i_{ЯH} c_d \Phi_H;$$

$E_{ЯH} = C \Phi_H \omega_H$, Φ_H , ω_H , E_{HH} , i_H — номинальные значения ЭДС якоря, магнитного потока, угловой скорости, напряжения и тока якоря электродвигателя соответственно,

C — конструктивная постоянная электродвигателя;
 Φ — суммарный магнитный поток полюсов;
 ω — угловая скорость электродвигателя;
 M_C — момент сопротивления электродвигателя;
 M_H — номинальное значение электромагнитного момента двигателя;
 J — момент инерции, приведённый к валу электродвигателя;

$$\omega_{AN}^* = \omega / \omega_f = \omega^*; \quad \omega_C^* = \omega_C / \omega_f;$$

K_{PC} , $K_{ТП}$ — коэффициенты передачи, соответственно, регулятора скорости и тиристорного преобразователя.

При $\omega = \omega_H$, $M_C = 0$, $T_{ПП} = 0$ выражение (2) примет вид:

$$\begin{aligned} E_H^* &= \omega^* + i_{N\hat{O}}^* \rho_B (1 + \hat{O}_B \hat{D}), \\ \hat{O}_i \hat{D} \omega^* &= i_{N\hat{O}}^*, \\ E_2^* &= E_{AB}^* - i_{N\hat{O}}^* \rho_{E\hat{I}}, \\ (\omega^* - 1) \cdot \hat{E}_1 &= E_{AB}^*, \end{aligned} \quad (3)$$

где $K_1 = K_{PC} / K_{ТП}$ — коэффициент системы регулирования скорости.

Условие устойчивости системы может быть получено при решении следующего неравенства:

$$\hat{E}^2 \omega^* \hat{E}_2 \hat{O}_B + \hat{D} \omega^* \hat{E}_2 (\hat{E}_{E\hat{I}} + 1) + \omega^* (1 - \hat{E}_1) + \hat{E}_1 < 0,$$

где $K_2 = T_M \rho_{Я}$ — конструктивный коэффициент двигателя;

$K_{ПП} = \rho_{ПП} / \rho_{Я}$ — коэффициент источника питания.

Согласно критерию Гурвица система устойчива при

$$\omega^* (1 - \hat{E}_1) + \hat{E}_1 > 0. \quad (4)$$

Таким образом, при средних и больших значениях коэффициента регулятора скорости система ТП-Д в условиях электроснабжения от источника соизмеримой мощности неустойчива ($K_{PC} < K_{ТП}$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брейдо И.В. Влияние реальных условий эксплуатации на структуру и параметры управляемых электроприводов нестационарных горных машин // Изв. вузов. Горный журнал. 1993. №8. С. 116-119.
- Брейдо И.В., Макаренко Н.В. Проблема устойчивости тиристорного электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности // Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях: Труды 4-й Междунаро. науч.-техн. конференции. Алматы, 2004. С. 287-290.

3. Брейдо И.В., Макаренко Н.В. Параметрическая оптимизация тиристорного электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности // Материалы Международной научно-практической конференции «Наука та інновації — 2005». Том 1. Технические науки. Днепропетровск: Наука і освіта, 2005. С. 16-18.

УДК 621.34:62.505:669.046.4

И.В. БРЕЙДО
Г.А. СИВЯКОВА**Структурная оптимизация электроприводов камер башенной печи агрегата непрерывного отжига**

Для решения проблемы повышения производительности и надежности работы агрегата непрерывного отжига (АНО) возникла необходимость оптимизации динамических режимов в отжигаемой полосе, в связи с чем были проведены исследования действующего агрегата [1]. По результатам проведенных экспериментов была разработана имитационная модель электроприводов средней части АНО [2].

Дифференциальные уравнения группового эквивалентного электропривода камер башенной печи в виде двухсекционного участка с упругой полосой имеют вид:

$$\begin{aligned} U &= i_2 R_{y\Sigma} + C \hat{O}_2 \omega_2 + L_{2\Sigma} \frac{di_2}{dt}, \\ U &= i_1 R_{y\Sigma} + C \hat{O}_1 \omega_1 + L_{1\Sigma} \frac{di_1}{dt}, \\ M_{y12} &= F_{y12} \cdot r, \quad M_2 - M_{y12} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}, \\ M_1 + M_{y12} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}, \quad M_1 = \tilde{N} \hat{O}_1 i_1; \\ M_2 &= \tilde{N} \hat{O}_2 i_2, \quad V_2 = \omega_2 \cdot r, \quad V_1 = \omega_1 \cdot r, \\ \frac{dF_{12}}{dt} &= C_{12} \left[V_2 - \left(1 + \frac{F_{12}}{C_{12} l} \right) \cdot V_1 \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где U — напряжение якоря, В;

i — ток якоря, А;

ω — угловая скорость электродвигателя, рад/с;

Φ — магнитный поток, Вб;

J — момент инерции якоря, кг·м²;

$C_e = C_m = C$ — конструктивная постоянная электродвигателей, Н·м/А;

$R_{\Sigma y}$ — суммарное сопротивление цепи якоря, Ом;

$L_{\Sigma y}$ — суммарная индуктивность цепи якоря, Гн;

M — момент сопротивления, Н·м;

M_y — момент упругого сопротивления, Н·м;

V — линейная скорость полосы;

F_{y12} — усилие натяжения в полосе, Н;

R — радиус приведения, м;

C_{12} — жесткость полосы, Н/м;

l — длина полосы, м.

При рассмотрении процесса в малом дифференциальные уравнения могут быть линеаризованы. Система уравнений (1) в приращениях с учетом того, что $V = V_{10} + \Delta V$ и $F_{y12} = F_{y0} + \Delta F_{y12}$, приводится к виду:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta i_2 R_{y\Sigma} + \tilde{N} \hat{O}_2 \Delta \omega_2 + L p \Delta i_2; \\ \Delta U &= \Delta i_1 R_{y\Sigma} + \tilde{N} \hat{O}_1 \Delta \omega_1 + L p \Delta i_1; \\ \Delta M_2 - \Delta M_{y12} &= J_2 p \Delta \omega_2; \\ \Delta M_1 + \Delta M_{y12} &= J_1 p \Delta \omega_1; \\ \Delta M_{y12} &= \Delta F_{y12} \cdot r; \\ \Delta V_2 &= \Delta \omega_2 \cdot r; \quad \Delta V_1 = \Delta \omega_1 \cdot r; \\ \Delta F_{y12} &= \frac{C_{12}}{p} \left[\Delta V_2 - \left(1 + \frac{F_{y0}}{C_{12} \cdot l} \right) \cdot \Delta V_1 - \frac{\Delta F_{y12}}{C_{12} \cdot l} \cdot V_{10} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Для упрощения анализа и получения обобщенных результатов произведем нормирование системы уравнений (2), принимая за базовые номинальные значения величин:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U^* &= \Delta i_2^* \rho_y (\hat{O}_y \delta + 1) + \Delta \omega_2^*, \\ \Delta U^* &= \Delta i_1^* \rho_y (\hat{O}_y \delta + 1) + \Delta \omega_1^*, \\ \Delta i_2^* - \Delta M_{12}^* &= \hat{O}_i \delta \Delta \omega_2^*, \\ \Delta i_1^* + \Delta M_{12}^* &= \hat{O}_i \delta \Delta \omega_1^*, \\ \Delta \dot{I}_{12}^* &= \Delta F_{y12}^*, \quad \Delta M_1^* = \Delta i_1^*, \\ \Delta M_2^* &= \Delta i_2^*, \quad \Delta \dot{I}_{y12}^* = C_{12}^* \cdot \frac{\left[\Delta \omega_2^* - \left(1 + \frac{\dot{I}_{y0}^*}{C_{12}^*} \right) \Delta \omega_1^* \right]}{(T_i p + 1)}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $T_M = J \cdot \omega_H / M_H$ — электромеханическая постоянная двигателя, с;

$T_\Sigma = L_\Sigma / R_\Sigma$ — электромагнитная постоянная двигателя, с;

$\rho_\Sigma = R_\Sigma / R_H$ — относительное сопротивление якоря;

$T_\Pi = l / (\omega_{10} r)$ — постоянная времени полосы, с;

$C_{12}^* = C \cdot l / F_H$ — относительная жесткость полосы.

Для электропривода башенных печей, замкнутого по току нагрузки, передаточная функция усилия натяжения F_y относительно напряжения задания U_3 , в приращениях и при нормировании, аналогичном (3), равна (для сокращения записи значки * и Δ далее опущены):

$$\frac{F_y}{U_3} = - \frac{W_{\hat{O}\hat{O}} \cdot \hat{E}_{\hat{O}} \left[\hat{O}_i \delta \rho_y (\hat{O}_i \delta + 1) + 1 \right] W_{\hat{O}\hat{O}} \cdot F_{y0}}{\left\{ \left[2 \hat{E}_{\hat{O}\hat{O}} \cdot W_{\hat{O}\hat{O}} \cdot \hat{E}_{\hat{O}} + \rho_y (\hat{O}_i \delta + 1) \right] \hat{O}_i \delta + 1 \right\}} \cdot \frac{1}{\left\{ (\hat{O}_i \delta + 1) \cdot \left[1 + \rho_y (\hat{O}_i \delta + 1) \hat{O}_i \delta \right] + 2 \rho_y (\hat{O}_i \delta + 1) \tilde{N} + \rho_y (\hat{O}_i \delta + 1) F_{y0} \right\}}, \quad (4)$$

где $K_{\Pi\Pi}$ — коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

$K_{ДТ}$ — коэффициент передачи датчика тока;

W_{3H} — передаточная функция задатчика интенсивности;

W_{PT} — передаточная функция регулятора тока.

Упростим выражение (4) с учетом регулятора тока ПИ-типа, а также примем $T_{\Sigma} \approx 0$, так как $T_{\Sigma} \ll T_M < T_{II}$, а $\rho_{\Sigma} T_M \ll T_{II}$:

$$\begin{aligned} \frac{F_y}{U_{\Sigma}} = & - \frac{W_{D0} \cdot \hat{E}_{\alpha} (\dot{O}_l \delta \cdot \rho_{\Sigma} + 1) W_{\Sigma} \cdot F_{y0}}{\left[(2\hat{E}_{A0} \cdot W_{D0} \cdot \hat{E}_{\alpha} + \rho_{\Sigma}) \dot{O}_l \delta + 1 \right]} \\ & \frac{1}{\left[(\dot{O}_l \delta + 1) \cdot (1 + \rho_{\Sigma} \dot{O}_l \delta) + 2\rho_{\Sigma} \tilde{N} + \rho_{\Sigma} F_{y0} \right]} = \\ & = - \frac{(\dot{O}_{D0} \delta + 1) \hat{E}_{D0} \cdot \hat{E}_{\alpha} (\dot{O}_l \cdot \rho_{\Sigma} \delta + 1) W_{\Sigma} \cdot F_{y0}}{\delta \left\{ \left[2 \cdot \hat{E}_{A0} \cdot \hat{E}_{D0} (\dot{O}_{D0} \delta + 1) \hat{E}_{\alpha} + \rho_{\Sigma} \right] \dot{O}_l + \dot{O}_{D0} \right\}} \\ & \frac{1}{\left[(\dot{O}_l \delta + 1) \cdot (1 + \rho_{\Sigma} \dot{O}_l \delta) + 2\rho_{\Sigma} \tilde{N} + \rho_{\Sigma} \cdot F_{y0} \right]}. \end{aligned} \quad (5)$$

В установившемся процессе при $p \rightarrow 0$:

$$F_y = - \frac{U_{\Sigma} \hat{E}_{D0} \hat{E}_{\alpha} F_{y0}}{\left[\dot{O}_{D0} + (2\hat{E}_{A0} \cdot \hat{E}_{D0} \cdot \hat{E}_{\alpha} + \rho_{\Sigma}) \dot{O}_l \right] \left[2\rho_{\Sigma} \tilde{N} + \rho_{\Sigma} \cdot F_{y0} \right]}. \quad (6)$$

Определим из (5) и (6) величину U_{Σ} , обеспечивающую постоянное натяжение полосы $F_y = A = \text{const}$ при изменении ее скорости и параметров:

$$U_{\Sigma} = - \frac{\dot{A}}{\hat{E}_{D0} \cdot \hat{E}_{\alpha}} \left[\dot{O}_{D0} + (2\hat{E}_{A0} \hat{E}_{D0} \hat{E}_{\alpha} + \rho_{\Sigma}) \dot{O}_l \right] \cdot \left\{ \frac{2\rho_{\Sigma} \tilde{N}}{F_{y0}} + \rho_{\Sigma} \right\}. \quad (7)$$

Анализ (5) показывает, что применение PI — регулятора тока в электроприводе камер башенной печи не обеспечивает стабилизацию усилия натяжения в установившихся процессах при изменении скорости, жесткости и натяжения полосы. Для компенсации потерь на трение при изменении этих параметров целесообразно вводить адаптацию U_{Σ} в соответствии с (7).

Использование PI -регулятора тока обеспечивает астатическое регулирование натяжения. Однако косвенное регулирование натяжения посредством стабилизации тока нагрузки не влияет на такие динамические показатели, как колебательность и степень устойчивости, так как не изменяет полюсов разомкнутой системы электропривода. Таким образом, регулятор тока камер башенной печи недостаточно эффективен для регулирования натяжения полосы.

Регулирование натяжения может быть реализовано при индивидуальном регулировании скоростей роликов камер башенных печей в соответствии с выражением (7). При этом необходима установка датчиков скорости на привод каждого ролика, и электропривод должен быть адаптивным к изменению жесткости, скорости и начального натяжения полосы.

Групповой электропривод, по проекту, в качестве сигнала обратной связи использует сигнал по ЭДС: $U_{OC} = U - i_{\Sigma} R_{\Sigma}$. В действительности же сигнал U_{OC} не пропорционален ЭДС, так как здесь не учитывается падение напряжения на индуктивности, переходное сопротивление щетка — ламель, а также в групповом

электроприводе всегда существует различие скоростей роликов печи из-за конструктивных разбросов и упругого взаимодействия с полосой, что приводит к неконтролируемым и неуправляемым колебаниям натяжения полосы.

Эффективность регулирования натяжения значительно повышается при использовании регулятора натяжения прямого действия с введением обратных связей по усилию. Возможности практической реализации таких структур в электроприводах технологических агрегатов с распределенными параметрами ограничиваются низким качеством сигнала усилий, наличием высокочастотных вынужденных составляющих усилий, не поддающихся демпфированию, и запаздыванием, связанным с удаленностью датчика от регулятора натяжения. При размещении датчика усилий рядом с регулятором натяжения демпфирование низкочастотных колебаний в распределенной полосе становится вообще проблематичным.

Одним из возможных направлений оптимизации управления динамикой полосы является использование электроприводов камер башенной печи в качестве распределенных регуляторов натяжения, каждый из которых замкнут обратной связью по усилию натяжения. Это заменяет регулирование натяжения в одной точке распределенным регулированием натяжения вдоль полосы.

На имитационной модели электроприводов АНО был проведен эксперимент по введению данной структуры электропривода. Осциллограмма усилий натяжения в каждой камере башенной печи с существующей структурой приведена на рис. 1, а осциллограмма усилий натяжения с распределенным регулированием натяжения — на рис. 2.

Результаты имитационного эксперимента показывают, что переходный процесс во втором случае протекает без перерегулирования. Однако в связи с низким качеством сигналов датчиков усилий реализация распределенных регуляторов натяжения прямого действия в действующем АНО затруднена. Несмотря на определенные преимущества по сравнению с системами косвенного регулирования натяжения, система распределенного регулирования натяжения обладает рядом общих для этих систем недостатков — наличием сильной зависимости динамических характеристик электроприводов от начального натяжения, скорости движения полосы и жесткости.

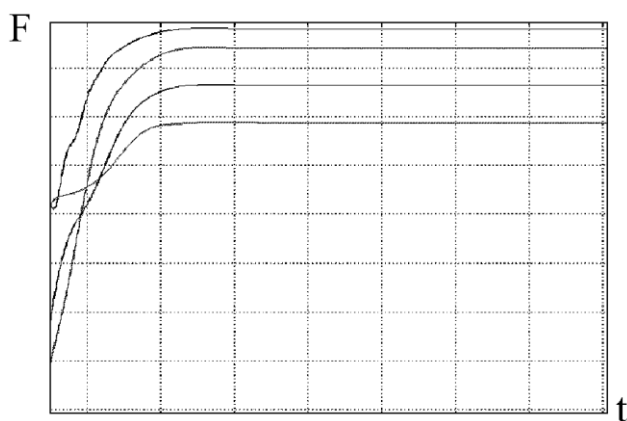


Рис. 1

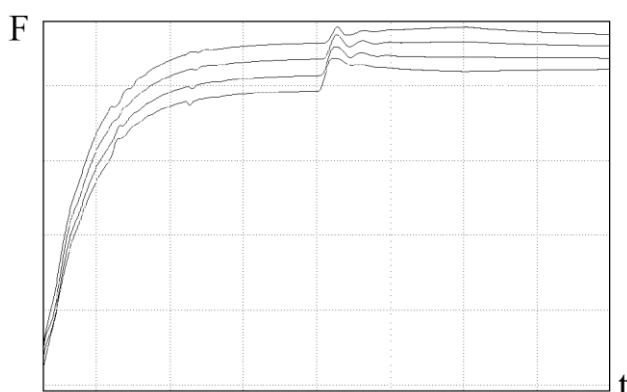


Рис. 2

Рассмотрим групповой электропривод камер башенной печи, замкнутый отрицательной обратной связью по току нагрузки и положительной обратной связью по производной скорости. Электропривод описывается системой уравнений (3) и дополнительным уравнением:

$$[U_{\varphi} W_{\varphi} - \hat{E}_{AO}(i_1 + i_2) + \hat{E}_A \delta \omega_2] W_{\alpha} \hat{E}_{\alpha} = U, \quad (8)$$

где K_D — коэффициент передачи дифференциатора.

Сигнал обратной связи U_{OC} равен:

$$U_{iN} = \hat{E}_A \delta \omega_2 - \hat{E}_{AO}(i_1 + i_2) = \frac{p[U(\hat{E}_A - 2\hat{O}_i \hat{E}_{AO}) - F_y \cdot \hat{E}_A \rho_Y]}{\rho_Y \hat{O}_i \delta + 1}, \quad (9)$$

при

$$K_D = 2T_M K_{DT}, \quad (10)$$

$$U_{iN} = -\frac{F_y \cdot \hat{E}_A \cdot \rho_Y \cdot \delta}{\rho_Y \hat{O}_i \delta + 1}. \quad (11)$$

Таким образом, положительная обратная связь по производной скорости и отрицательная обратная связь по току при выполнении условия (10) эквивалентна отрицательной обратной связи по производной усилия с фильтром первого порядка.

В существующей структуре АНО датчики скорости установлены в электроприводах третьих и четвертых тянущих роликов. Так как ведущим механизмом АНО являются четвертые тянущие ролики, то сигнал производной скорости целесообразно формировать на базе сигнала скорости четвертых тянущих роликов. Но в напряжении тахогенератора содержатся высшие гармоники, и выделение производной скорости практически нереализуемо.

Возможным решением в данном случае является введение сигнала по производной скорости с выхода задатчика интенсивности четвертых тянущих роликов, так как темп разгона привода и будет соответствовать дифференциалу скорости с незначительной ошибкой, причем физическая реализация такого сигнала не вызовет никаких затруднений.

Результаты имитационного эксперимента с учетом введения сигнала от задатчика интенсивности приведены на рисунке 3.

Таким образом, полученные результаты показывают, что сочетание положительной обратной связи по производной скорости и отрицательной — по току нагрузки позволяет осуществить плавный пуск агрегата, то есть структурная оптимизация электроприводов АНО позволяет оптимизировать динамические процессы, происходящие в полосе обрабатываемого металла.

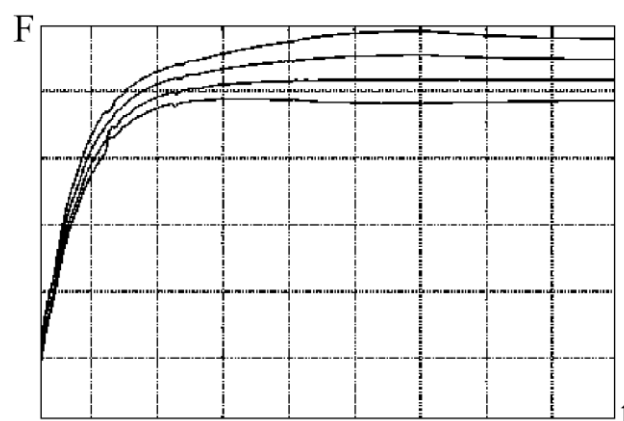


Рис. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брейдо И.В., Сивякова Г.А. Экспериментальные исследования взаимосвязанных электроприводов агрегата непрерывного отжига // Тезисы докладов III Международной научно-технической конференции. Алматы, 2002. С. 110-112.
2. Брейдо И.В., Сивякова Г.А. Разработка имитационной модели взаимосвязанного электропривода АНО // Вестник НТУ «Харьковский политехнический институт», серия «Электротехника, электроника и электропривод». Вып. №45. Харьков, 2005. С. 145-146.

УДК 62-83:001.891.57

Г.А. ЭМ

Экспериментальный стенд для исследования четырехквadrантного тиристорного электропривода

Четырехквadrантные электроприводы постоянного тока получили достаточно широкое применение в машинах и механизмах, используемых в различных отраслях промышленности. К ним относятся электроприводы рудничных подъемных машин, кранов, лебедок, экскаваторов, напочвенных канатных дорог, механизмов подачи угледобывающих комбайнов и т.п.

Технологические особенности и требования техники безопасности при эксплуатации перечисленного оборудования обусловили необходимость использования четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока с двухзонным регулированием, обеспечивающего, в том числе генераторные режимы работы. А для ряда технологических машин и механизмов, таких как напочвенные канатные дороги и лебедки буровых станков, требуется управление параметров электропривода также и при знакопеременном моменте сил сопротивления в генераторных режимах работы. При этом технические характеристики современных машин требуют высокой скорости перехода из двигательного режима в генераторный и обратно [1,2].

Двигательные режимы системы ТП-Д, которая включает в себя управляемый силовой преобразователь и двигатель постоянного тока, изучены достаточно полно [3-5]. В отличие от них исследование генераторных режимов системы, а также динамика ее перехода из двигательного режима в генераторный и обратно в составе регулируемого четырехквadrантного электропривода постоянного тока проведены в недостаточной степени. К нерешенным вопросам относится также определение реального диапазона существования режима рекуперативного торможения по скорости [1] и пр.

С целью проведения данных исследований были сформулированы основные требования к экспериментальному стенду, включающему в себя электромеханическую пару «двигатель-генератор». Обе электрические машины — постоянного тока независимого возбуждения. Трехфазные двухполупериодные тиристорные преобразователи, один из которых реверсивный, должны обеспечивать работу электропривода, в том числе в инверторном режиме. Систему управления следует выполнить по принципу подчиненного регулирования с двумя контурами — тока и скорости. В измерительную часть стенда предполагается включить как магнитоэлектрические стрелочные индикаторы, так и цифровые датчики, а также цифровой осциллограф (либо скопметр) с возможностью передачи регистрируемых данных на ПЭВМ для обеспечения дальнейшей обработки результатов экспериментов.

На основе сформулированных требований была разработана функциональная схема стенда,

представленная на рис. 1. Схема отражает основные функциональные элементы силовой части и схемы управления, а также элементы, предназначенные для обеспечения измерений и регистрации основных параметров электромеханической системы.

Силовая часть экспериментального стенда представляет собой работающую на один вал электромеханическую пару «двигатель-генератор» постоянного тока независимого возбуждения. При этом генератор является нагрузкой для основной машины, в свою очередь для якорной цепи генератора предусмотрена возможность подключения нагрузочного реостата.

Для обеспечения генераторного режима работы с рекуперацией энергии в сеть в схеме предусмотрена возможность питания нагрузочного генератора G от управляемого преобразователя $ТПГ$. В этом случае генератор работает в двигательном режиме, а приводной двигатель M переходит в режим рекуперативного торможения.

Питание двигателя M осуществляется от реверсивного тиристорного преобразователя $ТПЯ$. Система управления тиристорным преобразователем $ТПЯ$ выполнена с двумя контурами регулирования — по току и скорости.

Система управления $ТПЯ$ содержит контуры регулирования тока и скорости, она включает в себя:

ZU — задающее устройство;

ZI — задатчик интенсивности;

Σ — сумматор (сравнивающее устройство), предназначенный для сравнения сигналов задания с действующим значением угловой скорости ω . Угловая скорость на валу электромеханической системы измеряется датчиком скорости $ДС$.

$РС$ — регулятор скорости;

$РТ$ — регулятор тока;

$БО$ — блок ограничения, предназначенный для ограничения значений тока;

$ТП$ — трансформатор для питания тиристорного преобразователя;

$ЛУ$ — логическое устройство для выбора направления вращения вала машины. Логическое устройство позволяет реверсировать двигатель как по обмотке якоря, так и по обмотке возбуждения. В якорной цепи реверс осуществляется путем переключения с одного комплекта тириستоров выпрямителя на другой — реверсивный. Реверс по обмотке возбуждения выполняется переключением контактов реле $K1$, изменяющих полярность питания на обмотке возбуждения $ОВМ$.

Обмотка возбуждения $ОВМ$ приводного двигателя M также питается от управляемого вентильного преобразователя $ТПОВ$, управление углом отпирания тиристоров которого обеспечивается регулятором тока $РТОВ$.

Для имитационного моделирования экспериментального стенда был использован известный пакет прикладных программ *MatLab 6.1* фирмы *MathWorks* и его приложение *Simulink* [6,7].

Структурная схема имитационной модели экспериментального стенда приведена на рис. 2.

Модель силовой части экспериментального стенда содержит две одинаковые модели электрических машин постоянного тока независимого возбуждения, представленные на рисунке блоками *DC Machine* и *DC Generator*. Порты модели *A+* и *A-* являются выводами обмотки якоря машины, а порты *F+* и *F-* представляют собой выводы обмотки возбуждения. Порт *TL* предназначен для подачи момента сопротивления движению.

Механическое соединение машин имитируется путем подачи сигнала электромагнитного момента двигателя на вход момента сопротивления генератора, а рассчитываемый моделью генератора электромагнитный момент — на вход момента сопротивления двигателя. Поскольку модели двигателя и генератора идентичны, то рассчитываемые скорости обеих машин одинаковы. На выходном порту *m* представленных моделей формируется векторный сигнал, состоящий из четырех элементов: скорости, тока якоря, тока возбуждения и электромагнитного момента машины. На выходной порт *Me* машины поступает сигнал электромагнитного момента.

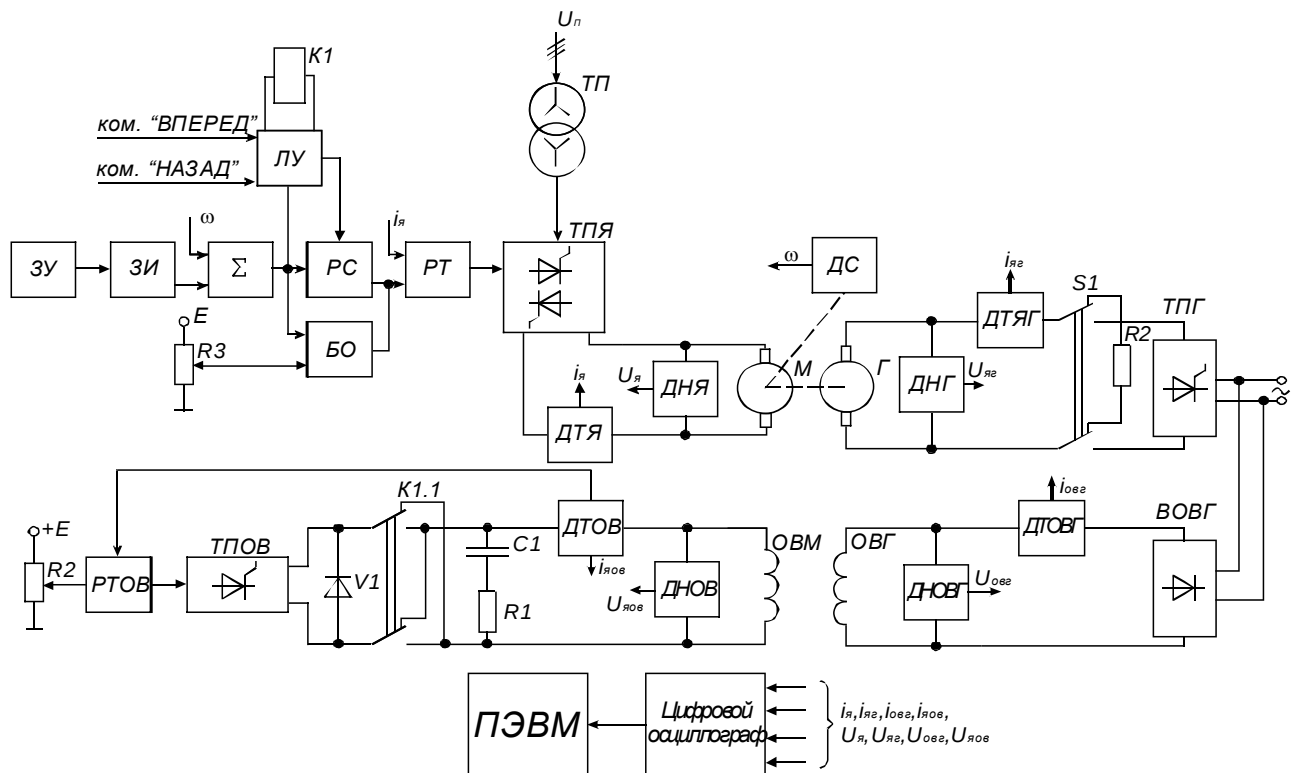


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального стенда

Модель машины постоянного тока представляет собой измененную модель двигателя постоянного тока *DC Machine* из библиотеки *SimPowerSystems*.

В данной схеме замещения машины постоянного тока имеют место следующие допущения: не учитываются потери на внешние вихревые токи, потери на внешние магнитные поля, нелинейность

характеристики коллекторно-щеточного узла, а также влияние протекающих в машине тепловых процессов и насыщение магнитопровода машины.

Разработанная модель позволяет исследовать свойства четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока во всех основных режимах его работы.

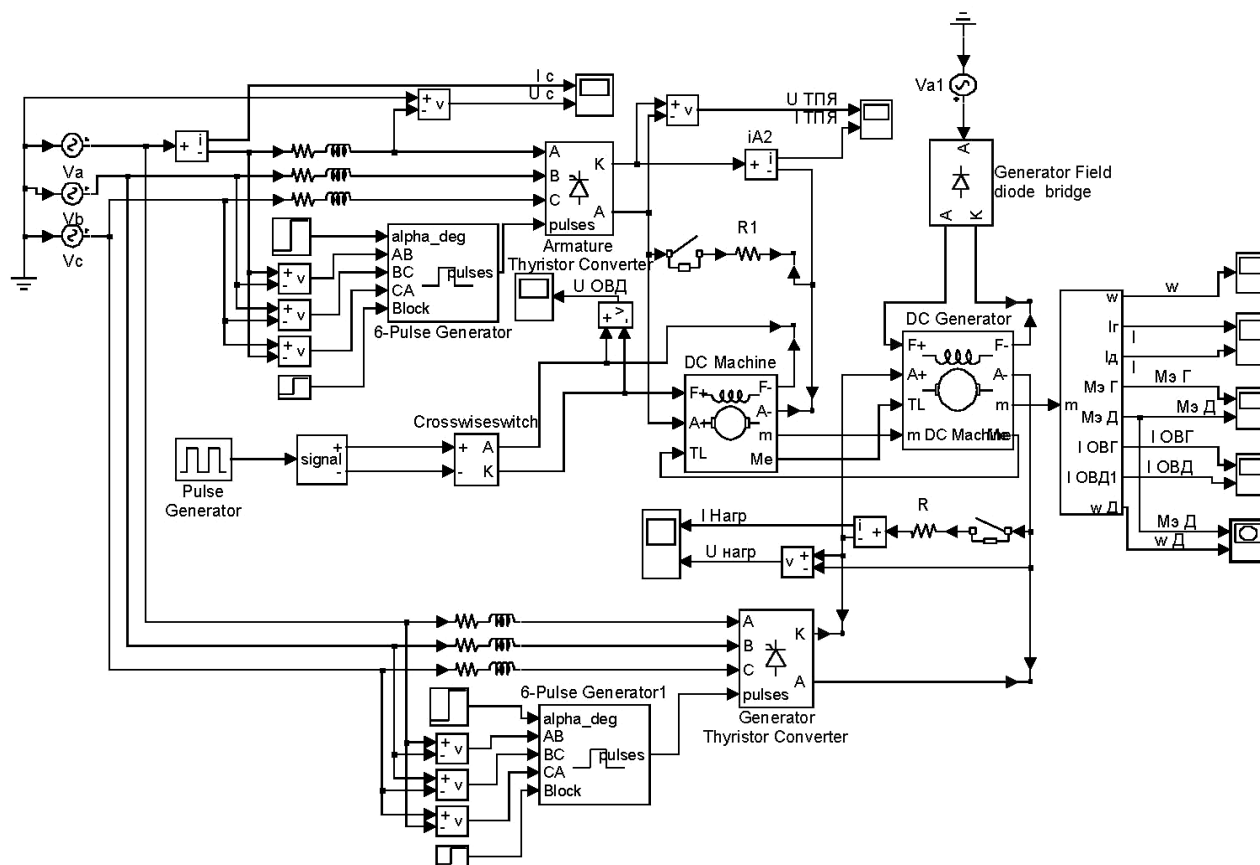


Рис. 2. Структурная схема модели экспериментального стенда

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брейдо И.В., Эм Г.А. Особенности генераторных режимов работы четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока // Труды четвертой международной научно-технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, 2004. С. 291-293.
2. Эм Г.А. К вопросу о выборе генераторных режимов работы четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока / КарГТУ // Труды университета Караганда. 2005. №4. С. 63-65.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.: ил.
4. Шипилло В.П. Автоматизированный вентильный электропривод. М.: Энергия, 1969. 400 с.
5. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.: ил.
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учеб. пособие. СПб.: КОРОНАпринт, 2001. 320 с.: ил.
7. Черных И.В. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. В.Г.Потемкина. М.: «ДИАЛОГ-МИФИ». 2003. 496 с.

УДК 681.511.2

Л.А. АВДЕЕВ
В.Н. ШАТОХИН
С.А. БРАТЦЕВ

К вопросу автоматического распознавания предаварийных ситуаций

При создании автоматизированных систем контроля состояния или функционирования различных технологических объектов и, в частности, на угольных шахтах, одной из основных задач является выполнение системой функций распознавания на ранней стадии аварийной ситуации и предупреждения оперативного персонала. При этом, чем больше интервал времени между обнаружением возникновения аварийной ситуации и ее наступлением, тем выше эффективность системы контроля — больше времени предоставляется на принятие необходимых мер для ее ликвидации.

Примерами предаварийных ситуаций в рассматриваемом классе систем контроля являются:

- при контроле подземных эндогенных и экзогенных пожаров — рост температуры и содержания (концентрации) пожарных индикаторных газов и, прежде всего, окиси углерода в атмосфере горных выработок;
- при прогнозировании внезапных выбросов угля и газа в подготовительных выработках — рост метановыделения из призабойной части пласта;

- при нарушении аэрогазового режима объектов проветривания — рост концентрации газа (метана), снижение количества поступающего воздуха.

Состояние контролируемого объекта или ход технологического процесса обычно характеризуется некоторыми выходными сигналами или характерным (представительным) сигналом, воспринимаемым системой контроля. В современных системах централизованного контроля, имеющих в своем составе датчики, средства телемеханики и вычислительной техники, значения этого сигнала (параметра) фиксируются выходными устройствами системы через определенные промежутки времени Δt .

При нормальном состоянии контролируемого объекта последовательность значений выходного параметра x представляет собой стационарный временной ряд, значения которого находятся в определенных границах от x_n (нижняя граница) до x_v (верхняя граница). Ряд характеризуется средним значением параметра $x_{cp,n}$ за промежуток времени, соответствующий нормальному состоянию объекта контроля, и средним квадратическим отклонением σ_n .

Возникновение аварийной ситуации вызывает изменение характеристик (параметров) объекта контроля и, соответственно, выходного параметра, который может быть либо больше, либо меньше значения, соответствующего нормальному состоянию, либо принимать характер колебаний с различной амплитудой.

Переход объекта контроля из нормального в аварийное состояние происходит не мгновенно, а в течение определенного времени, длительность которого различна для разных технологических объектов. В переходном периоде текущее значение контролируемого параметра и среднее квадратическое отклонение изменяются — увеличиваются или уменьшаются по сравнению со значениями при нормальном состоянии объекта.

В реальных условиях в процессе функционирования объекта и системы контроля значения определяющего параметра представляются в виде непрерывного временного ряда, в котором могут присутствовать в общем случае все значения, входящие в диапазон измерений, включая «экстремальные», вызванные, например, штатными проверками работоспособности системы, осуществляемыми искусственным заданием максимальных (проверка срабатывания автоматической газовой защиты), либо минимальных (проверка «нуля») значений параметра, «нулевые» показания при отказе информационного канала, а также «ложные» показания, обусловленные влиянием различного рода помех, как это показано на рис. 1, где обозначено: $0-t_5$ — исследуемый (контрольный) интервал времени; $0-t_1$, t_2-t_3 , t_4-t_5 — интервалы нормального функционирования системы, в которых некоторые значения параметра искажены влиянием помех; t_1-t_2 — интервал с искусственным заданием максимальных значений параметра (проверка действия автоматических защит); t_3-t_4 — интервал с «нулевыми» значениями (повреждение информационного канала).

При определении средних значений x_{cp} и σ , характеризующих состояние объекта на исследуемом интервале времени, необходимо исключить из рассматриваемого временного ряда «экстремальные» (максимальные и «нулевые») значения, а также «ложные» показания, обусловленные влиянием помех.

Для исключения «экстремальных» значений параметра определим границы их нахождения. Вполне очевидно, что границы «экстремальных» значений соответствуют максимальной абсолютной погрешности информационного канала системы, в связи с чем дальнейшей статистической обработке подлежат только значения параметра x_i , удовлетворяющие неравенству:

$$0,01\delta \cdot x_{\Delta I} < x_i < (1 - 0,01\delta) \cdot x_{\Delta I}, \quad (1)$$

где δ — предел допустимой относительной погрешности информационного канала системы, %;

$x_{\Delta I}$ — верхний предел измерения параметра.

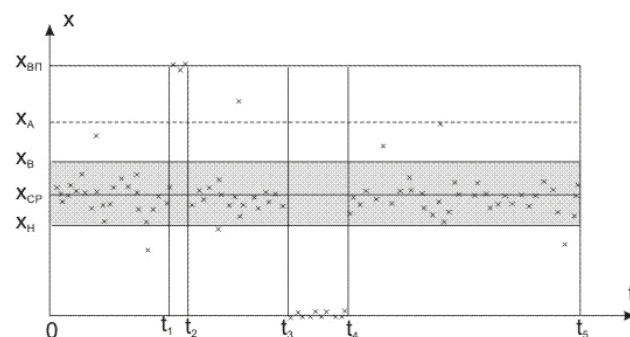


Рис. 1. Диапазон представляемых системой значений контролируемого параметра (общий случай)

Для исключения «ложных» значений параметра, обусловленных влиянием различного рода помех и входящих в определенные неравенствами (1) границы, можно воспользоваться общепринятой методикой исключения «промахов» (грубых погрешностей) [1], согласно которой промахами считают отклонения от среднего, существенно превышающие значения, оправданные объективными условиями, и для которых выполняются неравенства

$$x_{\Delta-} > x_i > x_{\Delta+}, \quad (2)$$

где $x_{\Delta-}$, $x_{\Delta+}$ — границы промахов, определяемые из выражения:

$$x_{\Delta\pm} = x_{\bar{n}} \pm \sigma(1+1,3)\sqrt{\frac{1}{\chi^2} - 1}, \quad (3)$$

где x_{cp} — среднее арифметическое (оценка математического ожидания);

$$x_{\bar{n}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (4)$$

σ — среднее квадратическое отклонение,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\bar{n}})^2}; \quad (5)$$

χ — контрэксцесс,

$$\chi = \sqrt{\frac{\sigma^4}{\mu_4}}, \quad (0 < \chi < 1). \quad (6)$$

n — количество значений параметра x , удовлетворяющих неравенствам (1);
 μ_4 — центральный момент распределения четвертого порядка.

Для нормального закона распределения, согласно [2],

$$\mu_4 = 3\sigma^4. \quad (7)$$

После подстановки (7) в (6) получим

$$\chi = \sqrt{\frac{\sigma^4}{3\sigma^4}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Подставив значение χ^2 в (3), находим границы промахов

$$x_{A\pm} = x_{\bar{n}0} \pm 3,25\sigma, \quad (8)$$

т.е. верхнее x_B ($x_B = x_{\Gamma+}$) и нижнее x_H ($x_H = x_{\Gamma-}$) границы значений параметра x определяются зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} x_A &= x_{\bar{n}0} + 3,25\sigma, \\ x_I &= x_{\bar{n}0} - 3,25\sigma, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

С учетом изложенного методикой статистической обработки данных, предоставляемых системой, должно предусматриваться:

а) назначение длительности интервала временного ряда, подлежащего анализу и установлению числовых характеристик (длительность временного интервала зависит от свойств и характеристик объекта контроля и может составлять: цикл, смена, сутки, неделя, и т.д.);

б) исключение из исходного временного ряда «экстремальных» значений параметра, согласно неравенствам (1);

в) расчет среднего значения параметра x_{cp} и среднего квадратического отклонения σ (4), (5);

г) определение границ «промахов» (9) на основе рассчитанных значений x_{cp} и σ и исключение значений параметра x , обусловленных влиянием помех (2);

д) уточнение значений x_{cp} и σ по формулам (4), (5) при уточненном значении « n » (после исключения значений параметра x , обусловленных влиянием помех).

Числовые характеристики, полученные при обработке данных временного ряда, охватывающего промежутки времени, соответствующий режиму нормального функционирования объекта, являются показателями «нормы» ($x_{cp,n}$, σ_n).

При отклонении в процессе эксплуатации текущих значений параметра x_i от нормы на определенную (задаваемую) величину технические средства системы должны формировать и выдавать оперативному персоналу сигнал о предаварийной ситуации для анализа причин возникновения отклонения и принятия соответствующих мер.

Для объектов с неизменяющимися параметрами, у которых значения показателей «норма» не меняются в процессе их функционирования, условием автоматического включения сигнализации об

обнаружении системой отклонения, соответствующего предаварийной ситуации, является выполнение одного из неравенств:

$$\left. \begin{aligned} x_i &> x_A, \\ x_i &< x_H, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где x_B , x_H — соответственно верхняя и нижняя границы значений параметра x при нормальном состоянии объекта, определяемые зависимостями (9).

Для объектов с изменяющимися параметрами, у которых значения показателей «норма» могут изменяться в процессе эксплуатации (например, при контроле признаков возникновения эндогенного пожара в выработанном пространстве действующей лавы по содержанию окиси углерода в исходящей струе, когда объем выработанного пространства и, соответственно, объем выделяющейся окиси углерода увеличиваются по мере ведения очистных работ), с целью снижения частоты подачи системой сигналов «ложная тревога» целесообразно расширить границы рабочего диапазона изменения контролируемого параметра введением в правую часть неравенства (10) коэффициента k (коэффициента допустимого расширения рабочего диапазона изменения параметра, причем $0 \leq k < 1$). Тогда неравенства (10) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} x_i &> x_A + kx_A = (1 + \hat{e})x_A; \\ x_i &< x_H - kx_A = \left(\frac{x_H}{x_A} - \hat{e} \right)x_A, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

При этом меньшие значения коэффициента k следует задавать при контроле объектов с неизменяющимися параметрами и малоинерционных объектов с быстрым развитием аварийной ситуации (например, при контроле экзогенных пожаров) во избежание «пропуска цели», а большие значения — при контроле инерционных объектов (например, при контроле эндогенных пожаров). Максимальное значение коэффициента k для объектов со значениями показателя $x_i \geq 0$ определяется из второго неравенства (11) при $x_i = 0$ и составляет:

$$k_{i \text{ аен}} = \frac{\tilde{\sigma}_i}{\tilde{\sigma}_A}. \quad (12)$$

В процессе функционирования системой автоматически производится проверка соответствия текущих значений контролируемого параметра неравенствам (11) и при выполнении одного из неравенств (однократном, двукратном или более в зависимости от влияния помех и свойств объекта) включается предупредительная сигнализация о наличии отклонения, соответствующего предаварийной ситуации.

Для объектов с изменяющимися параметрами верхнее x_B и нижнее x_H предельные значения контролируемого параметра, входящие в неравенства (11) и рассчитываемые по формулам (9), уточняются каждый раз по окончании назначенного контрольного интервала (цикл, смена, сутки, неделя и т.д.). В этом случае график изменения рабочего диапазона

контролируемого параметра будет иметь вид, показанный на рисунке 2.

На интервале $0-T_1$, соответствующем режиму нормального функционирования системы, определяются значения x_{cp1} и σ_1 по указанной выше методике и по формулам (9), (11) определяется рабочий диапазон A_1 изменения параметра с границами x_{B1} , x_{H1} на последующий интервал T_1-T_2 .

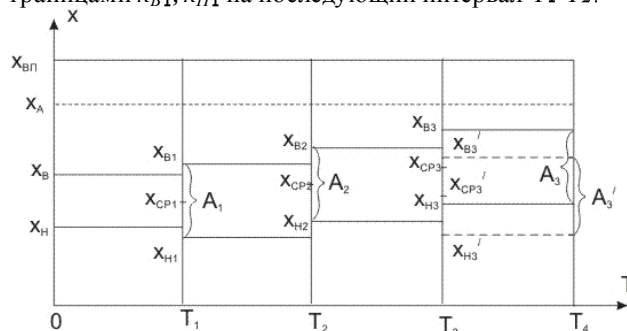


Рис. 2. График изменения рабочего диапазона измеряемого параметра

По окончании интервала T_1-T_2 определяются значения x_{cp2} и σ_2 (допустим, имеется рост значений показателей) и рабочий диапазон A_2 с границами x_{B2} , x_{H2} на интервал T_2-T_3 .

Далее, по окончании интервала T_2-T_3 , аналогично определяются x_{cp3} , σ_3 . В случае роста x_{cp3} границами рабочего интервала A_3 будут значения x_{B3} , x_{H3} , а в случае снижения до x_{cp3} границами рабочего интервала A_3 будут x'_{B3} , x'_{H3} .

Выход текущего значения параметра x_i за установленные границы рабочего диапазона на любом интервале должен сопровождаться включением предаварийной сигнализации.

Достижение контролируемым параметром значения второго, аварийного, уровня (x_A), который обычно регламентируется нормативными документами, должен сопровождаться автоматическим включением аварийной сигнализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. Кн. 1. М.: Изд-во стандартов, 1990. С. 529.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. С. 576.

УДК 621.313

М.А. МУСТАФИН

Математическая модель и программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода центробежных механизмов

Интенсивное развитие силовой электроники и информационно-вычислительных средств привело к широкому распространению систем электропривода переменного тока на базе асинхронных двигателей (АД). Созданы электроприводы с АД, не уступающие приводам постоянного тока по основным параметрам, таким как диапазон, точность и быстродействие регулирования. При этом главным преимуществом первых остается высокая надежность основного элемента — электродвигателя. В механизмах циклического действия переходные процессы занимают значительную, а иногда и основную, часть рабочего цикла. Механизмы непрерывного действия все чаще включаются в САУ технологическими процессами, требующими регулирования или стабилизации выходных параметров и, следовательно, координат используемого электропривода. Так, для центробежных механизмов (насосы, вентиляторы, воздуходувки и т.д.) рабочим режимом принято считать стационарный, с установившимися параметрами привода. Однако при работе, например, регулируемого электропривода насосной установки, обеспечивающей стабилизацию давления в заданной точке трубопровода, постоянно возникают переходные процессы, которые вызваны оперативными включениями или отключениями отдельных элементов системы или изменением

режимов их функционирования.

В связи с этим важное значение приобретает исследование энергопотребления таких электроприводов не только в установившихся, но и в переходных режимах их работы. Предлагаемая математическая модель должна позволить провести сопоставительный анализ электромагнитных и электромеханических процессов различных схем электропривода для центробежных механизмов.

Полная система исходных уравнений, описывающих процессы в асинхронном электроприводе центробежных насосов, состоит из четырех групп: уравнений электромагнитного равновесия (Кирхгофа), описывающих электромагнитные процессы в двигателе, уравнений электромеханического преобразования энергии, уравнений, характеризующих особенности механической нагрузки на валу двигателя и уравнений, отражающих выходные параметры и свойства источников питания.

Матрица, описывающая электромагнитные соотношения в АД, составлена в проекциях обобщенных векторов напряжений и токов на оси x, y , вращающихся синхронно с полем статора:

$$\begin{pmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 + p(l_1 + l_m) & -\omega(l_1 + l_m) & p l_m & -\omega_0 l_m \\ \omega_0(l_1 + l_0) & r_1 + p(l_1 + l_m) & \omega_0 l_m & p l_m \\ p l_m & -\omega_0 l_m & r_2 + p(l_2 + l_m) & -\omega_0 l_2 \\ \omega_0 l_m & p l_m & \omega_0 s(l_2 + l_m) & r_2 + p(l_2 + l_m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{1x} \\ i_{1y} \\ i_{2x} \\ i_{2y} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $u_{1x}, u_{1y}, u_{2x}, u_{2y}$ — проекции векторов напряжений статора и ротора на синхронные оси;

$i_{1x}, i_{1y}, i_{2x}, i_{2y}$ — соответственно проекции векторов токов статора и ротора на оси x, y ;

l_1, l_2 — индуктивности фазы статора и ротора;

l_m — индуктивность цепи намагничивания;

r_1, r_2 — активные сопротивления фазы статора и ротора.

Включение в уравнение (1) напряжений u_2 и запись векторов в виде проекций позволяет наиболее просто провести расчет действующих значений и интегральных характеристик токов и напряжений в АД при различных вариантах подключения преобразователей (к статору, ротору) и различных схемах этих преобразователей.

Выбор системы координат обусловлен следующими соображениями. В случае питания со стороны статора (короткозамкнутые АД по схемам ПЧ-АД, ТРН-АД) при выборе преобразователя необходимо учесть реальную форму токов и напряжений статора, то есть рассчитать их в системе координат α, β , жестко связанной с неподвижным статором. При расчете преобразователей в каскадных схемах нас интересуют значения токов и напряжений в координатах d, q вращающегося ротора. Процедура преобразования координат $\alpha, \beta - d, q - x, y$ (синхронные оси) достаточно рутинна, но перевод в координаты статора и ротора выражений, записанных в синхронных осях, выполняется одинаковой операцией и упрощает программы расчета. Поэтому в дальнейшем расчеты выполняются в системе координат x, y , вращающейся с частотой поля статора АД.

Электромагнитные соотношения в программе рассчитываются с учетом паспортных данных насоса и трубопровода.

Взаимодействие полей статора и ротора ЭМП создает электромагнитный момент

$$\dot{I} = -\frac{3}{2} p_l l_m \begin{vmatrix} i_{1x} & i_{2x} \\ i_{1y} & i_{2y} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

При центробежной нагрузке момент сопротивления механизма является достаточно сложной функцией скорости. Так, для центробежного насоса он определяется как [1]

$$\dot{I}_{\tilde{N}} = \frac{\tilde{N}_f \dot{I}_c + \left(\frac{1-s}{1-s_f} \right)^2}{\eta_{\delta f}(\omega, H_c)} \sqrt{1 - \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_f} \left(\frac{1-s_f}{1-s} \right)^2}, \quad (3)$$

где H_c — статический напор, обусловленный разностью уровней начала и конца трубопровода; H_0 — напор насоса при закрытой задвижке на выходе; s — скольжение;

$$C_H — коэффициент, \quad \tilde{N}_f = 1 - \frac{1}{H_f}.$$

Следует отметить, что в (3) КПД самого насоса также зависит от частоты вращения рабочего колеса и статического напора.

Уравнения (2), (3) совместно с уравнением движения описывают процессы электромагнитного преобразования энергии.

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4)$$

Автором разработана универсальная программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода в программной среде «Mathcad 2001» (MathSoft), содержащей встроенные программы для численного решения систем дифференциальных уравнений первого и высших порядков. На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма расчета.

При введении параметров двигателя программа формирует вектор правых частей системы дифференциальных уравнений электромагнитного равновесия электропривода. Для приведения к каноническому виду, необходимо решить систему (1) относительно первых производных проекций токов (четыре уравнения) для конкретной схемы электропривода (ПЧ-АД, ТРН-АД, МДП). Кроме того, в качестве еще одной переменной примем величину скольжения. В соответствии с (2) и (3):

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{J \omega_0} \left(\frac{3 p_l l_m}{2} (i_{1y} i_{2x} - i_{1x} i_{2y}) - M_c \right). \quad (5)$$

Еще одно уравнение в системе (значение dM_c / dt) получено дифференцированием уравнения (3).

Вид переходного процесса и его параметры вместе с параметрами нагрузки определяют вектор начальных условий. Кроме того, используя подпрограмму «Расчет du/dt », можно задать форму и интенсивность нарастания управляющих воздействий. Далее выбирается метод численного решения системы (Рунге-Кутта с фиксированным или адаптированным шагом, Булириш-Штера и т.д.), интервал и шаг решения. Вывод результатов осуществляется в табличном или графическом виде.

В качестве примера ниже приведены результаты расчета электромагнитного момента и тока статора асинхронного двигателя 4АНК 315 4У3 с параметрами: $U_H = 380$ В, $I_{1H} = 212$ А, $r_1 = 0.0379$, $r_2 = 0.0448$, $l_1 = 0.00077$, $l_2 = 0.00074$, $l_m = 0.01867$, $p_{II} = 2$, $s_H = 0.025$.

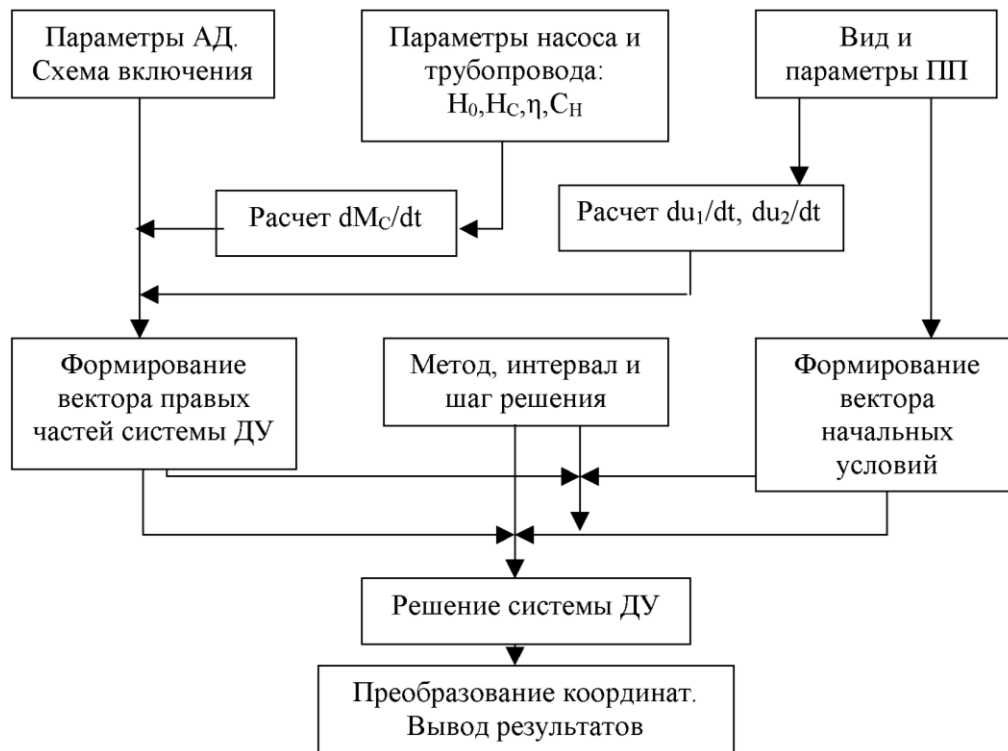


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета динамических характеристик привода центробежного насоса

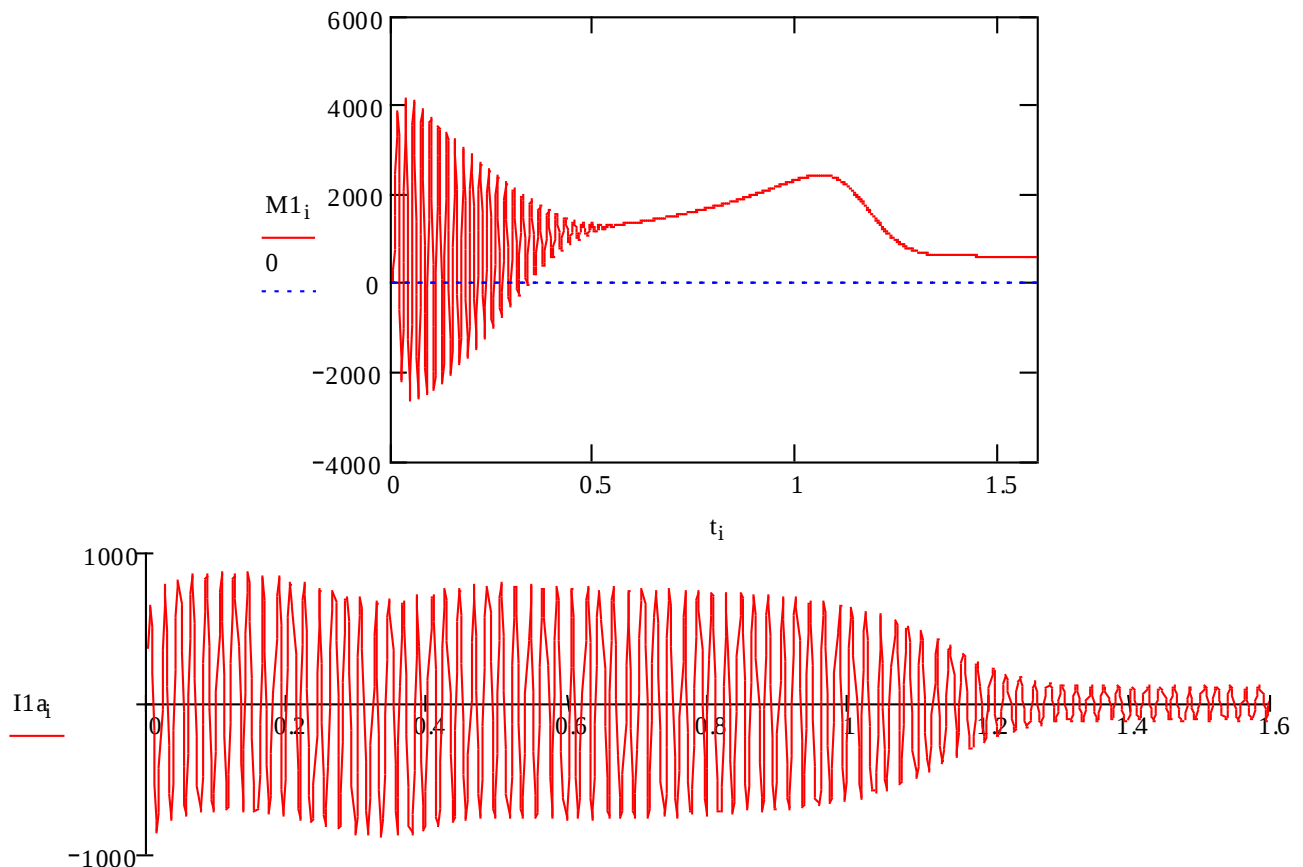


Рис. 2. Кривые пуска АД с центробежной нагрузкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мустафин М.А., Кошимбаев Г.Б. Регулирование электропривода насоса по минимуму потерь в обмотках двигателя// Энергетика, радиотехника, электроника и связь. Алматы: АИЭС, 2000.
2. Дьяконов В. МАТНСАД 8/2000:Специальный справочник. СПб: Изд-во «Питер», 2000.

УДК 681.511.3

М.А. БЕЙСЕНБИ
Б.А. ЕРЖАНОВ
С.М. САБИТОВА**Построение системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для объектов с m входами и с одним выходом**

В настоящее время общепризнано, что большинство реальных систем управления функционирует в условиях той или иной степени неопределенности. При этом неопределенность может быть обусловлена незнанием истинных значений отдельных параметров объекта управления и непредсказуемым изменением их во времени. Поэтому исключительно важную роль в теории управления динамическими объектами играет робастная устойчивость. В общей постановке робастная устойчивость состоит в указании ограничений на изменение параметров системы управления, при которых сохраняется устойчивость.

Проблеме установления робастной устойчивости систем управления посвящено большое число работ [1,2]. Настоящая статья посвящена построению робастной устойчивой системы управления для линейных объектов с m входами и единственным выходом с законом управления, заданным в форме трехпараметрических структурно-устойчивых отображений (катастрофа гиперболическая омбилика), придающими системе управления предельную робастную устойчивость по неопределенному параметру объекта и устройства управления.

Пусть стационарная система управления описывается уравнением состояния

$$\frac{dX}{dt} = AX + Bu, \quad x \in R^n, u \in R^1, \quad (1)$$

причем

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ b_n \end{vmatrix}, \quad X = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{vmatrix}, \quad (2)$$

Здесь A — матрица стационарного объекта управления размерности $n \times n$, B — вектор-столбец, из условия управляемости замкнутой системы следует, что номер нулевого элемента соответствует неуправляемой координате. Обычно в реальных системах трудно измерить точные значения производных выше второго порядка.

Закон управления $u(x)$ задается в форме трехпараметрических структурно-устойчивых отображений (катастрофа гиперболическая омбилика) [3,4]

$$u = -x_1^3 - x_2^3 - k_1' x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_1 x_1. \quad (3)$$

Тогда система (1) может быть записана в развернутом виде

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = -x_1^3 - x_2^3 - k_1' x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_1 x_1 + x_3; \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = -x_1^3 - x_2^3 - k_1' x_1 x_2 + k_2 x_2 + k_1 x_1 - a_n x_1 - a_{n-1} x_2 - \dots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n. \end{cases} \quad (4)$$

Рассматриваются установившиеся состояния системы

$$\begin{cases} x_{2S} = 0; \\ -x_{1S}^3 - x_{2S}^3 - k_1' x_{1S} x_{2S} + k_2 x_{2S} + k_1 x_{1S} + x_{3S} = 0; \\ \dots \\ -x_{1S}^3 - x_{2S}^3 - k_1' x_{1S} x_{2S} + (k_1 - a_n) x_1 + (k_2 - a_{n-1}) x_2 - \\ - a_{n-2} x_{3S} - \dots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Из системы алгебраических уравнений (5) получаются стационарные состояния

$$x_{1S}^1 = 0, \quad x_{2S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0. \quad (6)$$

Другие стационарные состояния системы (4) будут определяться решением уравнения

$$\begin{cases} x_{1S}^2 + k_1 = 0; \\ x_{1S}^2 + k_1 - a_n = 0; \\ x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

При отрицательном значении k_1 ($k_1 < 0$) и $k_1 - a_n$ ($k_1 - a_n < 0$) эти уравнения имеют мнимые решения, что не может соответствовать какой-либо физически возможной ситуации. При $k_1 > 0$ и $k_1 - a_n > 0$ уравнения (7) допускают следующие стационарные состояния

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1}, \quad x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0, \quad (8)$$

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1 - a_n}, \quad x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0. \quad (9)$$

Эти стационарные состояния (8) и (9) сливаются со стационарным состоянием (6) при значении параметра $k_1 = 0$ и $k_1 - a_n = 0$ и ответвляются от него при $k_1 > 0$ и $k_1 - a_n > 0$. Так как a_n всегда больше нуля ($a_n > 0$), то бифуркация в точке $k_1 - a_n = 0$ происходит раньше. Поэтому в дальнейшем можем рассматривать состояния (9).

Устойчивость стационарных состояний (6) может быть исследована на основе принципа устойчивости линеаризованной системы [5,6]:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = k_2 x_2 + k_1 x_1 + x_3; \\ \frac{dx_3}{dt} = k_2 x_2 + k_1 x_1 + x_4 \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = (k_1 - a_n) x_1 + (k_2 x_2 - a_{n-1}) x_2 - \dots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n. \end{cases} \quad (10)$$

Линеаризованную систему уравнений можно представить в виде одного уравнения n -го порядка

$$\begin{aligned} & \frac{d^n x}{dt^n} + (a_1 - k_2) \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + [a_2 - (a_1 + 1)k_1 - (a_1 + 1)k_2] \times \\ & \times \frac{d^{n-2} x}{dt^{n-2}} + [a_3 - (a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)k_2] \frac{d^{n-3} x}{dt^{n-3}} + \\ & + [a_4 - (a_2 + a_1 + 1)k_1 - (a_3 + a_2 + a_1 + 1)k_2] \frac{d^{n-4} x}{dt^{n-4}} + \\ & + \dots + [a_{n-2} - (a_{n-4} + a_{n-5} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ & - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_2] \frac{d^2 x}{dt^2} + \\ & + [a_{n-1} - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ & - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_2] \frac{dx}{dt} + \\ & + [a_n - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1] x = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где коэффициенты характеристического уравнения $\lambda^n + q_1 \lambda^{n-1} + q_2 \lambda^{n-2} + \dots + q_{n-1} \lambda + q_n = 0$ равны:

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 - k_2, \\ q_2 &= a_2 - (a_1 + 1)k_1 - (a_1 + 1)k_2, \\ q_3 &= a_3 - (a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)k_2, \\ q_4 &= a_4 - (a_2 + a_1 + 1)k_1 - (a_3 + a_2 + a_1 + 1)k_2, \\ &\dots \\ q_{n-2} &= a_{n-2} - (a_{n-4} + a_{n-5} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ &- (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_2, \\ q_{n-1} &= a_{n-1} - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ &- (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_2, \\ q_n &= a_n - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1. \end{aligned}$$

Для исследования устойчивости стационарного состояния (6) может быть использован критерий Гурвица.

$$G = \begin{vmatrix} q_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ q_3 & q_2 & q_1 & 1 & \dots & 0 \\ q_5 & q_4 & q_3 & q_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & q_n \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = q_1 = a_1 - k_2,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} q_1 & 1 \\ q_3 & q_2 \end{vmatrix} = q_1 q_2 - q_3 = (a_1 - k_2)[a_2 - (a_1 + 1)k_1 - (a_1 + 1)k_2] - [a_3 - (a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)k_2],$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} q_1 & 1 & 0 \\ q_3 & q_2 & q_1 \\ 0 & 0 & q_3 \end{vmatrix} = q_3(q_1 q_2 - q_3) = [a_1 q_2 - a_3 - (a_1 - k_2 + 1) \times \times (a_1 + 1)(k_1 + k_2)][a_3 - (a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)k_2],$$

$$\Delta_n = \Delta = \begin{vmatrix} q_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ q_3 & q_2 & q_1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & q_n \end{vmatrix} = q_n \Delta_{n-1}.$$

Как известно [6], на основании критерия Гурвица все корни характеристического уравнения линеаризованной системы (10) или (11) имеют отрицательные вещественные части в том и только в том случае, когда $\Delta_1 > 0$, $\Delta_2 > 0$, $\Delta_3 > 0$, ..., $\Delta_n > 0$.

Не трудно видеть, что эти неравенства могут быть удовлетворены при изменении неопределенных параметров a_1 , a_2 , ..., a_n в широких пределах, если устанавливаемые параметры регулятора k_1 и k_2 прежде всего выбираются в отрицательной области $k_1 < 0$ и $k_2 < 0$ для удовлетворения условий устойчивости стационарного состояния (6).

Используя метод математической индукции, нетрудно показать, основываясь на справедливости при $n = 1, 2, 3$. Предположим, что данное утверждение справедливо при $n - 1$ и проверим для системы порядка n . Значит, $\Delta_{n-1} > 0$ и это неравенство выполняется для устойчивости стационарного состояния (6) при $k_1 < 0$ и $k_2 < 0$. Тогда $\Delta = q_n \Delta_{n-1}$ и $\Delta_{n-1} > 0$, $q_n = a_n - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1$ и $\Delta_n > 0$ при $q_n > 0$, а коэффициент q_n принимает положительные значения при выборе k_1 в отрицательной области $k_1 < 0$.

Теперь можем определить условия устойчивости стационарных состояний (8), появляющихся при $k_1 > 0$.

Линеаризованная система вокруг стационарного состояния (8) имеет вид, если

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1}, \quad x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = -2k_1 x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}) x_2 + x_3; \\ \frac{dx_3}{dt} = -2k_1 x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}) x_4; \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = -(2k_1 - a_n) x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1} - a_{n-1}) x_2 - \\ - a_{n-2} x_3 - \dots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n. \end{cases} \quad (12)$$

Линеаризованную систему уравнений (12) можно представить в виде одного уравнения n -го порядка соответственно

$$\begin{aligned} & \frac{d^n x}{dt^n} + (a_1 \pm k_1' \sqrt{k_1} - k_2) \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + [a_2 + 2k_1 - (a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] \frac{d^{n-2} x}{dt^{n-2}} + [a_3 + 2(a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] \frac{d^{n-3} x}{dt^{n-3}} + [a_4 + 2(a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ & - (a_3 + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] \frac{d^{n-4} x}{dt^{n-4}} + \dots + [a_{n-2} + 2 \times \\ & \times (a_{n-4} + a_{n-5} + \dots + a_1 + 1)k_1 - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] \frac{d^2 x}{dt^2} + [a_{n-1} + 2(a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_1 + 1) \times \\ & \times k_1 - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] \frac{dx}{dt} + \\ & + [a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1] x = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Коэффициенты характеристического уравнения (13) соответственно равны:

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ q_2 &= a_2 + 2k_1 - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ q_3 &= a_3 + 2(a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ q_4 &= a_4 + 2(a_2 + a_1 + 1)k_1 - (a_3 + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ & \dots, \\ q_{n-2} &= a_{n-2} + 2(a_{n-4} + a_{n-5} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ & - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ q_{n-1} &= a_{n-1} + 2(a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1 - \\ & - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}), \\ q_n &= a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1, \end{aligned}$$

Теперь можно составить определители Гурвица при $k_1 > 0$ для стационарного состояния $x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1}$, $x_{2S} = 0$, $x_{3S} = 0$, ..., $x_{nS} = 0$.

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= q_1 = a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}) > 0, \\ \Delta_2 &= q_1 q_2 - q_3 = \left(a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}) \right) [a_2 + 2k_1 - (a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] - [a_3 + 2(a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] > 0, \\ \Delta_3 &= q_3 (q_1 q_2 - q_3) = [a_3 + 2(a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] * \\ & * \left[a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1}) \right] [a_2 + 2k_1 - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] - \\ & - [a_3 + 2(a_1 + 1)k_1 - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1})] > 0, \\ & \dots, \end{aligned}$$

$$\Delta_n = \Delta_{n-1} q_n = \Delta_{n-1} [a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)k_1] > 0.$$

Очевидно, что эти неравенства будут всегда удовлетворены соответственно при $k_1 > 0$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, ..., $a_n > 0$, если $k_2 - k_1' \sqrt{k_1} > 0$ и вторая группа неравенств будет всегда выполнена, если $k_2 + k_1' \sqrt{k_1} > 0$. Таким образом, убеждаемся, что стационарные состояния (8) также будут устойчивы при выполнении вышеприведенных условий. Это позволяет допустить в широких пределах изменения неопределенных параметров объекта управления.

Рассмотрим устойчивость стационарных состояний (9), появляющихся при $k_1 > 0$.

Линеаризованная система вокруг стационарного состояния (9) имеет вид, если

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1 - a_n}, \quad x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0.$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = 3a_n x_1 - 2k_1 x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) x_2 + x_3; \\ \frac{dx_3}{dt} = 3a_n x_1 - 2k_1 x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) x_2 + x_4; \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = 2(a_n - k_1) x_1 + (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n} - a_{n-1}) x_2 - \\ - a_{n-2} x_3 - \dots - a_2 x_{n-1} - a_1 x_n. \end{cases} \quad (14)$$

Линеаризованную систему уравнений (14) можно представить в виде одного уравнения n -го порядка соответственно

$$\begin{aligned} & \frac{d^n x}{dt^n} + (a_1 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n} - k_2) \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + [a_2 + 2(k_1 - a_n) - \\ & - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \frac{d^{n-2} x}{dt^{n-2}} + [a_3 + 2(a_1 + 1) \times \\ & \times (k_1 - a_n) - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \frac{d^{n-3} x}{dt^{n-3}} + \\ & + [a_4 + 2(a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n) - (a_3 + a_2 + a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \frac{d^{n-4} x}{dt^{n-4}} + \dots + [a_{n-2} + 2(a_{n-4} + \dots + a_1 + 1) \times \\ & \times (k_1 - a_n) - (a_{n-3} + \dots + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \frac{d^2 x}{dt^2} + \\ & + [a_{n-1} + 2(a_{n-3} + \dots + a_1 + 1)(k_1 - a_n) - (a_{n-2} + \dots + a_1 + 1) \times \\ & \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \frac{dx}{dt} + \\ & + [a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_1 + 1)(k_1 - a_n)] x = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Коэффициенты характеристического уравнения для уравнения (15) равны:

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}), \\ q_2 &= a_2 + 2(k_1 - a_n) - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}), \\ q_3 &= a_3 + 2(a_1 + 1)(k_1 - a_n) - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}), \end{aligned}$$

$$q_4 = a_4 + 2(a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n) - \\ - (a_3 + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}),$$

...

$$q_{n-2} = a_{n-2} + 2(a_{n-4} + a_{n-5} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n) - \\ - (a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}),$$

$$q_{n-1} = a_{n-1} + 2(a_{n-3} + a_{n-4} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n) - \\ - (a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}),$$

$$q_n = a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n).$$

Определители Гурвица при $k_1 - a_n > 0$, для определения условий устойчивости стационарного состояния

$$x_{1S}^{2,3} = \pm \sqrt{k_1 - a_n}, \quad x_{2S} = 0, \quad x_{3S} = 0, \quad \dots, \quad x_{nS} = 0,$$

$$\Delta_1 = q_1 = a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) > 0,$$

$$\Delta_2 = q_1 q_2 - q_3 = \left(a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) \right) \left[a_2 + 2 \times \right. \\ \times (k_1 - a_n) - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) \left. \right] - [a_3 + 2 \times \\ \times (a_1 + 1)(k_1 - a_n) - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] > 0,$$

$$\Delta_3 = q_3 (q_1 q_2 - q_3) = \left[a_3 + 2(a_1 + 1)(k_1 - a_n) - (a_2 + a_1 + 1) \times \right. \\ \times (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) \left. \right] \left\{ \left[a_1 - (k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) \right] \left[a_2 + 2 \times \right. \right. \\ \times (k_1 - a_n) - (a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n}) \left. \right] - [a_3 + 2(a_1 + 1) \times \\ \times (k_1 - a_n) - (a_2 + a_1 + 1)(k_2 \pm k_1' \sqrt{k_1 - a_n})] \left. \right\} > 0,$$

...

$$\Delta_n = \Delta_{n-1} q_n = \Delta_{n-1} \times \\ \times [a_n + 2(a_{n-2} + a_{n-3} + \dots + a_2 + a_1 + 1)(k_1 - a_n)] > 0.$$

Из этих неравенств становится очевидным, что стационарные состояния (9), появляющиеся при потере устойчивости стационарного состояния (6) при условии $k_1 - a_n > 0$ будут устойчивы при выполнении условий $k_2 \pm \sqrt{k_1 - a_n} < 0$, и позволят изменение неопределенных параметров объекта управления в широких пределах $a_1 > 0, a_2 > 0, \dots, a_n > 0$.

Таким образом, убеждаемся, что за счет выбора закона управления в форме трехпараметрических структурно-устойчивых отображений (катастрофа гиперболическая омбилика) система (1) становится робастно устойчивой в широких пределах изменения неопределенных параметров объекта и устанавливаемых параметров регулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siliak D.D. Parameter Space Method for Robust Control Design: A Guided Tour // IEEE Trans. On Automatic Control process control. 1989 / AC 34. №7. P. 674-688.
2. Kwakernaak H. Robust Control H-optimization. University, Twenty, 1992. 401 p.
3. Постон Г., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980. 607 с.
4. Томпсон Дж., Майкл Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
5. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир, 1990.
6. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / Под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение, Кн.1. 1967.

РЕЗЮМЕ

УДК 658.562. А.В. ШПАК. **Оценка качества использования аудиторного фонда вуза на основе нечеткого моделирования.**

Предлагается метод оценки качества использования аудиторного фонда, представляющий собой симбиоз методов обработки знаний и математических методов, основанный на нечетком моделировании.

УДК 22.21я73. А.М. НУГУМАН. **Основы качественного преподавания и его первоначальные условия.**

Рассматриваются основы качественного преподавания и его первоначальные условия.

УДК 378. Б.Б. УТЕГУЛОВ, В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН. **Требования к выпускнику вуза в эпоху внедрения новой техники и современных передовых технологий.**

Рассмотрены основные вопросы подготовки и формирования высококвалифицированных специалистов в вузе и на производстве в условиях внедрения новой техники и современных передовых технологий.

УДК 004:378.14. О.А. КАН, Б.М. САДАНОВА. **Способы формирования вопросов и ввода ответов в АОС.**

Рассмотрены способы формирования вопросов и ввода ответов, которые целесообразно использовать в автоматизированном обучении. Предложен способ программной реализации процедур формирования вопросов и проверки ответов. Представлены примеры программной реализации вопросов по системам счисления и логическим операциям.

УДК 621.3.083.92. Г.Д. КОГАЙ, А.М. НУРГУЖИНА, Э.Г. КЕСАРЕВА, Г.М. ЯВОРСКАЯ. **Средства и методы организации дистанционного обучения.**

Рассматриваются существующие средства и методы организации дистанционного обучения.

УДК 531.1. А.К. КОЖАХМЕТОВА, У.Л. УМБЕТАЛИЕВА. **Методика комбинированного применения аналитических и численных способов при выполнении расчетно-графических заданий по теоретической механике.**

Рассмотрены возможности аналитического и численного способов решения расчетно-графических заданий по теоретической механике. Показано, что аналитическое рассмотрение должно предшествовать численному интегрированию уравнения для правильного задания промежутка и шага интегрирования. Рассмотрен пример выполнения расчетно-графического задания, относящегося к кинематике плоского механизма с одной степенью свободы.

УДК 622.28. С.Н. БОЛОТКИН, А.Е. СУДАРИКОВ. **Расчет шахтных статических неопределимых крепей без использования методов сил или перемещений.**

Приводятся методы расчета шахтных статических неопределимых крепей без использования методов сил или перемещений.

УДК 548.736.5. М.П. ПУЗЕЕВА, В.С. ПОРТНОВ, В.М. ЮРОВ. **Влияние давления и температуры на удельное сопротивление осадочных горных**

костей. **ӨОЖ 658.562. А.В. ШПАК. Анық емес модельдеу негізінде ЖОО аудиторлық қорын пайдалану сапасын бағалау.**

Білімді өлшеу әдістері мен анық емес модельдеуге негізделген математикалық әдістердің симбиозын білдіретін, аудиторлық қорды пайдалану сапасын бағалау әдісі ұсынылады.

ӨОЖ 22.21я73. А.М. НҰҒЫМАН. **Сапалы оқыту негіздері және оның бастапқы шарттары.**

Сапалы оқыту негіздері және оның бастапқы шарттары қарастырылады.

ӨОЖ 378. Б.Б. ӨТЕҒҰЛОВ, В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН. **Жаңа техниканы және қазіргі озық технологияларды ендіру дәуірінде ЖОО түлегіне қойылатын талаптар.**

Жаңа техниканы және қазіргі озық технологияларды ендіру жағдайларында ЖОО-да және өндірісте жоғары білікті мамандарды даярлау мен қалыптастырудың негізгі мәселелері қарастырылған.

ӨОЖ 004:378.14. О.А. КАН, Б.М. САДАНОВА. **Сұрақтарды құру және жауаптарды АОЖ-ға енгізу тәсілдері.**

Автоматтандырылған оқытуда пайдалану мақсатқа сәйкес болатын сұрақтарды құру мен жауаптарды енгізу тәсілдері қарастырылған. Сұрақтарды құру және жауаптарды тексеру процедураларын программалық іске асыру тәсілі ұсынылған. Санау және логикалық операциялар жүйелері бойынша мәселелерді программалық іске асыру мысалдары ұсынылған.

ӨОЖ 621.3.083.92. Г.Д. КОГАЙ, Ә.М. НҰРГУЖИНА, Э.Г. КЕСАРЕВА, Г.М. ЯВОРСКАЯ. **Аралық оқытуды ұйымдастыру құралдары мен әдістері.**

Аралық оқытудың қолданылып жүрген құралдары мен әдістері қарастырылады.

ӨОЖ 531.1. А.Қ. ҚОЖАХМЕТОВА, Ұ.Л. УМБЕТАЛИЕВА. **Теориялық механика бойынша есептік-графикалық тапсырмаларды орындау кезінде аналитикалық және сандық тәсілдерді аралас қолдану әдістемесі.**

Теориялық механика бойынша есептік-графикалық тапсырмаларды шешудің аналитикалық және сандық тәсілдерінің мүмкіндіктері қарастырылған. Аналитикалық қарастырудың интегралдау аралығы мен қадамын дұрыс беруге арналған теңдеуді сандық интегралдаудың алдында болу керектігі көрсетілген. Бір еркіндік дәрежесі бар жазық механизм кинематикасына жататын, есептік-графикалық тапсырманы орындау мысалы қарастырылған.

ӨОЖ 622.28. С.Н. БОЛОТКИН, А.Е. СУДАРИКОВ. **Күштер әдістерін немесе орын ауыстыруды пайдаланбай, шахталық статикалық анықталмаған бекітпелерді есептеу.**

Күштер әдістерін немесе орын ауыстыруды пайдаланбай, шахталық статикалық анықталмаған бекітпелерді есептеу әдістері келтірілген.

ӨОЖ 548.736.5. М.П. ПУЗЕЕВА, В.С. ПОРТНОВ, В.М. ЮРОВ. **Қысым мен температураның шөгінді тау жыныстарының меншікті кедергісіне әсері.**

UDC 658.562. A.V. SHPAK. **Estimating Quality of Using Reserve of Lecture-Halls of KarSTU on Basis of Indistinct Simulation.**

The method of estimating the quality of using the reserve of lecture-halls is suggested which represents the symbiosis of methods for processing knowledge and mathematical methods based on the indistinct simulation.

UDC 22.21я73. A.M. NUGUMAN. **Principles of Qualitative Teaching and its Initial Conditions.**

The principles of qualitative teaching and its initial conditions are considered.

UDC 378. B.B. UTEGULOV, V.F. GOVORUN, O.V. GOVORUN. **Demands upon Graduates in Period of Introducing New Machinery and Modern Advanced Technologies.**

The main problems of training and forming highly qualified specialists at a higher educational establishment and in industry under the conditions of introducing new machinery and modern advanced technologies have been considered.

UDC 004:378.14. O.A. KAN, B.M. SADANOVA. **Methods of Forming Questions and Input of Answers in CAES.**

The methods of forming questions and the input of answers which are sensible to be used in the computer-aided teaching have been considered. The method of program realizing the procedures of forming questions and checking up answers has been suggested. Examples of the program realizing questions on numbering systems and logical operations have been presented.

UDC 621.3.083.92. G.D. KOGAY, A.M. NURGUZHINA, E.G. KESAREVA, G.M. YAVORSKAYA. **Means and Methods of Organizing Distance Education.**

Existing means and methods of organizing the distance education are considered.

UDC 531.1. A.K. KOZHAKHMETOVA, U.L. UMBETALIYEVA. **Methods of Combined Application of Analytical and Numerical Ways of Fulfilling Calculation-and-Graphic Specifications in Theoretical Mechanics.**

The possibilities of analytical and numerical ways of solving calculation-and-graphic specifications in theoretical mechanics have been considered. It has been shown that the analytical consideration should precede the numerical integration of an equation to assign correctly the interval of integration and the integration step. An example of fulfilling a calculation-and-graphic specification referred to kinematics of a flat mechanism having one degree of freedom has been considered.

UDC 622.28. S.N. BOLOTKIN, A.Ye. SUDARIKOV. **Calculating Statistically Indefinable Mine Supports without Using Work Method or Method of Displacement.**

Methods of calculating statistically indefinable mine supports without using the work method or the method of displacement are given.

UDC 548.736.5. M.P. PUZEYeva, V.S. PORTNOV, V.M. YUROV. **Pressure and Temperature Influence on Specific Resistance of Sedimentary Rocks.**

пород.

Предложен термодинамический подход для описания электропроводности горных пород и минералов. Полученные формулы неплохо описывают экспериментальные данные и могут быть использованы при анализе результатов электроразведки.

УДК 911.52. А.В. ЕГОРИНА. **Высотная поясность Юго-Западного Алтая и особенности структуры барьерных ландшафтов.**

Представлен спектр высотных поясов Юго-Западного Алтая. Выделена и обоснована структура барьерных ландшафтов природных комплексов регионального ранга. Рассмотрена специфика почвенного и растительного покрова в пределах вертикальных поясов.

УДК 622.1:622.271. С.Б. ОЖИГИНА, В.Н. ДОЛГОНОСОВ, С.Г. ОЖИГИН. **Исследование закона распределения коэффициента запаса устойчивости.**

На основе статистической обработки результатов исследования прочностных характеристик горных пород и расчетов коэффициента запаса устойчивости для предельного откоса с различными комбинациями коэффициента сцепления k и угла внутреннего трения tgr выполнено исследование закона распределения коэффициента запаса устойчивости, позволяющее сделать вывод: коэффициент запаса устойчивости, представляющий линейную композицию нормально распределенных случайных величин (параметров k и tgr), имеет γ -распределение.

УДК 622.831:539.3. Б.Ж. ХАМИМОЛДА, М.С. ТУТАНОВ, М.С. ТУТАНОВА. **Исследование устойчивости бортов карьеров с учетом их напряженно-деформированного состояния.**

Рассматриваются исследования устойчивости бортов карьеров с учетом их напряженно-деформированного состояния. Получена многофакторная математическая модель устойчивости бортов карьера от горно-геологических факторов.

УДК 622.002.2:624.131. А.И. БАРУЛИН, З.Р. РАХИМОВ. **Оценка устойчивости откосов слабых горных пород методом конечных элементов.**

Предложен способ оценки устойчивости откосов глинистых пород на основе метода конечных элементов. Способ учитывает нелинейность паспортов прочностных глинистых пород.

УДК 621.436. А.А. ЗЕЙНУЛЛИН, А.Г. ЖАКЕНОВ, Г.И. ЖУКОВ. **Нейтрализация отработавших газов дизелей.**

Изложены основные способы обезвреживания отработавших газов дизелей подземного самоходного оборудования с приводом от двигателей внутреннего сгорания.

УДК 553.3/9. З.А. БЕКМУХАМЕТОВА. **Особенности формирования и рудогенеза офиолитовых плутонов кемпирсайского комплекса и их перспективы на промышленные руды хромитов, титаномагнетитов и платиноидов.**

Предложены и обоснованы новые рудопетрологические модели сферического расслоения магмы при формировании автохтонных плутонов кемпирсайского комплекса Мугоджар и метаморфогенного рудогенеза платиноносных хромитовых руд.

УДК 622.807:622.7(574.3). Н.Р. ЖОЛМАГАМБЕТОВ. **Судание пыли, осевшей в трубопроводе**

Тау жыныстары мен минералдардың электр өткізгіштігін сипаттау үшін термодинамикалық амал ұсынылған. Алынған формулалар эксперименттік деректерді жақсы сипаттайды және электрлік барлау нәтижелерін талдау кезінде пайдаланылуы мүмкін.

ӨЖ 911.52. А.В. ЕГОРИНА. **Оңтүстік-Батыс Алтайдың биіктік белдеулігі және тосқауылдық ландшафттар құрылымының ерекшеліктері.**

Оңтүстік-Батыс Алтайдың биіктік белдеулерінің спектрі ұсынылған. Аймақтық рангты табиғи кешендердің тосқауылдық ландшафттарының құрылымы ерекшеленген және негізделген. Топырақ және өсімдік жамылғысының тік белдеулер шегіндегі өзгешелігі қарастырылған.

ӨЖ 622.1:622.271. С.Б. ОЖИГИНА, В.Н. ДОЛГОНОСОВ, С.Г. ОЖИГИН. **Орнықтылық қоры коэффициентін үлестіру заңын зерттеу.**

Тау жыныстарының беріктік сипаттамаларын зерттеу нәтижелерін статистикалық өңдеу және k ілінісу коэффициентінің және tgr ішкі үйкелу бұрышының әртүрлі комбинациялары бар шектеулі қиябеті үшін орнықтылық қорының коэффициентін есептеу негізінде орнықтылық қорының коэффициентін үлестіру заңын зерттеу орындалған, ол мынадай тұжырым жасауға мүмкіндік береді: қалыптасу үлестірілген кездейсоқ шамалардың (k және tgr параметрлерінің) сызықтық композициясын білдіретін, орнықтылық қоры коэффициентінің γ -үлестіруі бар.

ӨЖ 622.831:539.3. Б.Ж. ХАМИМОЛДА, М.С. ТУТАНОВ, М.С. ТУТАНОВА. **Карьерлер беткейлерінің кернеулі-деформацияланған күйін есепке алып, олардың орнықтылығын зерттеу.**

Карьерлер беткейлерінің кернеулі-деформацияланған күйін есепке алып, олардың орнықтылығын зерттеу қарастырылады. Карьер беткейлерінің кен-геологиялық факторлардан орнықтылығының көп факторлы математикалық моделі алынған.

ӨЖ 622.002.2:624.131. А.И. БАРУЛИН, З.Р. РАХИМОВ. **Шеткі элементтер негізінде әлсіз тау жыныстары қиябеттерінің орнықтылығын бағалау.**

Шеткі элементтер әдісі негізінде балшықты жыныстар қиябеттерінің орнықтылығын бағалау тәсілі ұсынылған. Тәсіл балшықты жыныстардың беріктігі тәжірибелік жолмен алынған.

ӨЖ 621.436. А.А. ЗЕЙНУЛЛИН, А.Г. ЖӘКЕНОВ, Г.И. ЖУКОВ. **Дизельдердің пайдаланылған газдарын бейтараптандыру.**

Жер астында өзінің жүретін жетегі бар жабдықтар дизельдерінің пайдаланылған газдарын іштен жанатын қозғалтқыштардан зарарсыздандырудың негізгі тәсілдері баяндалған.

ӨЖ 553.3/9. З.А. БЕКМУХАМЕТОВА. **Кемпірсай кешенінің офиолитті плутондары қалыптасуының және рудогенезінің ерекшеліктері және олардың хромиттердің, титанды магнетиттер мен платиноидтардың өнеркәсіптік рудаларына перспективалары.**

Мұғалжардың Кемпірсай кешенінің автохтонды плутондарын және платиналы хромитті рудалардың метаморфогенді рудогенезін қалыптастыру кезінде магманың сфералық қабатталуының жаңа рудалық-петрологиялық модельдері ұсынылған және негізделген.

УДК 622.807:622.7(574.3). Н.Р. ЖОЛМАГАМБЕТОВ. **Аспирациялық жүйенің құбырында тұнып қалған шаңды сығылған**

A thermodynamic approach has been suggested to describe the electric conduction of rocks and minerals. The formulae obtained describe the experimental data quite well and can be used for analyzing the results of geophysical prospecting by electric means.

UDC 911.52. A.V. YEGORINA. **High-Altitude Zones of South – West Altay and Peculiarities of Barrier Landscapes Structure.**

The spectrum of high – altitude zones of the South – West Altay has been given. The structure of barrier landscapes of natural complexes of the regional rank has been picked out and substantiated. The specific features of the soil and plant cover have been considered within vertical zones.

UDC 622.1:622.271. S.B. OZHIGINA, V.N. DOLGONOSOV, S.G. OZHIGIN. **Investigating Distribution Law of Stability Margin Coefficient.**

On the basis of the statistic processing of the results of investigating rock strength characteristics and the calculation of the stability margin coefficient for a limit slope with various combinations of the engagement coefficient K and the internal friction angle $tg\,p$ investigating the distribution law of the stability margin coefficient has been carried out which allowed to come to the following conclusion: the stability margin coefficient representing a linear composition of normally distributed random quantities (the parameters K and $tg\,p$) has a γ -distribution.

UDC 622.831:539.3. B.Zh. KHAMIMOLDA, M.S. TUTANOV, M.S. TUTANOVA. **Investigating Pit-Edges Stability Taking into Account their Stressed-Strained State.**

Investigations of the pit-edges stability taking into account their stressed-strained state are considered. A multifactor mathematical model of the pit-edges stability depending on mining geological factors has been obtained.

UDC 622.002.2:624.131. A.I. BARULYN, Z.R. RAKHIMOV. **Estimating Stability of Loose Rocks Slopes with Finite Element Method.**

The method of estimating the stability of clay rocks slopes on the basis of the finite element method has been suggested. The method takes into account the non-linearity of charts of strength of clay rocks.

UDC 621.436. A.A. ZEYNULLIN, A.G. ZHAKENOV, G.I. ZHUKOV. **Neutralizing Exhaust Gases of Diesel Engines.**

The main ways of rendering harmless exhaust gases of Diesel engines of the underground self-propelled equipment having a drive from internal combustion engines have been stated.

UDC 553.3/9. Z.A. BEKMUHAMETOVA. **Peculiarities of Formation and Ore Genesis of Ophiolite Plutonites of Kempersaisky Complex and their Prospects for Commercial Ores of Chromites, Titanium Magnetites and Platinoids.**

New ore petrologic models of the spherical magma separation in forming autochthonal plutonites of the kempersaisky complex Mugodzhar and the metamorphogenous ore genesis of platinum-bearing chromate ores have been suggested and substantiated.

UDC 622.807:622.7(574.3). N.R. ZHOLMAGAMBETOV. **Blowing Away Dust Depositing in Aspiration System Pipeline**

аспирационной системы, с помощью сжатого воздуха.

Даны результаты эксперимента, проведенного для рассмотрения путей улучшения работы системы сдувания пыли, накопившейся в трубопроводе аспирационной системы, посредством дополнительного сжатого воздуха.

УДК 658.652.002. В.Ф. ДЕМИН, Н.Н. ТУЛЕПОВ, В.В. ДЕМИН. **Обоснование эффективного способа охраны выемочных выработок при отработке маломощных пластов.**

Сравнение технико-экономических показателей различных способов возведения околостврековых охранных сооружений показало, что бутовые полосы экономичнее других способов и обладают большей технологичностью с механизацией процессов их возведения.

УДК 539.3. А.Т. КАСИМОВ. **Уточненные теории расчета многослойных конструкций.**

Дан краткий обзор основных теорий и методов расчета многослойных конструкций. Рассмотрено построение различных уточненных моделей пластин и оболочек.

УДК 622.232.8. Т.У. САРСЕМБАЕВ, Ж.А. КОНИРОВА. **Установление рациональных параметров гравитационного способа транспортирования.**

Как показали результаты испытаний предложенных устройств, достигается равномерный характер движения потока сыпучих материалов, то есть скорость в любой точке не превышает определенной величины.

УДК 621.01.531.4. Ж.Б. БАКИРОВ, Г.Д. ТАЖЕНОВА. **Динамика привода с упругой муфтой.**

Рассматривается влияние упругой муфты на работу привода. Проведено исследование одномассовой жесткой модели.

УДК 621.833.6.001.24. Т.С. ФИЛИПОВА, П.П. ПАЛЕВ. **Определение погрешности передаточного отношения передач, содержащих планетарные механизмы.** На основании положений теории чисел более точно определяется погрешность передаточного отношения планетарных механизмов.

УДК 669.036.011. И.К. ИБРАЕВ. **Разработка состава стали для глубокой вытяжки.**

Приведены результаты исследований по разработке технологии и состава низкоуглеродистой стали для производства тонколистового холоднокатаного проката, обладающего высокими технологическими, эксплуатационными и нестареющими свойствами. Показано, что наиболее полно нестареющие свойства достигаются при легировании металла несколькими нитридообразующими элементами, такими как алюминий, ванадий, титан, германий, при определенном соотношении их в стали.

УДК 621.9. Р.М. МУХАМАДЕЕВА. **Особенности финишной обработки отверстий.**

Кратко изложены проблемы чистой обработки отверстий и представлен комбинированный осевой инструмент, обеспечивающий получение поверхности с необходимыми эксплуатационными характеристиками.

УДК 621.81. Х.Г. АКАНОВ. **К оптимизации конструкций зубчатых редукторов.**

Рассматриваются вопросы оптимизации

ауаның көмегімен үрлеу.

Аспирациялық жүйенің құбырында тұнып қалған шаңды қосымша сығылған ауаның көмегімен үрлеу жүйесінің жұмысын жақсарту жолдарын қарастыру үшін жүргізілген эксперименттің нәтижелері берілген.

ӘОЖ 658.652.002. В.Ф. ДЕМИН, Н.Н. ТУЛЕПОВ, В.В. ДЕМИН. **Қуаты аз қабаттарды қазып алау кезінде алынатын қазбаларды қорғаудың тиімді тәсілдерін негіздеу.**

Штрек албарында қорғау ғимараттарын тұрғызудың әр түрлі тәсілдерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін салыстыру, бұт жолақтарының басқа тәсілдерден үнемдірек екендігін және оларды тұрғызу процестерін механикаландыру арқылы үлкен технологиялықты иеленетінін көрсетті.

ӘОЖ 593.3. А.Т. ҚАСЫМОВ. **Көп қабатты конструкцияларды есептеудің нақтыланған теориялары.**

Көп қабатты конструкцияларды есептеудің негізгі теориялары мен әдістеріне қысқаша шолу берілген. Тілімшелер мен қабықшалардың әр түрлі нақтыланған модельдерін салу қарастырылған.

ӘОЖ 622.232.8. Т.У. САРСЕМБАЕВ, Ж.Ә. ҚОНИРОВА. **Тасымалдаудың гравитациялық тәсілінің ұтымды параметрлерін анықтау.**

Ұсынылған құрылғыларды сынау нәтижелері көрсеткендей, сусымалы материалдар ағыны қозғалысының бірқалыпты сипатына қол жеткізіледі, яғни кез-келген нүктедегі жылдамдық белгілі шамадан аспайды.

ӘОЖ 621.01.531.4. Ж.Б. БАКИРОВ, Г.Д. ТАЖЕНОВА. **Серпінді муфталы жетектің динамикасы.**

Серпінді муфтань жетектің жұмысына әсері қарастырылады. Бір массалы қатты модельді зерттеу жүргізілді.

ӘОЖ 621.833.6.001.24. Т.С. ФИЛИПОВА, П.П. ПАЛЕВ. **Планетарлық механизмдері бар берілістердің берілістік қатынасының қателігін анықтау.**

Сандар теориясы ережелерінің негізінде планетарлық механизмдердің берілістік қатынасының қателігі аса дәл анықталады.

ӘОЖ 669.036.011. И.К. ИБРАЕВ. **Терең кермелеу үшін болаттың құрамын әзірлеу.**

Жоғары технологиялық, пайдаланушылық және ескірмейтін қасиеттері бар жұқа қаңылтырлы суық илемделген илемді өндіру үшін технологияны және төмен көміртегілі болаттың құрамын әзірлеу бойынша зерттеулер нәтижелері келтірілген. Металды алюминий, ванадий, титан, германий сияқты бірнеше нитрид құраушы элементтермен қоспалаған кезде, олардың болаттағы белгілі қатынасы болғанда, аса толық ескірмейтін қасиеттерге қол жеткізілетіні көрсетілген.

ӘОЖ 621.9. Р.М. МУХАМАДЕЕВА. **Саңылауларды мәрелік өңдеу ерекшеліктері.**

Саңылауларды таза өңдеу проблемалары қысқаша баяндалған және қажетті пайдалану сипаттамалары бар беттің алынуын қамтамасыз ететін, аралас осьтік сайман ұсынылған.

ӘОЖ 621.81. Х.Г. АКАНОВ. **Тісті редукторлар конструкцияларын оңтайландыруға.**

Редуктордың едәуір динамикалық жүктеме-

Using Compressed Air.

The results of the experiment carried out for considering the ways of improving the operation of the system blowing away the dust accumulated in the aspiration system pipeline using the additional compressed air have been given.

UDC 658.652.002. V.F. DYEMIN, N.N. TULEPOV, V.V. DYEMIN. **Substantiating Effective Ways of Protecting Excavating Openings in Developing Thin Layers.**

Comparing the technical-and-economic indices of different ways of constructing by-heading protecting structures have showed that rubblestone strips are more economical than other ways and possess greater adaptability to mechanizing processes of their construction.

UDC 539.3. A.T. KASIMOV. **Ascertained Theories of Calculating Multilayered Structures.**

A review of main theories and methods of calculating multilayered structures has been given. Constructing various ascertained models of plates and shells has been considered.

UDC 622.232.8. T.U. SARSEMBAYEV, Zh.A. KONIROVA. **Establishing Rational Parameters of Gravitation Way of Transporting.**

As the results of testing the devices suggested have shown, a uniform character of moving a loose materials flow is reached, that is the speed at any point doesn't exceed a certain value.

UDC 621.01.531.4. Zh.B. BAKIROV, G.D. TAZHENOVA. **Dynamics of Drive Having Elastic Coupling.**

The influence of an elastic coupling on the drive operation is considered. The investigation of a single-mass stiff model has been given.

UDC 621.833.6.001.24. T.S. FILIPPOVA, P.P. PALEV. **Determining Error of Transmission Ratio of Gears Containing Planetary Trains.**

The error of the transmission ratio of planetary trains is determined more accurately on the basis of the number theory statements.

UDC 669.036.011. I.K. IBRAYEV. **Developing Composition of Steel for Deep Drawing.**

The results of investigations in developing the technology and the composition of low-carbon steel to produce cold-rolled sheets possessing high technological, service and non-aging properties have been given. It has been shown that the non-aging properties are reached more completely when a metal is alloyed with some nitrides-forming elements such as aluminum, vanadium, titanium, germanium, at their certain relation in steel.

UDC 621.9. R.M. MUKHAMADEYEVA. **Peculiarities of Finishing Treatment of Holes.**

The problems of finishing treatment of holes have been stated, and a combined axle tool has been represented which provides obtaining surfaces having the necessary service characteristics.

UDC 621.81. Kh.G. AKANOV. **To Optimizing Reductions Gears Design.**

The problems of optimizing the design of

конструкций зубчатых редукторов, обеспечивающих целесообразную соразмерность редуктора с элементами привода горно-транспортных машин, испытывающих значительные динамические нагрузки.

УДК 62-192. М.С. МУЗДЫБАЕВ. **Блочно-модульный принцип конструирования и компоновки агрегатов машин.**

На основе выполненных ранее исследований рассмотрены вопросы оценки долговечности и безотказности деталей и их влияния на уровень надежности и узлов машин. Особый интерес представляет рациональный подход обеспечения высокой надежности на основе блочно-модульного типа конструкции машин.

УДК 536.37:629.7.023. В.Н. СОКОТУЩЕНКО, Д.И. ТАЛАЛАЕВ, А.В. ЧИКУЛАЕВ. **Влияние температуры на образование пластической зоны в окрестности глухих отверстий при обработке лучом лазера.**

Исследован процесс воздействия луча лазера на преграды. Представлены зависимости температуры от времени при различных координатах границы фаз пластичности и упругости, а также зависимости температуры от характерного радиуса движения границы фаз при различных моментах времени.

УДК 378.012.004.12. Г.С. ЖЕТЕСОВА, Ж.Т. САРТАБАЕВ. **Достоинства и недостатки при внедрении стандартов серии MS ISO 9000:2000.**

Рассматривается ряд причин неэффективного внедрения стандартов серии MS ISO 9000 при разработке и внедрении систем менеджмента качества на предприятиях промышленной и непромышленной сферы.

УДК 62-831:621.314.6. Н.В. МАКАРЕНКО. **Границы устойчивости электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности.**

Приведены результаты исследований по определению границ устойчивости электропривода постоянного тока при электроснабжении от источника соизмеримой мощности.

УДК 621.34:62.505:669.046.4. И.В. БРЕЙДО, Г.А. СИВЯКОВА. **Структурная оптимизация электроприводов камер башенной печи агрегата непрерывного отжига.**

Рассматриваются способы структурной оптимизации электроприводов камер башенной печи агрегата непрерывного отжига с целью улучшения динамических свойств полосы.

УДК 681.511.2. Л.А. АВДЕЕВ, В.Н. ШАТОХИН, С.А. БРАТЦЕВ. **К вопросу автоматического распознавания предаварийных ситуаций.**

Приведено описание возможных

легких ушибов, тау-кен-тасымал машиналары жетегінің элементтерімен мақсатқа сәйкес шамаластығын қамтамасыз ететін, тісті редукторлар конструкцияларын оңтайландыру мәселелері қарастырылады.

ӨЖ 62-192. М.С. МУЗДЫБАЕВ. **Машиналар агрегаттарын конструкциялау мен құрастырудың блокты-модульдық принципі.**

Бұрын орындалған зерттеулер негізінде тетіктердің ұзақ мерзімділігін және істен шықпаушылығын бағалау мәселелері және олардың машиналар тораптарының сенімділігі деңгейіне әсері қарастырылған. Машиналар конструкциясының блокты-модульдық типі негізінде жоғары сенімділікті қамтамасыз етудің ұтымды амалы ерекше қызығушылық тудырады.

ӨЖ 536.37:629.7.023. В.Н. СОКОТУЩЕНКО, Д.И. ТАЛАЛАЕВ, А.В. ЧИКУЛАЕВ. **Лазер сәулесімен өңдеген кезде бітеу саңылаулар төңірегінде пластикалық аймақтың құрылуына температураның әсері.**

Лазер сәулесінің бебеттерге ықпал ету процесі зерттелген. Икемділік пен серпімділік фазалары шекарасының әртүрлі координаталарында температураның уақытқа тәуелділіктері, сондай-ақ температураның әртүрлі уақыт моменттерінде фазалар шекарасының қозғалу радиусына тәуелділіктері берілген.

ӨЖ 378.012.004.12. Г.С. ЖЕТЕСОВА, Ж.Т. САРТАБАЕВ. **9000:2000 ИСО ХС сериялы стандарттарды ендіру кезіндегі жетістіктер мен кемшіліктер.**

Өнеркәсіптік және өнеркәсіптік емес сфера кәсіпорындарында сапа менеджменті жүйелерін әзірлеу және ендіру кезінде 9000 ИСО ХС сериялы стандарттардың тиімсіз ендірілуінің бірқатар себептері қарастырылады.

ӨЖ 62-831:621.314.6. Н.В. МАКАРЕНКО. **Өлшемдес қуат көзінен электрмен қамту кезінде тұрақты тоқты электр жетегі тұрақтылығының шекаралары.**

Өлшемдес қуат көзінен электрмен қамту кезінде тұрақты тоқты электр жетегі тұрақтылығының шекараларын анықтау бойынша зерттеулер нәтижелері келтірілген.

ӨЖ 621.34:62.505:669.046.4. И.В. БРЕЙДО, Г.А. СИВЯКОВА. **Үздіксіз жасыту агрегаттарының мұнаралық пеші камераларының электр жетектерін құрылымдық оңтайландыру.**

Жолақтың динамикалық қасиеттерін жақсарту мақсатында үздіксіз жасыту агрегаттарының мұнаралық пеші камераларының электр жетектерін құрылымдық оңтайландыру тәсілдері қарастырылады.

ӨЖ 62-83:001.891.57. Г.А. ЭМ. **Төрт квадрантты тиристорлық электр жетегін зерттеуге арналған эксперименттік стенд.**

«Тиристорлық түрлендіргіш-қозғалтқыш» (ТТ-Қ) жүйесінің реттелетін төрт квадрантты электр жетегі жұмысының генераторлық режимдерін зерттеуге арналған эксперименттік стендке қойылатын негізгі талаптар қарастырылған және оның функционалды сұлбасы ұсынылған. Matlab 6.5 – Simulink ортасында орындалған, эксперименттік стендтің имитациялық моделі сипатталған.

ӨЖ 681.511.2. Л.А. АВДЕЕВ, В.Н. ШАТОХИН, С.А. БРАТЦЕВ. **Апат алдындағы жағдайларды автоматтық тану мәселесіне.**

Көмір шахталарындағы апат алдында мүмкін болатын жағдайларды сипаттау келтірілген.

reduction gears providing a sensible proportionality of a reduction gear to the elements of the drive of mining transport machines experiencing considerable dynamic loads are considered.

UDC 62-192. M.S. MUZDIBAYEV. **Block-and-Module Principle of Designing and Arranging Machine Units.**

The problems of estimating the longevity and the no-failure operation of parts and their effect on the level of machine units reliability have been considered on the basis of the investigations carried out earlier. A rational approach of providing a high reliability on the basis of a block-and-module type of a machine design represents a special interest.

UDC 536.37:629.7.023. V.N. SOKOTUSHCHENKO, D.I. TALALAYEV, A.V. CHIKULAYEV. **Influence of Temperature on Forming Plastic Zones in Neighborhood of Blind Holes in Treating by Laser Beam.**

The process of effecting a laser beam on obstacles has been investigated. The temperature dependences on time at different coordinates of the boundary of the phases of plasticity and elasticity, as well as the temperature dependences on the character of the radius of the phases boundaries movement at various moments of time have been presented.

UDC 378.012.004.12. G.S. ZHETESOVA, Zh.T. SARTABAYEV. **Advantages and Disadvantages of Introducing Standards of Series MS ISO 9000:2000.**

A number of reasons of the introduction of the standards of the series MS ISO 9000 in developing and introducing quality management systems at enterprises of industrial and non-industrial spheres are considered.

UDC 62-831:621.314.6. N.V. MAKARENKO. **Electric Drive Stability Boundaries in Electric-Power Supply from Source of Comparable Power.**

The results of investigations on determining d.c. electric drive stability boundaries in electric-power supply from a source of comparable power have been given.

UDC 621.34:62.505:669.046.4. I.V. BREYDO, G.A. SIVYAKOVA. **Structural Optimization of Electric Drives of Tower-Furnace Chambers of Continuous Annealing Unit.**

Ways of the structural optimization of electric drives of tower-furnace chambers of a continuous annealing unit with the aim of improving the dynamic properties of a sheet are considered.

UDC 62-83:001.891.57. G.A. AM. **Experimental Stand for Investigating Four-Vane Hydraulic-Motor Thyristor Drive.**

The main requirements to an experimental stand to investigate generator modes of operation of a controlled four-vane hydraulic-motor drive system "thyristor converter – motor" (TC – M) have been considered, and its functional scheme has been suggested. A simulation model of the experimental stand carried out in the medium MatLab 6.5 – Simulink has been described.

UDC 681.511.2. L.A. AVDEYEV, V.N. SHATOKHIN, S.A. BRATTSEV. **To Problem of Automatic Recognition of Preaccident Conditions.**

The description of possible preaccident

предаварийных ситуаций на угольных шахтах. Предлагается методика определения выхода объекта контроля в предаварийное состояние.

УДК 621.313. М.А. МУСТАФИН. **Математическая модель и программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода центробежных механизмов.**

Представлены математическая модель и программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода центробежных механизмов.

УДК 681.511.3. М.А. БЕЙСЕНБИ, Б.А. ЕРЖАНОВ, С.М. САБИТОВА. **Построение системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для объектов с m входами и с одним выходом.**

Рассмотрено построение робастной устойчивой системы управления для линейных объектов с законом управления, заданного в форме трехпараметрических структурно-устойчивых отбражений из теории катастроф, придающих системе управления предельную робастную устойчивость по неопределенному параметру объекта и устойчива в управлении.

Бақылау объектісінің апат алдындағы жағдайға шығуын анықтау әдістемесі ұсынылды.

ӘОЖ 621.313. М.А. МҰСТАФИН. **Центрден тепкіш механизмдердің асинхронды электр жетегінің ауыспалы процестерін есептеудің математикалық моделі мен программасы.**

Центрден тепкіш механизмдердің асинхронды электр жетегінің ауыспалы процестерін есептеудің математикалық моделі мен программасы ұсынылған.

ӘОЖ 681.511.3. М.А. БЕЙСЕНБИ, Б.А. ЕРЖАНОВ, С.М. САБИТОВА. **m кірістері мен бір шығысы бар объектілері үшін робастылық тұрақтылықты жоғары потенциалды басқару жүйесін құру.**

Басқару объектісі мен құрылғысының белгісіз параметрі бойынша басқару жүйесіне шектеулі робастылық тұрақтылықты беретін алапаттар теориясынан үш параметрлік құрылымдық-тұрақты кескіндер түрінде берілген, басқару заңы бар сызықтық объектілер үшін басқарудың робастылық тұрақты жүйесін құру қарастырылған.

conditions in coal mines has been given. The methods of determining the controlled object going into a preaccident condition is suggested.

UDC 621.313. M.A. MUSTAFIN. **Mathematical Model and Programme of Calculating Transient Processes of Nonsynchronous Electric Drive of Centrifugal Mechanisms.**

The mathematical model and the programme of calculating transient processes of a nonsynchronous electric drive of centrifugal mechanisms have been given.

UDC 681.511.3. M.A. BEYSENBY, B.A. YERZHANOV, S.M. SABITOVA. **Constructing Control System Having Increased Potential of Robust Stability for Objects Having m Inputs and One Output.**

Constructing a robust stable control system for linear objects of the law of control given in the form of three – parameter structure – stable representations from the catastrophe theory which give the limit robust stability on an indefinite parameter of an object and a control device to the control system has been considered.

Правила оформления и представления статей

Статья представляется в редакционно-издательский отдел в двух экземплярах. Прилагаются дискета с файлами, направление организации. Приводится аннотация на русском языке, указывается индекс УДК. Объем статьи не должен превышать 8 страниц машинописного текста. Текст статьи печатается через два интервала (между строками 6 мм) на одной стороне листа форматом 210х297 мм; **поля со всех сторон по 2 см**; страницы нумеруются. На дискете текст необходимо набирать в редакторе Word 97 либо Word 2000 (не ниже) **шрифтом Times New Roman, размер шрифта (кегель) — 14.**

Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в тексте.

Рекомендуется компьютерная графика. Рисунки могут иметь расширения, совместимые с Word 97, Word 2000, т.е. CDR, JPG, PCD, TIF, BMP.

Для рисунков должен применяться шрифт Arial. Размер шрифта (кегель) 14. Рисунки должны быть хорошего качества.

Для таблиц рекомендуется шрифт Times New Roman, размер шрифта (кегель) 14.

Формулы должны быть набраны в формуляторе MathType или Equation.

В статье не должно быть сложных и громоздких формул и уравнений, особенно формульных таблиц, а также промежуточных математических выкладок. Все сокращения и условные обозначения в формулах следует расшифровать, размерности физических величин давать в системе СИ, названия иностранных фирм, их продуктов и приборов – в транскрипции первоисточника с указанием страны.

Список литературы (только органически связанной со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. В тексте ссылки на литературу отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно [1, 2]. В конце статьи следует указывать название организации, где выполнена работа, контактный телефон, факс и адрес электронной почты. Статья должна быть подписана всеми авторами с указанием ученой степени, служебного и домашнего адресов и телефонов.

Публикация неверно оформленных статей задерживается.

Статья должна носить авторский характер, т.е. принадлежать лично автору или группе авторов, причем количество последних не должно быть более пяти. В одном номере журнала может быть напечатано не более одной статьи одного автора. В исключительных случаях, по решению редакционного совета, может быть опубликовано две статьи одного автора.

Предпочтение отдается статьям, имеющим исследовательский характер и содержащим элементы научной новизны. Рекомендуется аналитические результаты научных исследований подтверждать данными, полученными экспериментальным путем или методами имитационного моделирования.

Статья должна иметь законченный характер, то есть в ней рекомендуется отобразить кратко историю рассматриваемого вопроса, поставить задачу, определить методику ее решения, привести результаты решения задачи, сделать выводы и заключение, привести список литературы. Не допускается использование в статьях фрагментов текста, рисунков или графиков из работ других авторов (или из Internet) без ссылки на них.

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

2006. №4. 98 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

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	15.12.2006	Подписано в печать
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	15,4	Объем, п.л.
Таралымы	500	Тираж
Тапсырыс	3464	Заказ
Индексі	75857	Индекс
Келісімді баға		Цена договорная

Редакцияның мекен-жайы — Адрес редакции

100027, г. Караганда, бульвар Мира, 56. Издательство КарГТУ, тел. 56-20-62