

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

3 * 2003

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

Мерзімділігі жылына 4 ретПериодичность 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.	<i>ректор, академик МАН ВШ, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф. (председатель)</i>
Акимбеков А.К.	<i>проректор по научной работе и международным связям, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя)</i>
Исагулов А.З.	<i>зав. кафедрой машин, технологии литейного производства и конструкционных материалов, академик МАИИ, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф. (ответственный редактор)</i>
Ахметжанов Б.А.	<i>зав. кафедрой экономики предприятия, д-р экон. наук, проф.</i>
Бакиров Ж.Б.	<i>зав. кафедрой прикладной механики, д-р техн. наук, проф.</i>
Брейдо И.В.	<i>зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, академик МАИИ, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.</i>
Гращенков Н.Ф.	<i>профессор кафедры рудничной аэрологии и охраны труда, академик МАН ЭБ, д-р техн. наук</i>
Ермеков М.А.	<i>профессор кафедры геофизики и геологии, чл.-кор. НАН РК, д-р геол.-минер. наук</i>
Жадрасинов Н.Т.	<i>профессор кафедры прикладной механики, академик МАИИ, чл.-кор. ИА РК, д-р техн. наук</i>
Жумасултанов А.Ж.	<i>профессор кафедры социально-гуманитарных дисциплин, д-р ист. наук</i>
Кашиков Ш.К.	<i>профессор кафедры экономической теории, академик МЭАЕ, чл.-кор. АСН РК, д-р экон. наук</i>
Квон С.С.	<i>профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, д-р техн. наук</i>
Климов Ю.И.	<i>зав. кафедрой горных машин и оборудования, академик МАИИ, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.</i>
Колесникова Л.И.	<i>зав. кафедрой экономической теории, канд. экон. наук, доц.</i>
Малыбаев С.К.	<i>зав. кафедрой промышленного транспорта, д-р техн. наук, проф.</i>
Низаметдинов Ф.К.	<i>зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, д-р техн. наук, проф.</i>
Нургужин М.Р.	<i>первый проректор, академик МАИИ, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.</i>
Пак Ю.Н.	<i>проректор по учебно-методической работе, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.</i>
Палев П.П.	<i>профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, д-р техн. наук</i>
Сагинов А.С.	<i>академик НАН РК, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.</i>
Сагинтаев С.С.	<i>зав. кафедрой высшей математики, чл.-кор. МАИИ, канд. техн. наук, проф.</i>
Смирнов Ю.М.	<i>зав. кафедрой физики, академик МАИИ, д-р техн. наук, проф.</i>

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	5
ПИВЕНЬ Г.Г., ПАК Ю.Н. Модернизация университетского инженерного образования и Болонский процесс.....	5
НУРГУЖИН М.Р. Основы инновационной системы подготовки научно-инженерных кадров.....	7
БРЕЙДО И.В., КАРАСЕВ Н.И., ФЕШИН Б.Н. Принципы подготовки инженеров электротехнического профиля в области проблемно ориентированных информационных технологий.....	10
КЫЗЫРОВ К.Б., ЯВОРСКИЙ В.В., ЛЕЙЗЕР Л.И. От заочного обучения к дистанционному.....	12
РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ	16
СИХИМБАЕВ М.Р. Рекомендации по проектированию и применению управляемой технологической оснастки.....	16
КВОН Св.С., ЖАУТИКОВ Б.А. Разработка способов повышения срока эксплуатации армировки шахтных стволов	18
ШЫҒАЕВ Т.Г., МЕДЕУБАЕВ Н.Ә. Дәнекерлеушілерді дайындауға арналған тренажерлер.....	20
ЖЕТЕСОВА Г.С., ЖУНУСОВА А.Ш. Технический уровень механизированных крепей.....	22
ТОЛЫМБЕКОВ М.Ж., БАЙСАНОВ С.О., ГАБДУЛЛИН С.Т., ОСИПОВА Л.В., ТАКЕНОВ Т.Д. Выбор электрических и геометрических параметров рудно-термической печи РПО-60 МВА для выплавки углеродистого ферромарганца.....	24
ДАХНО Л.А., ШАРЫЙ В.И., ДАХНО А.А. Контроль качества поверхности деталей после сульфационирования.....	27
ИСАГУЛОВ А.З. Перспективы развития импульсных методов изготовления отливок	29
МУХАМЕДЬЯРОВ Д.З. Прогнозирование надежности и эффективности оборудования на этапе проектирования.....	33
РАЗДЕЛ 3. ГЕОТЕХНОЛОГИИ	36
ПАК Ю.Н., ПОНОМАРЕВА М.В. Определение содержания серы в углях рентгенорадиометрическим методом.....	36
ПОРТНОВ В.С. Методика измерения магнитной восприимчивости в разведочных скважинах	39
КВОН С.С., ДЕМИН В.Ф., СОН Д.В., ОЛЕКСЕНКО Н.А. Методические положения по анализу и синтезу технологических схем очистных работ.....	42
БЕРКАЛИЕВ Б.Т., ХАМИМОЛДА Б.Ж., БАИЗБАЕВ М.Б. Открыто-подземный способ разработки сложных рудных месторождений (на примере комплексного месторождения Ушкатын-III)	45
СМИРНОВ Ю.М. Перспективные направления использования низкочастотных гидравлических импульсных систем	48
РАЗДЕЛ 4. СТРОИТЕЛЬСТВО	52
БАКИРОВ Ж.Б. Закритические прогибы стержней при случайных изменениях параметров.....	52
БАЙДЖАНОВ Д.О., КУЧЕРБАЕВ Е.Т., ИМАНОВ М.О. Реологические параметры цементного теста с комплексной добавкой.....	55
НУГУЖИНОВ Ж.С. Деформационная модель расчета железобетонных конструкций в стадии эксплуатации	57
УТЕНОВ Е.С. Методика расчета осадок фундаментов с учетом подтопляемости грунтов оснований.....	60
ШАЙКЕЖАН А. Получение клинкера майенито-белитового состава	63
ЖАКУЛИН А.С. Расчёт осадок водонасыщенных оснований с учётом реологических свойств грунтов.....	64

РАЗДЕЛ 5. ТРАНСПОРТ.....	68
ОМАРОВ А.Д., БИТТИБАЕВ С.М., КАНГОЖИН Б.Р. Особенности ремонта и восстановления бесстыкового пути.....	68
КАБАШЕВ Р.А., КУЛЬГИЛЬДИНОВ М.С. Влияние параметров одноковшовых экскаваторов на показатель их технического уровня.....	69
ТАЗАБЕКОВ И.И. Разработка структурной схемы межприводного участка цепных конвейеров.....	71
АКИМБЕКОВ А.К., ИБАТОВ М.К., ПОПОВИЧЕНКО Р.М. Эмпирические зависимости основных рабочих параметров термического нейтрализатора отработавших газов дизельных двигателей	74
ФИЛИМОНОВ А.Т., ДАНИЯРОВ Н.А., ЖАЛГАСБЕКОВ А.З. Система контроля погрузочных машин фирмы «Катерпиллар».....	76
ЕРМЕКОВ Т.Е., ТОКЕНОВ Е.А., САРСЕМБАЕВ Т.У., ДЖУМАГУЛОВ Г.М. Обоснование параметров и разработка конструкции гидродомкратной системы подачи очистных машин.....	78
РАЗДЕЛ 6. АВТОМАТИКА. ЭНЕРГЕТИКА.....	81
БРЕЙДО И.В., КАВЕРИН В.В., ДАЙЧ Л.И. Генераторные режимы регулируемых по скорости тиристорных электроприводов постоянного тока	81
СИН В.М. О тенденциях применения методов машинного проектирования в образовательных технологиях электроэнергетических специальностей.....	84
САДЫКБЕК Т.А., ТАНАГУЗОВ Б.Т. Моделирование режимов системы электроснабжения магистрального трубопровода.....	87
ХРОНИКАК 80-летию профессора С.С-Г. Квона	90
РЕЗЮМЕ	91

Раздел 1

Проблемы высшей школы

*Г.Г. ПИВЕНЬ
Ю.Н. ПАК*

Модернизация университетского инженерного образования и Болонский процесс

Устойчивое социально-экономическое развитие страны тесно связано с состоянием и развитием высшего профессионального образования. В современных условиях актуализировалась проблема выработки Концепции развития высшей школы и создания национальной системы непрерывного образования. При этом важна адаптация инновационного опыта к нашим социально-экономическим условиям.

Сегодня в мире нет такой модели высшего образования, которую можно было использовать в качестве ориентира при модернизации системы образования. В последнее десятилетие ведущие европейские страны утратили лидирующие позиции в мире в части получения высшего образования иностранными студентами. Унифицированная процедура доступа к европейскому образованию сделала бы его более конкурентоспособным в мире. Руководствуясь этой глобальной идеей, Болонская декларация ставит своей целью: переход на двухуровневую структуру; создание единой кредитной системы зачетных единиц, которая предполагает взаимное признание курсов, программ. Каждая дисциплина оценивается определенным количеством кредитов (своеобразной образовательной валютой); выработкой методологии и критериев оценки качества образования.

Болонский процесс можно рассматривать как план действий по созданию общеевропейского образовательного пространства. Особенность заключается в том, что первый уровень (бакалавриат)

должен обеспечить возможность не только продолжения обучения, но и востребованность бакалавров на рынке труда. Здесь налицо процесс становления реального общеевропейского рынка труда. При завершении этого процесса первый уровень подготовки по содержанию и сроку обучения должен стать единым. Естественно, этот процесс не будет скоротечным. Предполагается к 2010 году в основном завершить структурное реформирование системы высшего образования в рамках Болонского процесса с учетом многообразия национальных особенностей образовательных систем.

При переходе инженерно-технического образования на двухуровневую структуру подготовки возможны несогласованные действия в случае косметических реформ. В частности, если традиционную 5-летнюю подготовку дипломированных специалистов механически ограничить и после 7-8 семестров присуждать академическую степень бакалавра, то упрощенно такого бакалавра можно интерпретировать как недоученного инженера. Нужен ли он сейчас Казахстанскому рынку труда? Насколько наш рынок труда будет сопоставим с общеевропейским? Каким представляется общеевропейский рынок, где будут трудиться бакалавры? Вопросов множество.

Для наукоемкого инженерного образования отказ от традиционной системы подготовки дипломированных специалистов пока преждевременен. Существующая в ряде развитых стран двухступенчатая система базируется на мощной

инфраструктуре, способствующей доучиванию бакалавра до специалиста определенной сферы деятельности. Созданы ли подобные условия в Казахстане? Ныне большинству хозяйствующих субъектов необходимы специалисты конкретного профиля — инженеры со специальными знаниями, а не с базовыми (бакалавры) и научно-педагогическими (магистры). Поэтому форсированный переход инженерно-технического образования на двухступенчатую структуру при отсутствии необходимых предпосылок может иметь негативные последствия и приведет к разрыву между уровнем подготовки специалистов и требованиями рынка.

Проблема формирования европейского рынка труда затрагивает также важный момент, связанный с выработкой методологии оценки качества высшего образования. Здесь наблюдается весьма широкий спектр подходов. Необходимы согласованные действия по установлению минимальных требований к уровню подготовки бакалавров и магистров. По сути, это означает разработку общеевропейских стандартов образования по всему спектру специальностей и направлений подготовки.

Болонский процесс затрагивает не только образовательные вопросы — он тесно связан с политическим аспектом. Если для стран, входящих в Европейский союз, Болонский процесс — это необходимость, то как быть Казахстану? Казахстан должен прежде всего интегрироваться в рамках Евразийского экономического сообщества. Присоединение Казахстана к Болонскому процессу — это не только задача адаптации казахстанской системы высшего образования к идеям общеевропейской декларации, но и учет национальных интересов, ее лучших традиций. В этом плане следует отметить, что ряд ключевых положений Болонской декларации не является абсолютным новшеством для отечественной высшей школы. Формально нами сделаны первые шаги на пути к Болонскому процессу. По ряду естественно-научных, гуманитарных и экономических направлений подготовки введены бакалаврские программы. Наш бакалавр ориентирован в большей степени на продолжение обучения в магистратуре и работу в качестве научно-педагогического сотрудника. Поэтому программы базового высшего образования отличаются фундаментальной естественно-научной подготовкой. Общеевропейский бакалавр в рамках Болонского процесса прежде всего должен быть востребованным на рынке труда. Бакалаврские программы должны формироваться по конкретным специальностям или по направлениям подготовки? Здесь наблюдается неоднозначность прежде всего из-за того, что во многих странах не существует такого документа, как республиканский Классификатор направлений подготовки и специальностей.

Болонская декларация предусматривает внедрение упрощенных образовательных программ. Ее успех в повышении конкурентоспособности европейского образования во многом будет зависеть от конвергенции национальных образовательных систем. Не снизит ли это качество подготовки? Не приведет ли это к массовой «утечке мозгов»?

Рассматривая европейскую систему зачетных единиц следует отметить, что переход от нашей трудоемкости к европейской кредит-технологии не представляет принципиальных трудностей, хотя потребует определенных реформаторских усилий.

Ключевым положением Болонской декларации является расширение мобильности и обеспечение трудоустройства выпускников. Эти положения актуальны для европейских стран, идущих к единому рынку труда, а не для Казахстана, где действуют локальные рынки и большинство вузов готовит кадры для своего региона.

Есть опасность, что если начнем «ломать» наработанную многими десятилетиями систему инженерной подготовки и форсированно присоединимся к Болонскому процессу, то рискуем потерять качество инженерного образования. В то же время самоизоляция от общеевропейских тенденций может в будущем иметь негативные последствия. Казахстан не должен оставаться в стороне от Болонского процесса. Необходимо организовать широкомасштабную дискуссию основных положений этой декларации. Проблему присоединения Казахстана к Болонской декларации следует рассматривать с позиции целесообразности и актуальности. В разрабатываемой Концепции модернизации высшего образования в РК целесообразно учесть реалии Болонского процесса, его явно выраженные положительные особенности. В Концепции необходимо четко обозначить главный приоритет развития ВПО — повышение его качества. В ней должны быть определены стратегические направления: систематическое увеличение государственного финансирования высшего образования, повышение статуса работников высшей школы, материальная защищенность студентов, наращивание учебно-методической обеспеченности и материально-технической оснащенности, стимулирование инвестиций в сферу образования за счет льготного налогообложения, повышение квалификации профессорско-преподавательского состава вузов. Все эти направления должны быть обеспечены финансовыми и законодательными условиями реализации.

Требуется решения проблема старения профессорско-преподавательского состава. Средний возраст работающих докторов и кандидатов наук приближается к критическому. Если проблема утечки кадров не повлияла серьезным образом на общий кадровый потенциал высшей школы, то более проблемным вопросом является снижение интереса молодежи к научно-педагогической деятельности, которая перестала служить источником достаточного материального обеспечения. Необходимы радикальные меры по повышению социального и материального положения преподавателей. Нужна государственная программа поддержки научно-педагогического творчества молодых.

Необходимо формирование общественного мнения в пользу приоритетности высшего

инженерного образования как важнейшего условия социально-экономического прогресса. При этом необходимо руководствоваться известным тезисом о том, что высшее образование — это инерционная система с присущим ей консерватизмом. Здоровый консерватизм нужен для сохранения того лучшего и передового, что есть в отечественной высшей школе.

УДК 378.02:372.8:004.9

М.Р. НУРГУЖИН

Основы инновационной системы подготовки научно-инженерных кадров

После длительного периода поступательного развития мировая система высшего технического профессионального образования оказалась к настоящему времени в довольно сложной ситуации: стремясь отвечать потребностям современного промышленного бизнеса, она пошла по пути узкой специализации выпускаемых кадров, все больше утрачивая широкую образовательную миссию. Попытки сохранить уровень образованности выпускников за счет введения дополнительных учебных дисциплин при тех же сроках пребывания студентов в стенах вузов привели к снижению профессиональных навыков специалистов. Научно-техническая революция, выдвинув инженеров и ученых на передний план, вместе с тем обнаружила недостатки традиционной системы образования. Это обстоятельство вынудило правительства промышленно развитых стран обратиться к образовательным реформам, фирмы — к обузаведению собственными системами подготовки и переподготовки кадров, сами учебные заведения — к реорганизации учебной деятельности, учитывая существующие реалии [1].

Изучение положительного опыта высшей школы развитых стран имеет важное значение для модернизации системы высшего образования (ВО) Казахстана, позволяет уточнить и оценить, какие из основных тенденций развития ВО необходимо использовать, а какие изменить в рамках альтернативных сценариев реформирования общества. Как показала мировая образовательная практика, системы ВО развитых стран, успешно взаимодействуя, используют зарубежный опыт, который нам предстоит осмыслить.

Казахстанская высшая школа, являющаяся продуктом советской высшей школы, несмотря на произошедшие в последние годы кардинальные политические, социальные и экономические изменения и катаклизмы, продолжает сохранять сложившиеся традиции. Она по-прежнему обеспечивает своим выпускникам достаточно высокий уровень фундаментальных естественно-научных знаний, общепрофессиональных умений и практических навыков. Однако «вхождение» страны в рыночную экономику, сопровождающееся затянувшимся во времени регрессом народного хозяйства, поставило перед ВО целый ряд совершенно новых методологических, организационно-методических, социально-экономических проблем. Все это свидетельствует о том, что необходима разработка стратегии обновления высшего

В принципе определенные новации неизбежны, так как мы живем в реально изменяющемся мире. Но насколько будет оправдано слепое копирование западного опыта? При решении узловых вопросов необходимо учитывать мнение широкой научно-педагогической общественности.

профессионального образования (ВПО) в новых условиях с учетом национальных традиций и мирового опыта высшей школы. При этом следует помнить — даже самые лучшие зарубежные модели подготовки специалистов с ВПО нельзя механически переносить в нашу образовательную систему.

Тенденции мирового развития, прежде всего, это — переход к постиндустриальному информационному обществу и возрастание роли человеческого капитала — определили инновационные процессы в системах высшего профессионального образования развитых стран [1,2,5].

Значительное повышение роли высшего образования как важнейшего социально-экономического и культурного фактора. Так, по данным Европейской комиссии, в 15 странах — членах ЕС за два десятилетия студенческий контингент удвоился. Эта же тенденция со всей наглядностью проявляется в США, Японии, Южной Корее и России. То есть наметилась тенденция массовости высшего образования.

Демократизация высшего образования. Это проявляется в общедоступности высшего образования, свободе выбора вида образования и специальности, характера обучения и сферы будущей деятельности, в ориентации процесса образования на студента. Существенным аспектом демократизации является расширение образования взрослых с целью переподготовки научно-инженерных кадров (развитие сети университетов с сокращенными сроками обучения, дистанционного обучения). Демократизация образования предусматривает высокое качество образования. Наблюдается неуклонный рост применения стандартов ИСО серии 9000 для разработки и сертификации систем менеджмента качеством предоставления образовательных услуг. Так, по данным органа сертификации систем качества — германского TUV CERT, к сентябрю 1999 г. только он сертифицировал 96 учреждений образования. Впечатляет рост интереса учреждений образования к методологии TQM в образовании. Так, на 43-м Конгрессе Европейского общества качества проблеме внедрения TQM в образовании было посвящено два заседания секции «Качество образования». Ежегодно в России на базе Новосибирского технического университета проводится аналогичная конференция для вузовской общественности стран СНГ.

Автономизация вузов. Решение проблем автономии можно отнести к важным позитивным изменениям в системах высшего образования

развитых стран. Так, в г.Саламанки (2001 г., март) прошел форум (более 600 представителей европейских вузов), где было отмечено, что дальнейшая автономизация вузов реализуется в форме активного использования прав: на самостоятельное управление; самостоятельное использование финансовых ресурсов; выбор партнеров; независимую разработку учебных планов и программ; проведение найма на работу профессоров; самостоятельный отбор поступающих в вуз. Как известно, большинство вузов США эти права имеют.

Ориентация на рынок труда. Большинство систем высшего профессионального образования развитых стран осознает необходимость усиления взаимосвязи образовательной деятельности университетов с потребностями рынка труда. Учебные программы должны, с одной стороны, давать студенту достаточно фундаментальные знания, а с другой — соответствовать практическим требованиям, предъявляемым к профессионалам при найме на работу. То есть должен быть реализован тезис «специализация на основе фундаментализации и систематизации знаний».

Рост расходов на образование в целом и на высшее техническое в частности. Так, за последние два десятилетия в Великобритании и Франции расходы на образование более чем удвоились, в Испании выросли почти в 10 раз и т.д.

Развитие академической мобильности. Этому способствовало сближение систем ВПО развитых стран. Главными инструментами осуществления мобильности являются: использование кредитной технологии как основной системы организации и планирования учебного процесса; европейская система перевода зачетных единиц — ECTS; положения Лиссабонской конвенции; опыт и потенциал национальных информационных центров по академическому признанию и мобильности и сети ENIC; совместимость уровней образования (двухуровневая система ВПО).

Высокий уровень вузовской науки. Со времен Гумбольдта западная высшая школа тесно связана с научными исследованиями. Эта традиция развивается и сегодня. Лучшие университеты США, Германии, Великобритании, Японии являются крупнейшими научными центрами. Труды ученых этих университетов составляют до 2/3 наиболее авторитетной научной литературы в мире.

Тенденция ориентации высших технических учебных заведений на подготовку элитарных групп специалистов для инженерно-инновационной и научно-исследовательской деятельности по приоритетным направлениям НТП: материаловедение, биотехнология, нанотехнология, информационные и телекоммуникационные технологии; межотраслевые и интегральные специальности и др.

Внедрение в сферу образования новых форм образования и высокотехнологичных систем обучения на основе информационных и телекоммуникационных технологий: открытых, виртуальных, сетевых и прочих университетов; создание и внедрение единой образовательной информационной среды университета и т.д. Следует отметить, что развитие

информационных технологий влияет и будет влиять на систему образования как прямым, так и косвенным образом. Серьезное внимание в этих системах уделяется значительному повышению роли педагогического и психологического обеспечения.

Усилились *тенденции к глобализации, интернационализации и диверсификации* систем ВПО и обучения.

Опираясь на результаты сравнительного анализа развития ВПО, а также учитывая реалии, связанные с переходом к постиндустриальному информационному обществу, можно констатировать, что перспективной моделью технического вуза XXI века является исследовательский технический университет, научная и образовательная деятельность которого должна базироваться на инновационных технологиях и принципах управления.

В основу системы подготовки в технических университетах нового типа необходимо положить проверенные временем принципы (Массачусетский технологический институт, Калифорнийский технологический институт, Университет Киото, ведущие технические и технологические вузы Канады и Европы, МВТУ им.Баумана, МФТИ и др.):

- уникальная система отбора и довузовского обучения талантливой молодежи;

- фундаментальная естественно-научная подготовка на младших курсах;

- целевая специальная подготовка на старших курсах в ведущих научных центрах, ориентированная на решение задач практики (case studies).

Реализация указанных принципов должна базироваться на использовании положительного опыта традиционных систем образования ведущих вузов РК (т.е. сохранить эволюционный механизм) и современной образовательной системы — глобальной системы открытого, гибкого, индивидуализированного, создающего знания, непрерывного образования человека в течение всей его жизни. Основные признаки этой системы вытекают из результатов первого этапа исследования и перечислены выше. Такая система предполагает единство:

- производственных инноваций в сфере образования, а именно внедрение новых информационных и телекоммуникационных технологий (технологические инновации), новых методов и приемов обучения (педагогические инновации);

- управленческих инноваций, включая экономические механизмы в сфере образования (экономические инновации) и институциональные формы (организационные инновации).

Модель специалиста, выпускника исследовательского технического университета (ИТУ), основывается на уже имеющихся в вузовской практике достижениях и поиске качественно нового соотношения общего, профессионального и гражданского развития; выпускник должен соответствовать триединой задаче: исследователь (ученый) — управленец (менеджер) — практик (инженер).

На наш взгляд, для реализации указанных принципов особенно важна структура ИТУ, поскольку она определяет возможности университета в охвате своей деятельностью определенного региона. В мировой практике описывается последовательный ряд университетских структур: вертикальные университеты, матричные университеты, общепринятый современный университет и университет — технополис [3,4]. Большинство университетов РК соответствует структуре вертикального университета, где программы предлагаются и преподаются кафедрами, и факультеты могут выполнять свои функции абсолютно независимо друг от друга. Матричный университет появился вслед за вертикальным. В такой структуре роль факультетов значительно вырастает в части ответственности за образовательную и исследовательскую деятельность, так как они приобретают междисциплинарный характер. Общепринятый современный университет является суммой матричного университета и новых услуг. Факультеты расширяются, и их потребности приобретают решающее значение, превалируя над потребностями кафедр. Университет-технополис (мультиполярный) в отличие от общепринятого современного университета дополняет организационную структуру тремя элементами [3].

1. Независимые организации, которые могут быть юридическими лицами. Они необходимы для удовлетворения новых социальных потребностей и реализации ряда вышеперечисленных принципов, например, в дополнительном образовании, создании экспериментальных центров, дистанционном образовании, сотрудничестве с бизнесом и государственными органами.

2. Горизонтальные подразделения, необходимые для усиления междисциплинарных исследований.

3. Подразделения эндогенного роста, которые являются исследовательскими и сервисными организациями.

Учитывая вышесказанное, структурной основой ИТУ должен быть университет-технополис, удовлетворяющий его основным принципам.

Рассмотрим основные проблемы структурирования ВПО в ИТУ. В результате проводимых в последние годы реформ в Казахстане складывается новая структура ВПО, включающая две дополняющие друг друга образовательные подсистемы. Основной из них по-прежнему является перечень специальностей, многие из которых ориентированы на практическую деятельность выпускника. Вторая опирается на перечень направлений подготовки и магистерские программы, решая проблему выпуска специалистов для научной и научно-педагогической сфер деятельности. Опираясь на исследования, проведенные в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1], можно обозначить окончательную картину образовательной структуры ИТУ. Она очень близка к принятой в РК многоступенчатой структуре подготовки специалистов, складывающейся из последовательных ступеней — бакалавриат, магистратура, докторантура, но с иной технологией образования по сравнению с той, которая отражена в

ныне действующих нормативных документах, и с иным целевым назначением подготовки на каждой из ступеней. Нет ничего удивительного в том, что эта структура практически совпадает с образовательной структурой американских университетов, ибо американская образовательная система характеризуется наибольшей динамикой эволюционного самосовершенствования, по сравнению с какой бы то ни было другой образовательной системой в мире [1, 2, 4].

В чем же особенность технологии подготовки бакалавров и магистров в ИТУ? На Портсмудской конференции [1] было отмечено, что российских инженеров (а следовательно, и казахстанских) — выпускников технических вузов по инженерным специальностям — можно было приравнять к американским бакалаврам, если бы не «крайне узкая специализация российских инженерных программ».

В Казахстане процесс подготовки бакалавров переживает младенческий возраст. Решение организационных проблем учебного процесса подготовки бакалавров как высокообразованных специалистов широкого профиля сопряжено с большими трудностями. Перед ИТУ ставится важнейшая задача подготовки на базовом уровне специалистов нового качества. В этой связи важно отыскать новые формы организации учебного процесса, новую образовательную технологию, которая могла бы обеспечить возможность переориентации узкоспециализированной подготовки на фундаментальное образование по широкому спектру знаний, предполагающее овладение теоретическими, фундаментальными основами избранной профессиональной деятельности. Решение этих задач можно решить, опираясь на кредитную систему.

К последидипломному образованию в вузах РК, перешедших на многоуровневую структуру образования, относятся магистратура, аспирантура и докторантура. В ИТУ можно было бы ввести дополнительную дифференциацию, в частности, подготовку на степень инженера с большей (на 1-2 семестра), по сравнению с магистратурой, продолжительностью обучения. Степень инженера характеризуется подготовкой к работе в области инженерной практики высокой категории. Здесь следует отметить, что такого рода специалисты-инженеры с последидипломным образованием пользуются на Западе большим спросом, вызванным современным характером производственных отношений и быстрой сменой технологии. Эта подготовка отличается от магистратуры большей глубиной изучения ряда дисциплин, дополнительными специальными предметами инженерной деятельности и направленности, квалификационной выпускной работой. К обучению на инженера обычно приглашаются наиболее отличившиеся студенты второго года магистерской подготовки.

В ИТУ магистр наук должен трактоваться как специалист с высшим последидипломным образованием, имеющий подготовку высокого уровня, достаточного для выполнения профессионально-прикладной,

научной, педагогической, научно-инновационной, научно-организационной и иной практической деятельности в области полученного образования и в смежных областях, требующих применения профессиональных и научных знаний.

В заключение можно было бы предположить, что в ИТУ допустимо сохранить старую технологию

обучения в аспирантуре, но в этом случае утрачивается возможность подготовки того высшего профессионального звена в иерархии элитарных групп специалистов, которое играет важную роль в экономическом благополучии промышленно развитых стран. Однако эти ступени образования выходят за рамки настоящего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров И.Б., Еркович С.П., Коршунов С.В. Высшее профессиональное образование: Мировые тенденции. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998. 368с.
2. Рябов Л.П. Анализ позитивных изменений и инновационных процессов в системах высшего профессионального образования развитых стран: США, Японии, Германии, Франции, Великобритании // Проблемы зарубежной высшей школы: Аналитические обзоры по основным направлениям развития высшей школы. М., 2001. Вып.6. 56с.
3. Майор Ф. Универсальный университет // ВВШ. 1998. №7. С.3-7.
4. Парейяда Ф.С., Бертран И.К., Эрнандес Т.И. Университетское планирование и развитие // ВО сегодня. 2002. №4. С.34-42.
5. Зарубежный опыт реформ в образовании: Европа, США, Китай, Япония // Там же. 2001. №2. С.60-67.

УДК 378.018:001.891

**И.В. БРЕЙДО
Н.И. КАРАСЕВ
Б.Н. ФЕШИН**

Принципы подготовки инженеров электротехнического профиля в области проблемно ориентированных информационных технологий

Основные принципы базируются на новейших и ранее используемых в инженерном образовании положениях, которые были сформулированы и получали воплощение и развитие во многих инженерно-технических школах на территории мирового экономического пространства.

Первое положение восходит к методике глубокого погружения будущих специалистов в профессиональную среду путем организации максимального соответствия учебно-лабораторного оборудования и технических средств обучения оснащенности реальных техногенных систем и производств и реализации на этой основе возможности решения реальных профессиональных задач в процессе обучения и проведения научно-исследовательских работ.

Второе положение определено принципом непрерывности образования (сквозного на весь период обучения) на основе изучения цифровых моделей соответствующей предметной области и использования профессионально ориентированных информационных технологий для решения полного многообразия задач изучаемой предметной области, включая сферы проектирования, эксплуатации и технического обслуживания объектов.

Третье положение связано с системностью образования, которое отождествляется с перекрестным взаимодействием изучаемых дисциплин. Информационные технологии в этом взаимодействии обеспечивают средства и приемы для быстрой реализации методов решения задач конкретных дисциплин.

Четвертое положение связано с ранней профессиональной ориентацией молодых специалистов, так как практические навыки использования разнообразных информационных технологий, полученные в процессе обучения, будут востребованы напрямую и немедленно, сразу после включения молодого специалиста в

профессиональную деятельность соответствующей предметной области.

Пятое положение сопряжено с внедрением новейших технологий обучения на основе виртуальных образовательных сред, функционирующих на основе всемирной компьютерной сети Интернет, включая виртуальные лаборатории и дистанционное обучение.

Шестое положение сопряжено с неукоснительным совершенствованием образовательных стандартов по специальностям кафедры и их неперенным применением в технологии реальных процессов обучения.

Практическая реализация сформулированных положений в процесс обучения технологии разработки прикладных программных систем и профессиональному применению информационных технологий происходит на фоне общеинженерной и общематематической подготовки в рамках учебных планов специальностей 33.08, 36.02, 21.04, 21.05, 35.03, а также на фоне очень быстрых изменений в сфере информационных технологий и информатизации многих видов целесообразной деятельности людей. *Статистика последних лет в сферах микроэлектронных технологий и системно-программной инженерии показывает, что основные технические параметры аппаратных средств удваиваются один раз в 1,5 года, поколения программного обеспечения меняются один раз в 2-3 года, база стандартов, интерфейсов и протоколов — один раз в 5-7 лет.*

Высокочастотный динамизм в сфере информационных технологий обязывает давать студентам перспективные и настолько универсальные технологии, что они будут востребованы в течение достаточно длительного времени при решении практических задач информатизации широкого спектра предметных областей.

Весь период обучения делится на два этапа: этап базовой подготовки и этап профессиональной

подготовки, взаимоувязанных планами и программами учебного процесса.

Базовая подготовка (первый-второй курсы) ориентирована на изучение информационных технологий широкого применения и формирование основ объектно-алгоритмического стиля профессионального мышления на базе систематического применения методологии моделирования предметных областей реального мира в среде объектно-ориентированных систем программирования.

Обучение ведется на программно-аппаратных платформах офисного исполнения, которыми оснащена вычислительная сеть КарГТУ.

Используемая программная платформа для изучения информационных технологий широкого применения адекватна динамизму развития приложений для Windows корпорации Microsoft и на ближайшие три-четыре года представлена следующими средствами:

- операционные системы WINDOWS 98/ 2000/ NT Server;
- комплект стандартных приложений для Windows в среде MS Office 2000 PRO, включая СУБД Access 2000, текстовый редактор Word 2000, средство обработки электронных таблиц Excel 2000, средство разработки Web-сайтов Frontpage 2000, браузер Internet Explore), сетевые приложения для общего и промышленного применения (типа Vascnet/LouWorcs, Bitbus, Profibus, Motbus);
- стандартный графический редактор MS Paint и векторный графический редактор CorelDraw;
- интегрированная среда для решения типовых классов математических задач MathCad, MatLab, Statistica, а также специализированные CAD/CAM/CAE системы.

Используемая программная платформа для изучения методологии и технологии программирования адекватна динамизму развития современных сред программирования и на ближайшие два-четыре года представлена следующими средствами:

- семейство сред визуального программирования, включая MS Visual Basic, Visual Basic Application (VBA), VBScript;
- среда объектно-ориентированного программирования MS Visual C++ с библиотекой классов MFC;
- среда визуального программирования Delphi;
- среда объектно-ориентированного программирования C++ Builder.

Обучение программированию в среде семейства MS Visual Basic выполняется по утвержденной рабочей программе в соответствии со стандартом соответствующих специальностей. Обучение программированию в средах MS Visual C++, Delphi, C++ Builder выполняется по индивидуальным учебным программам и ориентировано на тех соискателей индивидуального обучения, которые имеют довузовскую компьютерную подготовку (школы и колледжи с ориентацией на компьютерные технологии). Из соискателей индивидуального обучения программированию формируются группы с последующей профессиональной ориентацией на

разработку прикладных программных систем для решения классов задач соответствующей предметной области.

Организационно базовая подготовка ведется по установленным формам обучения и включает лекции, лабораторный практикум, курсовую работу, самостоятельную работу студентов, четырехнедельную учебно-вычислительную практику в конце первого курса по совершенствованию и закреплению практических навыков использования компьютерных технологий широкого применения.

Профессиональная подготовка (третий-четвертый и пятый курсы) ориентирована на широкое использование профессионально ориентированных информационных технологий в курсах специальных дисциплин при выполнении курсовых работ и проектов, учебных исследовательских и научно-исследовательских работ по тематике кафедры, при разработке Лабораторного комплекса компьютерных систем технологического контроля и управления (ЛИККС, или виртуальная учебная лаборатория) и дипломного проектирования.

Обучение ведется на программно-аппаратных платформах промышленного и офисного исполнения. Рабочие программы ряда специальных дисциплин полностью ориентированы на следующие программные комплексы промышленного применения:

- программный комплекс Electronics WorcBench, ориентированный на имитационное моделирование процессов в электрических цепях практически любой сложности;
- программный комплекс MatLab MVTU;
- специализированные Программно-технологические комплексы (например такие, как КТС Энергия, ориентированные на организацию коммерческого учета энергоресурсов и материалов);
- программные комплексы, эмуляторы и кросс-программы для программирования промышленных контроллеров («встроенные программные системы») на базе стандарта IEC-1131/3, кросс-ассемблеров и языков программирования высокого уровня (C, C++);
- программный комплекс ГИД-99w, разработанный на кафедре АПП, работающий на аппаратно-программной платформе офисного исполнения и ориентированный на имитационное моделирование стационарного потокораспределения в гидравлических цепях любой сложности. ГИД-99w является базовой технологией для разработки эксплуатационных, перспективных и аварийных режимов в больших системах централизованного теплоснабжения;
- программный комплекс ГИСКАД-2000, разработанный на кафедре АПП, работающий на аппаратно-программной платформе офисного исполнения и ориентированный на разработку геоинформационных систем и технологий, разнообразной функциональной ориентации: кадастровые системы городских территорий (земельные, городские и экологические кадастры, кадастры недвижимости, информационные системы для инженерных коммуникаций городов и

трансконтинентальных систем трубопроводного транспорта нефти, газа и т.п.);

- программные комплексы CAD/CAM/CAE (AutoCad, P_CAD, Ultralogic...), применяемые при проектировании и программировании микропроцессорных систем;

Используемая программно-аппаратная платформа промышленного исполнения адекватна динамике развития встраиваемых микропроцессорных систем и на ближайшие 5-7 лет представлена следующими средствами:

- полнофункциональный IBM PC-совместимый комплект модулей промышленных компьютеров формата MicroPC фирмы Octagon Systems, нашедший широкое применение для реализации полнофункциональных АСУ ТП для различных отраслей производства, транспорта, приборостроения, для реализации автоматизированных систем научных исследований, обучения и т.п.;
- полнофункциональный комплект промышленных компьютеров компании Advantech, аналогичный по функциональности и областям применения комплекту MicroPC;
- полнофункциональный комплект промышленных контроллеров фирмы PEP Modular Computers со встроенной операционной системой жесткого реального времени OS-9;
- многозадачная многопользовательская операционная система жесткого реального времени QNX4, соединившая в себе средства разработки приложений реального времени для встраиваемых систем и являющаяся результатом более чем 20-летней работы компании QNX Software Systems Ltd.;
- высокопроизводительная, гибкоконфигурируемая операционная система жесткого реального времени OS-9 компании Microware, используемая для встроенных приложений и служащая в качестве фундаментальной программы управления, обслуживающей действия микропроцессоров;
- среды программирования, поддерживающие технологии процедурного, объектно-ориентированного и параметрического программирования на платформах офисного и промышленного исполнения, включая:
- CASE — средства для поддержки многочисленных технологий проектирования информационных систем с интегрированными системами программирования MS C++ на базе библиотеки MFC;
- SCADA — систему GENESIS32 для Windows NT,

предназначенную для создания программного обеспечения сбора данных и оперативного диспетчерского управления в системах автоматизации технологических процессов;

- SCADA — систему GENIE — инструментальная среда разработки программного обеспечения для сбора данных и оперативно-диспетчерского управления в системах автоматизации технологических процессов компании Advantech;
- SCADA — систему Simatic WinCC, базирующуюся на ОС Windows 95/98/NT и предназначенную для разработки программного обеспечения полнофункциональных АСУ ТП любой сложности.
- OPC — стандарт взаимодействия между программными комплексами системы сбора данных и управления (SCADA);
- инструментальную систему программирования контроллеров ISaGRAF на базе пяти языков программирования стандарта IEC 1131-3:

SFC — язык последовательных функциональных схем;

FBD — язык функциональных блочных диаграмм;

LD — язык релейных диаграмм;

ST — структурированный текст;

IL — список инструкций для создания оптимизируемых процедур.

Система ISaGRAF обеспечивает программирование для восьми наиболее распространенных платформ промышленных контроллеров.

Качественная профессиональная подготовка в области разработки и профессионального использования информационных технологий может быть организована только путем непосредственного участия студентов в реальных проектах информатизации. Таким актуальным и масштабным проектом является проект учебной лаборатории «Лабораторный комплекс компьютерных систем технологического контроля и управления (ЛККС)», исполнителями которого являются студенты третьих-пятых курсов, исполняющие реальные курсовые и дипломные проекты. Программно-технологический комплекс ЛККС может обеспечить имитацию интегрированных информационных систем управления предприятиями как технологического, так и организационно-экономического уровня. В процессе разработки и развития ЛККС будет интегрирована с виртуальной образовательной средой на базе сети Интернет с развитыми средствами интеллектуализации и визуализации процесса обучения и преподавания.

УДК 681.3.06

К.Б. КЫЗЫРОВ
В.В. ЯВОРСКИЙ
Л.И. ЛЕЙЗЕР

От заочного обучения к дистанционному

В последние годы все большую популярность приобретает идея развития систем дистанционного обучения. Такие системы,

основанные на использовании современных компьютерных и коммуникационных технологий, позволяют решать задачи обучения и повышения

квалификации людей, находящихся вдали от учебных, научных и технических центров. Безусловно, это актуальная задача, особенно в связи с бурным развитием науки и технологии, стремительным ростом объема необходимой для успешной деятельности информации.

Что является *технологической базой систем дистанционного обучения*?

Это, прежде всего, *глобальные компьютерные сети*, бурно развивающиеся в последние годы и уже сейчас доступные широкому кругу пользователей. При этом достаточно известные возможности электронной почты являются только частью предоставляемых услуг. Кроме посылки письма со своего компьютера, можно принимать участие в телеконференциях, работать с электронными каталогами и удаленными информационными системами. Сеть *Internet* позволяет работать на удаленной машине, как на своей собственной, пользоваться услугами электронной почты, в оцифрованном виде получать графическую информацию, аудио- и видеоинформацию.

В рамках *Internet* активно развивается проект *WWW — «Мировой паутины»*, опирающийся на дружественный интерфейс для работающих в сети. Этот проект особенно привлекателен для создания удаленных обучающих сред, построенных по технологии гипермедиа. Можно сказать, что уже сейчас компьютерные технологии обеспечивают реальные возможности создания и транспортировки на удаленные компьютеры практически любых обучающих и тестирующих систем, организации компьютерного диалога между преподавателями и учениками и т.д. Причем эти возможности не в столь далеком будущем могут стать вполне доступными для преподавателей периферийных вузов, школьных учителей, учащихся.

Проблема развития систем дистанционного обучения в настоящее время переносится в область *методики преподавания*. Надо сказать, что возникающие здесь задачи оказываются на поверку много более сложными и трудоемкими, чем задачи чисто компьютерные. Дистанционное обучение стоит наиболее близко к заочному обучению по некоторым организационным моментам и характеристикам, но имеет некоторые отличия. Например, «гибкий» график во времени в процессе учебы, расширенные возможности общения с преподавателем с использованием новейших информационных технологий, специальные комплексные средства обучения для самостоятельной работы.

Дистанционное обучение предполагается рассматривать как новейшую форму обучения и соответственно как новейшую форму образования. В системе дистанционного обучения помимо преподавателя и учащегося должен быть учебник, учебное пособие, т.е. средства обучения как компонент данной системы. Отсюда — необходимость серьезного подхода к разработке специальных курсов (учебников) для систем дистанционного обучения.

Перед разработчиками таких систем стоит проблема отбора материала. Необходимо найти

золотую середину между возможностями компьютерных технологий и традиционными методами преподавания.

Вместе с тем, как любая форма обучения, дистанционное обучение имеет тот же комплексный состав: цели, обусловленные социальным заказом для всех форм обучения, содержание, определенное действующими программами для конкретного типа учебного заведения, методы, организационные формы, средства обучения.

Создание любого курса дистанционного обучения предполагает следующие инвариантные компоненты:

- общие сведения о курсе, его назначение, цели и задачи, содержание (структура), условие приема в группы обучения, итоговые документы. Эти сведения должны быть полностью открыты на сервере для ознакомления;
- справочные материалы по предметной области курса;
- блок анкет, позволяющий устанавливать контакт с пользователями;
- обучающий курс (ЭУ);
- блок заданий, направленных на усвоение материала и контроль его понимания;
- блок творческих заданий, направленных на самостоятельное усвоение знаний, умений, навыков в решении конкретных проблем;
- блок монитора успешности самостоятельной деятельности обучаемых, контроль результатов их работы.

Анализ отечественной и зарубежной теории и практики дистанционного обучения позволяет выделить характерные особенности в части дидактики:

- гибкость — обучающиеся, в основном, не посещают регулярных занятий в виде лекций, семинаров и занимаются в удобное для себя время, удобном месте и удобном темпе;
- модульность — каждая отдельная дисциплина (учебный курс) адекватна по содержанию определенной предметной области. Это позволяет формировать учебный план, отвечающий индивидуальным или групповым потребителям;
- параллельность — обучение может проводиться одновременно с учебой в ином месте, по иному профилю, а также при совмещении основного профиля деятельности с учебой, т.е. без отрыва от производства;
- дальное действие — расстояние от места нахождения обучающегося не является препятствием для эффективного образовательного процесса;
- асинхронность — обучающий и обучаемый реализовывают технологию обучения по удобному для каждого расписанию;
- охват — эту особенность называют массовостью. Количество обучающихся не критично.

В системе дистанционного обучения от обучающегося требуются исключительная самоорганизация, трудолюбие и определенный стандартный уровень образования, сочетающиеся с технологической подготовленностью и обеспеченностью для работы в компьютерных телекоммуникациях.

В 1998г. при кафедре АИС был открыт центр дистанционного обучения (ЦДО) КарГТУ. ЦДО внедряет современную форму обучения студентов специальности АИС и ИСБ с использованием INTERNET-технологии для студентов заочного отделения.

Коллективом преподавателей кафедры АИС разработан 51 электронный учебник по дисциплинам учебных планов заочной формы обучения. Электронный учебник содержит разделы теоретического изучения курса, комплекс практических и лабораторных заданий, теоретический материал и задания для курсового проектирования, электронную тетрадь, в которую обучаемый присылает свои отчетные материалы по курсу, тест для контроля результатов обучения. В 2001 году по дистанционной технологии обучалось более 200 студентов специальности АИС.

Сегодня наработан определенный опыт, и можно сделать некоторые выводы.

Так, представляется нецелесообразным в рамках дистанционного обучения стремиться полностью заменить преподавателя компьютером, тем более что обучаемый имеет возможность связаться с преподавателем напрямую через электронную почту или телеконсультацию. С другой стороны, при реализации системы дистанционного обучения на базе WWW-технологии возникает возможность осуществлять дифференцированный подход к обучению, учитывать уровень знаний по каждому разделу изучаемого материала и степень достижения промежуточных целей обучения. Наконец, учащийся может усваивать учебный материал в той последовательности и за то время, которое в наибольшей степени соответствуют уровню его индивидуальной подготовки.

Исходя из этого, при разработке проекта компьютерного учебника надлежит придерживаться следующего:

1. Доступ обучающегося (студента) к учебному материалу должен быть возможен в двух режимах — лекционном и справочном.

При лекционном режиме на экране дисплея последовательно возникают записи и рисунки, примерно так, как они возникают на доске во время лекции. Безусловно, на экране тексты появляются в более полном выражении, так как они содержат все необходимые комментарии. Обучающийся имеет возможность получать материал в том же темпе, в котором он получает его во время лекции. По заполнении экрана студент имеет возможность изучать этот материал произвольно долгое время, после чего нажатием клавиши мыши может перейти к следующему экрану.

В справочном режиме обучающийся имеет возможность сразу увидеть заполненный экран. Если же ему захочется увидеть лекционную последовательность подачи материала, то он может сделать это простым нажатием клавиши мыши.

2. Управление процессом доступа к материалу

должно быть максимально простым и ясным, то есть удовлетворять всем современным требованиям к графическому интерфейсу пользователя.

3. Полноценная реализация справочного режима работы требует создания подсистемы ссылок и виртуального перехода к фрагментам материала, содержащим искомые определения или обозначения.
4. Даже если соответствующий раздел монографии не содержал контрольных вопросов или задач, в компьютерном учебнике каждый раздел сопровождается продуманным набором контрольных вопросов. При этом желательно, чтобы при неверном ответе обучающийся также имел возможность обратиться к фрагменту текста, содержащему объяснительный материал.
5. Учитывая развитие современных средств мультимедиа, желательно максимально насытить подаваемый материал аудио- и видеоэффектами (такими, как запись голоса лектора, анимация изображений и т.д.).

Для создания компьютерных обучающих средств требуются знания квалифицированного программиста. В то же время при создании учебной программы необходим опыт преподавания конкретного предмета. Опыт создания и использования компьютерных обучающих программ показывает, что эффективность программ достигается, когда удается соединить и решить в комплексе методические, технические и психологические требования. Автор-педагог разрабатывает методику самостоятельного обучения, учитывая опыт изложения теоретического материала, различных способов контролирования, решения задач и примеров, возможных ошибок обучаемых при изучении материала, трудных мест в усвоении курса и т.д. При этом единственным ограничением для реализации этой методики являются технические возможности ЭВМ. Но автор не всегда может учесть трудности, которые возникают при общении обучаемого с компьютером. Обучаемый от общения с компьютером ожидает чего-то необычного: он воспринимает компьютер не как инструмент для изучения конкретной дисциплины, а как интеллектуальный комплекс. Решить эти проблемы можно, как правило, при совместной работе с методистом-психологом. Из всего сказанного следует, что коллектив для разработки обучающих систем для дистанционного обучения должен включать как минимум программиста, автора учебного курса и методиста-психолога. Результатом работы такого коллектива является создание компьютерного обучающего курса, учитывающего авторскую методику, в которой заложены психологические характеристики обучаемого, а также грамотно использованы возможности, предоставляемые компьютером.

Другой проблемой дистанционного обучения является использование технологии мультимедиа. Это сразу накладывает требования на видеовозможности компьютера, звуковые характеристики и наличие CD-ROM. Технология мультимедиа позволяет использовать текст, графики, видео и

мультипликацию в интерактивном режиме и тем самым расширяет области применения компьютера в учебном процессе. Для разработки мультимедиа программы необходимо соединить усилия художников, звукооператоров, сценаристов, монтажеров и других специалистов.

Для объединения всех необходимых специалистов целесообразно создать технический центр, инфостудию, включающие в себя:

- рабочую станцию монтажа, используемую для сборки отдельных компонентов и описания логики работы программы;
- рабочую станцию художника, используемую для подготовки графической информации и компьютерной мультипликации;
- технологический стенд подготовки звукового сопровождения;
- технологический стенд разметки видеоносителей используется для создания меток, по которым можно найти необходимый сюжет на видеодиске;
- технологический стенд подготовки текстов.

В настоящее время группа Регионального центра дистанционного технического обучения (РЦДТО) кафедры АИС совместно с профилирующими кафедрами ведет такую работу по ряду общеобразовательных дисциплин — физике, математике, казахскому языку, истории Казахстана и др.



Рис. 1. Схематическое представление РЦДТО

В связи с этим группой РЦДТО кафедры АИС разработаны общие правила создания электронных учебников, стандартизации их структуры, внешнего вида и содержания. Электронные учебники создаются на языке HTML, т.к. он совместим со стандартным приложением как в среде Windows, так и UNIX, позволяет создавать хорошо оформленные и компактные электронные учебники. Исходный текст документов открыт для чтения и редактирования, что позволяет вносить корректировки и обновления. Структура языка позволяет использовать гиперссылки, что облегчает обращение к любому разделу электронного учебника.

Для упрощения процесса создания электронного учебника были разработаны стандартные фреймы, представляющие собой файлы, в которые необходимо вставить созданные ранее HTML-документы и в случае необходимости изменить некоторые параметры.

К стандартным фреймам электронного учебника относятся следующие файлы:

Имя файла	Назначение
1	2
index.htm	Фрейм первой страницы электронного учебника. Содержит:
1	2
	- Верхнюю строку, взятую в синюю рамку, в которой указывается информация о том, что приложение является электронным учебником. - Нижнюю строку, взятую в синюю рамку, в которой содержится ссылка на основную страницу учебника для изучения материала. - Оставлено пустое пространство для размещения ссылки логотип учебника.
top.htm	Содержит название дисциплины в синей рамке. Располагается в верхней части экрана.
menu.htm	Содержит ссылки на основные разделы электронного учебника. Располагается в нижней части экрана.
main.htm	Основной Фрейм. Объединяет три фрейма: «Фрейм названия», «Фрейм Меню» и файл созданного HTML-документа. Информация в третьем фрейме постоянно меняется в зависимости от выбранной ссылки из файла Меню или из ссылки внутри документов.
style.css	Файл, содержащий правила для работы учебника (выполняет выделение другим цветом ссылок при наведении на них курсором, содержит размеры и стили шрифтов для «Фрейма названия» и «Фрейма Меню»). В случае отсутствия данного файла Фреймы откроются в браузере некорректно.

Каждый учебник должен иметь идентификационный логотип. Это изображение помещается на начальную страницу. Размеры фотоизображения должны соответствовать:

Ширина = 20,5 см.

Высота = 5,12 см.

Разрешение 72 пиксели/дюйм.

Например:



Рис. 2. Начальная страница электронного учебника «Операционные системы»

Таким образом, создание полноценных систем дистанционного обучения еще только начинается, но это направление, безусловно, имеет огромные перспективы.

Изменение условий труда во многих производственных отраслях и постоянно возрастающий объем необходимых знаний требуют изменения и дополнения традиционных методов подготовки специалистов. Возникает потребность создания совершенно новых информационно-технологических систем, которые позволили бы большому числу людей повышать свою квалификацию и необходимые знания. Сочетание возможностей телекоммуникаций и компьютерных технологий, в частности, мультимедиа, трансформируют традиционные формы заочного обучения в дистанционные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Представление и использование знаний / Под ред. Х.Уэно, М.Исудзука. М.: Мир, 1989.
2. Гарнаев А. Visual Basic 6.0. Разработка приложений. СПб: БХВ-Санкт-Петербург, 2000.
3. Баррет Д., Ливингстон Д., Браун М.. JavaScript. Web-профессионалам / Пер. с англ. Киев: Издательская группа ВНУ, 2001. 240с.

Раздел 2

Машиностроение. Металлургия

УДК 621.9-529

М.Р. СИХИМБАЕВ

Рекомендации по проектированию и применению управляемой технологической оснастки

Система стабилизации положения формообразующей вершины резца (САУСВР) обеспечивает существенное повышение точности размера, формы и расположения растачиваемых отверстий и, как следствие, расширяет технологические возможности станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы [1,2,3].

Технико-экономический эффект от использования данной оснастки обусловлен:

- уменьшением количества рабочих ходов, необходимых для достижения заданной точности, по сравнению с обработкой без системы, снижением требований к точности предварительной обработки;

- возможностью, в обоснованных случаях, назначать чистовое точение в качестве окончательного вида обработки, поскольку точность формы и расположения, достигаемая с применением системы, сравнима с точностью отделочных видов обработки.

Как показали исследования [2,3], система не безразлична к габаритам обрабатываемых поверхностей, состоянию оборудования и условиям процесса обработки поверхности. В связи с этим необходима методика проектирования подобных систем с учетом конкретных условий обработки. Предлагаемый методический подход к проектированию систем для расширения технологических возможностей метода обработки отверстий растачиванием с использованием САУСВР заключается в исследовании точностных характеристик — преимущественно неравномерности

припуска, на переходах обработки, предшествующих растачиванию, а также предельных величин упругих отжатый инструмента, управление которыми будет осуществляться.

Система автоматического управления, работающая по принципу стабилизации положения вершины резца, предназначена для компенсации упругих смещений управляемого элемента технологической системы (в данном случае — резца), которые обусловлены колебаниями сил резания и неравномерной жесткостью технологической системы в различных направлениях.

Известно [4,5], что систематические погрешности от упругих отжатый технологической системы могут быть компенсированы подналадкой инструмента или введением предсказаний в траекторию относительных перемещений инструмента и детали (например, токарная обработка) с помощью органов управления станка по результатам предварительных измерений заготовки. Управление погрешностями расположения и формы поверхностей, которые являются следствием действия переменных (случайных) силовых воздействий, такими способами невозможно из-за отсутствия информации о текущем значении погрешности (текущем радиусе обрабатываемой поверхности) и недостаточного быстродействия исполнительных механизмов станка. Для реализации управления погрешностью расположения и формы необходимо, чтобы система САУСВР отвечала определенным технологическим

требованиям по быстродействию обработки управляющего воздействия.

По принятии решения об использовании САУСВР необходимо выполнить обследование номенклатуры обрабатываемых деталей и получить статистические данные о вариациях припуска, рассеивания размеров и расположения поверхности, соответствующих предварительной обработке. Наиболее полную информацию можно получить, используя измерительные машины серии «OPTON», развитое программное обеспечение которых позволяет получить информацию в обработанном виде. Эти данные необходимы для оценки возможностей применения управляемой технологической оснастки, работающей по принципу стабилизации положения вершины резца.

Наибольший интерес представляют предельные значения глубины резания $t_{\max}$, которые определяют, в основном, величины упругих отжатий резца при резании и являются входными характеристиками для системы управления. После получения информации о колебаниях глубины резания этапы проектирования технологической оснастки выполняют в следующем порядке:

- с учетом фактических значений глубины резания определить значения составляющих силы резания P_X и P_Y по формулам:

$$P_Y = C_p [t \varphi]^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_p;$$

$$P_X = C_p [t \varphi]^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_p;$$

- определить значение величины упругих отжатий инструмента (y) подстановкой значений P_X и P_Y в уравнение продольно-поперечного изгиба стержня [6]:

$$y = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{C_p [t \varphi]^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_p r + C_p [t \varphi]^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_p l}{EJ} \times \\ \times 1 - \cos kx - \frac{1}{k^3} \frac{C_p [t \varphi]^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} K_p}{EJ} kx - \sin kx ;$$

- исходя из требований по точности обработки поверхности, заданной чертежом детали, определить значение передаточной функции системы управления, которая обеспечит заданные параметры точности детали при известных (предельных) значениях погрешности заготовки;

- используя программный пакет для расчета параметров САУ «MatLab ver. 6.1» определить значения коэффициентов T_1 , T_2 , T_3 , k , k_{OC} , которые обеспечат системе управления расчетное значение передаточной функции по характеристикам переходного процесса и полосе пропускания частот системы.

При реализации САУСВР необходимо обеспечить следующие технологические требования.

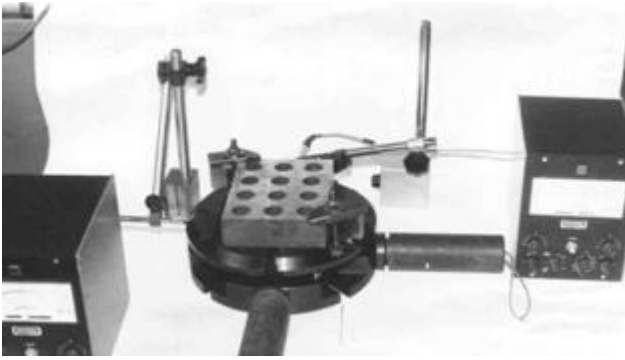
1. Обеспечить высокую точность измерений упругих отжатий вершины резца в пределах 0-0,04 мм при условии линейности характеристики датчика. Для этой цели целесообразно применение емкостных датчиков перемещений, имеющих высокую чувствительность, малые габариты и высокий уровень выходного сигнала.

2. Выбрать исполнительный двигатель, позволяющий производить управление отжатиями пропорционально уровню сигнала датчика с точностью обработки управляющего воздействия не менее 0,001 мм. Целесообразно применение в качестве исполнительного двигателя пьезоэлектрических электромеханических преобразователей перемещений, имеющих диапазон управляющих перемещений $\pm 0,04$ мм при напряжении питания 300 В (собственная частота колебаний $f = 10$ КГц, развиваемое усилие $P_T = 12000$ Н при длине двигателя $L_d = 215$ мм и диаметре $D_d = 20$ мм).

3. Разработать конструкцию устройства для управления положением инструмента для выбранного метода обработки и типа станка. Следует убедиться в отсутствии механического резонанса устройства с резцом в рабочем диапазоне частот. При проектировании устройства необходимо обеспечить не менее чем пятикратное превышение частоты собственных колебаний устройства над частотами возмущающих воздействий, а также не менее чем пятикратное превышение частоты собственных колебаний оправки над частотой собственных колебаний устройства.

Эта система может использоваться для подналадки резца как по результатам измерений размеров отверстий, так и по расчетным зависимостям, позволяющим определить величину подналадочного перемещения резца. Система может быть использована для управления траекторией движения вершины резца по результатам предварительных измерений геометрических погрешностей заготовки с помощью специальных измерительных щупов, устанавливаемых в шпиндель станка. Перемещения щупа, преобразованные в электрический сигнал, заносятся в память системы управления станка. Затем по программе производится расчет величин управляющих воздействий в соответствующих точках траектории движения вершины инструмента. Воздействия подаются на усилитель мощности, на исполнительный двигатель оснастки для управления траекторией вершины резца. Аналогичным образом возможно получение отверстий требуемого профиля, отличающегося от окружности.

Перспективным представляется управление расположением отверстий, которое зависит от погрешности позиционирования станка и смещений детали в процессе резания вследствие переменной силы резания и жесткости технологической системы в различных направлениях. Для этих целей может быть использован двухкоординатный стол (см. рис.), оснащенный пьезоэлектрическими электромеханическими преобразователями перемещений.



Двухкоординатный управляемый стол

Периодические смещения детали компенсируются по результатам их измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях по принципу, аналогичному компенсации упругих смещений вершины резца. Погрешность позиционирования станка компенсируется внесением поправки. Разработанная управляемая технологическая оснастка используется для управления упругими смещениями вершины резца путем их компенсации. Необходимое быстрое действие для управления погрешностью расположения и формы отверстия обеспечивается работой системы автоматического управления в аналоговом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сихимбаев М.Р. Демпфирование колебаний резца при растачивании отверстий // Труды университета. Караганда: КарГТУ, 2000. №1. С. 6-7.
2. Сихимбаев М.Р. Экспериментальные исследования технологической оснастки для управления точностью обработки при растачивании отверстий // Там же. 2002. №3. С. 21-22.
3. Сихимбаев М.Р. Исследование системы автоматического управления для стабилизации формообразующей вершины металлорежущего инструмента // Там же. С. 13-14.
4. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. 379с.
5. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. 304с.
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1974. 560с.

УДК 622.7(6)

Св.С. КВОН
Б.А. ЖАУТИКОВ

Разработка способов повышения срока эксплуатации армировки шахтных стволов

Эффективная эксплуатация шахт и рудников в значительной мере связана со стабильной работой шахтного подъема. Поэтому исследования, направленные на повышение долговечности и надежности армировки стволов, весьма актуальны. Как показал практический опыт работы, долговечность проводников и взаимодействующих с ними направляющих устройств скипов (башмаков скольжения) обуславливается, в основном, скоростью механического и коррозионного износа элементов, причем наибольшее значение имеет механический износ.

Механический износ является следствием взаимодействия поверхностей направляющих устройств скипов и проводников. При этом интенсивность износа определяется величинами горизонтальных нагрузок в системе «проводник-подъемный сосуд» и коэффициентом трения между поверхностями, т.е. природой и свойствами материалов трущихся поверхностей.

Величину горизонтальных нагрузок, действующих в системе «проводник-подъемный сосуд», определяют следующие факторы:

- статическая неуровненность сосуда и груза относительно точки подвеса;
- характеристики каната, влияющие на величину момента кручения и поперечных колебаний каната.

Кручение подъемных канатов и, как следствие, поворот подъемных сосудов вокруг вертикальной оси, приводят к увеличению статических и динамических нагрузок на армировку ствола и влияют на износ направляющих элементов подъема. Осевая сила,

растягивающая проволочный канат, создает скручивающий момент. Поэтому растяжение каната сопровождается его кручением, что вызывает кручение подъемного сосуда при движении его в проводниках.

Известно, что перемещение прямого каната под осевой нагрузкой описывается системой дифференциальных уравнений, устанавливающих зависимость перемещения поперечных сечений каната относительно его оси от действия осевой нагрузки и скручивающего момента. При этом учитывается растяжение каната от концевой груза и собственного веса.

$$A \frac{du}{dx} + B \frac{dv}{dx} = -T,$$

$$C \frac{du}{dx} + B \frac{dv}{dx} = -M,$$

где u и v — продольное и угловое перемещения поперечных сечений каната относительно его оси;

A — коэффициент жесткости каната при чистом растяжении;

B — коэффициент жесткости каната при чистом кручении;

C — коэффициент, учитывающий взаимное влияние кручения и растяжения;

T, M — соответственно осевая нагрузка и скручивающий момент.

Значения коэффициентов жесткости зависят от конструкции и свойств материала подъемных канатов.

Анализ решения показывает, что реактивный момент кручения линейно возрастает при увеличении высоты подъема. Таким образом, с увеличением высоты подъема, погонного веса каната и концевой нагрузки действие реактивного момента на проводники вызывает односторонний износ проводников, который будет возрастать по мере опускания по стволу.

Односторонний износ проводников можно предотвратить путем снятия с каната момента кручения. Этого можно добиться, например, подвеской скипа с помощью вертикального прицепного устройства. Другим способом снижения крутящего момента может быть использование в качестве головных малокрутящихся канатов (ГОСТ 3088-80).

Второй важной механической причиной снижения долговечности элементов армировки является, как уже отмечалось выше, статическая неуравновешенность сосуда и груза относительно точки подвеса. Для определения и снижения степени статической неуравновешенности, характеризующей эксцентриситетом центра тяжести, и последующей балансировки скипа могут быть использованы различные методы. На стадии изготовления скипа в заводских условиях после сборки подъемный сосуд подвешивают на раме и с помощью отвесов и противовеса выверяют состояние равновесия [1]. В условиях эксплуатации снижение неуравновешенности скипа может быть реализовано на специальном стенде.

Для определения эксцентриситета центра тяжести скипа целесообразно использовать измерительно-расчетный метод. С этой целью рассмотрим систему координат, в которой ось z параллельна оси подъема, ось y лежит в плоскости направляющих устройств, ось x перпендикулярна плоскости направляющих устройств. Подъемный сосуд (скип) весом Q одним ребром шарнирно опирается на абсолютно жесткую опору A , а другим — на упругую опору B . Расстояние между опорами l . Упругая опора представляет собой пружину с известной жесткостью C . В процессе измерения определяется статическая осадка пружины δ .

Сосуд опирается последовательно на ребра, параллельные осям x , y , z . Положение центра тяжести сосуда определяется координатами x_0, y_0, z_0 :

$$x_0 = \frac{c\delta I_{x_0}}{Q}; \quad y_0 = \frac{c\delta I_{y_0}}{Q}; \quad z_0 = \frac{c\delta I_{z_0}}{Q}.$$

Статическая неуравновешенность груженого скипа или порожнего сосуда после его ремонта при изменении конструкции (наварке дополнительных элементов) может быть определена путем замера усилий, действующих на направляющие башмаки. В этом случае смещение центра тяжести скипа относительно оси каната может быть найдено из уравнения

$$b \cdot F = a \cdot Q, \quad a = \frac{F \cdot b}{Q},$$

где b — зазор между направляющим устройством и проводником;

F — горизонтальная нагрузка на проводник.

Зная величину статического момента Q_a , можно определить вес центрирующего груза G , который можно расположить на смотровой площадке скипа. Если h — расстояние центрирующего груза до оси подвески скипа, то необходимая величина этого груза находится из уравнения

$$h \cdot G = a \cdot Q,$$

откуда

$$G = \frac{a \cdot Q}{h}.$$

Параметры центрирующих грузов должны быть получены расчетным путем после проведения измерений реакции башмаков для скипа в порожнем и груженом состояниях. Проведение комплекса работ по балансировке скипов позволит снизить износ проводников скиповых стволов, а следовательно, увеличить срок их эксплуатации.

К физическим причинам снижения долговечности армировки, связанным, в основном, с природой и свойствами используемых материалов, можно отнести:

- низкую твердость и износостойкость поверхности проводников;
- низкую твердость и износостойкость материала направляющих устройств скипов;
- высокий коэффициент трения в паре «проводник-направляющие», обусловленный свойствами трущихся поверхностей [2].

Для устранения или уменьшения физических причин снижения долговечности элементов армировки необходимо детальное знание структуры и свойств используемых материалов. С этой целью были приведены подробные металлографические исследования материалов проводников и направляющих. Результаты проведенных исследований приведены в таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МАТЕРИАЛОВ РЕЛЬСОВЫХ ПРОВОДНИКОВ
И НАПРАВЛЯЮЩИХ СКИПОВ

Элемент армировки	Материал	Термическая обработка	Структура	Твердость поверхности, НВ
Проводник	М71пс	отсутствует	перлит + феррит	200-210
Направляющие скипа (башмаки скольжения)	Аст3...ст5	гомогенизирующий отжиг при 800°C	перлит + феррит	160-190

Как видно из данных таблицы, используемые материалы, как для проводников, так и для направляющих башмаков, заведомо обладают низкой твердостью и, следовательно, невысокой износостойкостью. Так как в качестве материала для изготовления проводников применяется высокоуглеродистая сталь марки М71 (содержание углерода от 0,7 до 0,75%), то реальным способом повышения поверхностной твердости является введение упрочняющей термообработки [3].

Проведенные лабораторные эксперименты позволяют рекомендовать в качестве такой

термообработки одностадийную газопламенную поверхностную закалку. В результате такой термообработки сталь М71 приобретает структуру сорбит закали, обладающую механическими свойствами, отвечающими требованиям эксплуатации, и достаточно высокой твердостью порядка 350 НВ. Износостойкость такой структуры по сравнению с исходной возрастает в 1,5-1,8 раза.

Для реализации процесса газопламенной закали проводников была разработана и опробована в промышленных условиях специализированная установка [6]. Для производства направляющих устройств скипов в условиях УД ОАО «Испат-Кармет» используются мягкие материалы типа малоуглеродистых сталей с целью обеспечения оптимальных условий трения. Мягкие малоуглеродистые стали играют в системе «проводник-направляющие» роль смазки, тем самым обеспечивая достаточно низкий коэффициент трения.

Снижение интенсивности износа поверхности направляющих может быть обеспечено повышением твердости материала. Введение термоупрочнения в качестве способа повышения твердости для малоуглеродистых сталей представляется нецелесообразным. Мартенсит, образующийся после закали подобных сталей, содержит не более 0,3-0,35% С, что обуславливает его низкую твердость. Реальным способом повышения твердости поверхности направляющих является замена малоуглеродистых сталей на другие материалы.

Учитывая характер нагрузок и условия эксплуатации направляющих, можно сформулировать требования, предъявляемые к материалу:

- высокая твердость;

- высокая красностойкость, т.к. в процессе эксплуатации развиваются достаточно высокие температуры в результате процесса трения.

Анализ литературных данных [4, 5] показал, что наиболее приемлемым материалом в данном случае

являются высокохромистые чугуны марок ИЧХ2842, ИЧХ15М3 и т.д. Высокохромистые чугуны обладают хорошими литейными и механическими свойствами и очень высокой твердостью порядка 480-500 НВ. Микроструктура высокохромистых чугунов представляет собой аустенитную вязкую, относительно мягкую матрицу с очень твердыми карбидными включениями. Подобная микроструктура, согласно принципу Шарпи о полной инверсии фаз [5], обеспечивает наиболее низкую скорость износа и невысокие значения коэффициента трения, т.к. вязкая матрица играет роль смазки.

Проведенные промышленные испытания по замене углеродистых сталей на высокохромистые чугуны подтвердили правильность выбора материала. Срок службы направляющих за счет снижения износа увеличился в 15-20 раз. Таким образом, все предлагаемые меры по повышению долговечности армировки стволов можно разбить на две группы:

I группа – меры, снижающие механические причины износа;

- статическая балансировка скипов;
- применение малокрутящихся канатов;
- использование вертлюжных прицепных устройств для снятия с каната момента кручения.

II группа – меры, устраняющие или снижающие физические причины:

- введение газопламенной поверхностной закали проводников с целью повышения их твердости и износостойкости;
- использование высокохромистых чугунов в качестве материала направляющих скипов.

Использование перечисленных мер повышения долговечности, тем более в комплексе, значительно увеличивает срок службы элементов армировки скиповых стволов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркуша Н.Г., Дворников В.И., Храмов А.А. Некоторые вопросы нормирования износа жестких армировок стволов глубоких шахт // Вопросы подъема глубоких шахт. Киев: Наукова думка, 1974. С. 207-214.
2. Механические свойства: Справочник / Под ред. Д. Бернштейна. М.: Металлургия, 1987. 540с.
3. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1989. 617с.
4. Бордо А.Д. Легированные чугуны. М.: Металлургия, 1987. 312с.
5. Шапранов И.Л., Сборник А.Д. Высокопрочные и специальные чугуны. М.: Машпром, 1983. 39с.
6. Повышение износостойкости проводников в стволах шахт методом газопламенной закали // Информ. листок КазНИИНТИ. №76-91. 1991. 4с.

Ә ОЖ 621.791:658.386.06

Т.Г. ШЫҒАЕВ
И.Ә. МЕДЕУБАЕВ

Дәнекерлеушілерді дайындауға арналған тренажерлер

Дәнекерлеу құрылымдарын дәнекерлеуде жоғары талаптар қойылады, дәнекерлеушінің жеке дара кәсіптік шеберлігіне байланысты орындалған жұмыстың тауарлық түріне, өсіп келе жатқан талаптар дәнекерлеушінің сапалық дәрежесін, дайындық деңгейін анықтайды.

Мамандықтың мәнділігі көп жылдық тәжірибенің қорытындысы ретінде жұмыстар талап етіледі. Осы-

ған байланысты дәнекерлеушіге практикалық әдістерді меңгеруде үлкен міндеттер қойылады. Практикалық әдістерге оқытуда мұғалім алдымен көп уақытын дәнекерлеу процестерінің жекелеген жағдайларын көрсетуге жұмсайды.

Дәнекерлеушіні практикалық оқытуда дидактикалық-әдістемелік оқыту деңгейін жоғарылатып мұғалімнің ұйымдастыру және еңбекке

жұмсалатын уақытын азайтып, ақпаратты бақылау қондырғыларын қолданып іске асыру мүмкіндіктері артады [1,2].

Электр дәнекерлеушілерді жеделдетіп даярлау жүйесінде арнайы жасалған дыбысты фильмдер қолдану тиімді, яғни дәнекерлеу процестерін көрсетіп түсіндіріп отыратын. Проекциялық қондырғылар қолданған аса тиімді, экранда дәнекерлеу ваннасының үлкейтілген көрінісін, жіктің пайда болу процесін, электрод қозғалыстарын көрсетуге болады.

Оқыту процесінде жоғары нәтижелерге бейне жазуды енгізу арқылы, екіге бөлінген экранда көрсету техникасында орындағанда, яғни дәнекерлеушінің қол қимылын, электрод немесе жанарғы қозғалыстарын және дәнекерлеу ванналарын бір мизгелде көруге болады. Бейне жазуды бірнеше қайталап көру барысында оқушылардың даярлық деңгейлерін жоғарылатуға мүмкіндік туады.

Арнайы дәнекерлеу тренажерлерінде дәнекерлеушінің алдына қойылған мақсаттарға жетуі үшін дәнекерлеу процестерінің негізгі ақпарат көздері мен компоненттерін моделдеу болып табылады.

Кешенді дәнекерлеу тренажерлерінде дәнекерлеушінің сапалық дәрежесін анықтап оқыту бағдарламасы қарастырылған. Бұл тренажерде дәнекерлеушінің арнайы тренажерлерде үйренген әдіс тәсілдерін жұмыс істей отырып бекітеді. Осыған байланысты кешенді тренажерлерде көптеген толықтырылған бақылау жағдайлары және дәнекерлеу процесін басқаруда модулендірілген жүйелері қарастырылған.

Қарапайым орындалу айырмашылығы тренажер аргон доғалы дәнекерлеуде дәнекерлеушілерді оқыту барысында [3], дәнекерлеу доғасы шашыранды разрядпен қозғалады. Қоспалы сымды жақындату техникасын үйрену дегеніміз, үйренуші шашыранды разрядты электродпен металл аралығында ұстауға тиіс және қоспалы сымның түбіне өтпеуін қадағалауы керек. Қайтымды байланыс дыбысы және үйренушінің жұмысын толығымен бағалау мүмкіндіктері жетіспейді.

Қолмен доғалы дәнекерлеуде алғашқы әдістерді тренажердің көмегімен қабылдауға болады, яғни экструдер талабына сай [4]. Электродтық сым орнына паста тәріздес материал қолданып экструдер бункеріне салынып және шнек көмегімен қондырғылар арқылы дәнекерленетін үлгілерді дәнекерлеу жіктерін имитация жасай отырып жеткізеді. Бұл тренажердің тиімділігі пастаны бірнеше қайталап қолдануға болады. Бірақ алдыңғы жағдайдағы сияқты бақылау байланыстары жоқ, үйренушінің дайындық деңгейін бағалау үлкен мәселе.

Бастапқы қолмен дәнекерлеу әдістерін үйрену үшін тренажер [5] алынған, құрамында электрод қозғалысы, яғни төменгі жағында қозғалмалы шток, үстінен пружинамен қыстырылған. Штоктың төменгі ұшындағы қарындаш, оқыту процесінде тіркеу қағазында дискіде орналасқан, дәнекерлеу объектісінің қозғалысын айқындатып із қалдырып отырады. Штокты босату барысында дыбыстық шам жанады. Қозғалу іздерінің санына байланысты электрод қозғалысы қағаздан оқушының электродты

қозғай отырып алған әдіс, тәсілдерін байқауға болады, бірақ көзбен көру және құлақпен естіп сезу процестері жоқтығынан (дәнекерлеу ваннасы, доға, дәнекерлеу шуылы) педагогикалық оқыту тиімділігін төмендетеді. Сонымен қатар оқушыда доғаны дұрыс ұстамай жабыстыру сияқты жаман әдеттер пайда болуы мүмкін, бұл үлкен жетіспеушілік.

Электродты біркелкі қозғалту әдісін бекіту үшін дәнекерлеу кестесіне байланысты келесі қондырғы, құрамында қаңқа, электродты және дәнекерленетін деталді қозғалтатын, сонымен қатар атқарылған жұмыстың дұрыстығын тіркеп отыратын құрал. Қаңқада жылдамдықты реттегіш орналастырылған, бағалаушы сияқты орындалған иілгіш элементте бекітілген, приводпен байланыстырылған. Деталді дәнекерлеуші қозғалтқышты иілгіш элемент бойында орналастырған, ал электрод ретінде жазатын құрал алынған. Үйренуші көз мөлшерімен дәнекерлеу процесінің жылдамдығын сақтап, жылдамдықты реттегіш сияқты етіп қозғалтады. Бұл тренажерде доғаның берілген ұзындығын оқыту әдісі шешілмеген, электродтың қандай бұрышта қозғалуы тексерілмейді, дәнекерлеу ваннасының қозғалысы жоқ, яғни бұл процесті оқытуда толық жетілдірілген деп атап өту жеткіліксіз.

Дәнекерлеу тренажерінің негізгі құрамдық элементін АҚШ-та жасап шығарды – қозғалатын ваннаны байқататын панель, яғни панель бетіне түсіп тұрған жарық сәуле перпендикуляр бағытталған ток көзін білдіреді. Электродты қозғалтқыш ұшы жылтыратылған бетпен жабықталған, дәнекерлеу ванна қозғалтқышынан сәуле экранға шағылысады, пайда болған шағылысқан сәуле дәнекерлеушіге жақсы көрінеді. Дәнекерлеу ваннасының қозғалысының сапасын бақылау және электрод қозғалысында бұрышты жоба бойынша және экрандағы сәуле орналасуынан байқауға болады. Тек көзбен қарап дұрыстығын тексеру үшін электрод қозғалысын, дәнекерлеу ваннасының қозғалысын қадағалауда, оқушының білім деңгейін бағалау қиындыққа апарып соғады.

Дәнекерлеу тренажерлерінде қосақтап сәуле көзін – фотоэлемент оқу барысында дәнекерлеу процесін дұрыс жүргізуі де қайтымды байланыс деңгейін жоғарылатуға мүмкіндік береді және әдістерді қабылдау процестерін жеңілдетеді.

Қолмен газ кескіш техникалық әдістерін оқытуға арналған тренажер, жанарғы ток көзімен байланысқан және ауыстырмалы қиынды объектілері (түзу және қиғаш кесіндімен) қаңқаға бекітілген. Ток көзінің сәулесі саңылау арқылы фотоэлементке бағытталады, қаңқада орналасқан, кесінді сызығының бойымен қозғалатын оптикалық, акустикалық немесе графикалық индикатормен байланысқан. Бұл тренажер кескішті біркелкі қозғалтып және дұрыс қиындылар шығаруда әдістерді қабылдауға көп көмегі тиеді.

Техникалық мағынасы және деңгейлі қайтымды байланыста ұйымдастыру біркелкілігі электр доғалы дәнекерлеу тренажерлері, модель болып қарастырылып отырған, ішінде ток көзі сәулесі бар, дәнекерлеу жіктерінде жарық өткізгіштік моделінде, электрод көрсеткіші, ұшында фотодатчик орналысқан, дыбыс

сигналы бар генератор. Тренажердің мүмкіндіктері көп, ауыспалы үлгілерге байланысты, дәнекерленген жіктерді көрсетеді. Белгіленген үлгілер аймағына шығу барысында және электродты дәнекерленетін объектіге кате тигізген кезде қателік сигналдық дыбыс шығады не шамы жанады. Бұл тренажердің жетіспеушілігі доға ұзындығын бақылауда және электродты дәнекерлеу объектісінен қандай бұрышта ұстап тұрғаны байқалмауында.

Қолмен аргон доғалы дәнекерлеу әдістеріне оқытып үйретуге қажетті тренажер, құрамында электродты дәнекерленетін және ұштарында ток көзі жарық орналасқан, жікті дәнекерлегіш, дәнекерлеу ваннасын қозғалу приводымен, басқару орны және қателерді санауға арналған. Бұл процесте оқыту барысында электродтардың ұсталу бұрышы сақталып, шеттеріндегі жарық көзінен қоспалы каналдар арқылы сәуле фотодиодқа келіп түседі, оның іске қосылуы дәнекерлеу ваннасын қозғалысқа келтіреді. Бір немесе екі жарық көздерін канал бойымен қозғалту барысында ваннаның қозғалысы тоқтап доғаның шуылы басылады, қателерінің санын және уақытын есептейтін есептеуіштер іске қосылып жұмыс орындала бастайды. Тренажердің тиімділік әдістерін қабылдау барысында электродтың өз ара қалай орналасатыны және қандай да бір жылдамдықпен жалғау үшін тігінен қозғалу барысындағы қоспаларды бақылауда, доға ұзындығының жетіспеушілігін бақылау мүмкін емес.

Дәнекерлеу жағдайларын моделдеу және қайтымды байланыстағы дыбыстық ескертуді ұйымдастыру тренажерлері мысалға бірдей деңгейде жазылған. Оларда дәнекерлеу процесінде электродтардың балқу жағдайы шешілген және доға ұзындығын аралықта ұстау қадағалынады. Сонымен қатар, тренажерлерде электрод пен дәнекерлеуші объект аралығындағы бұрышын тексеріп байқап отыруға мүмкіндік береді және электродтың белгіленген орнынан ауытқып кетпеуін қарастырады. Жоғары жиілік (ЖЖ) генераторларын қолданып – доғалардың бірігу жағдайын жақсартып, дәнекерлеу процесін шын болғандай етіп орындау. Жоғары жиілікті жарық шашыранды разрядпен электрографикалық қағазда белгіленеді. Үйренуші дәнекерлеуші берілген ұзын доғаны айыру барысында импульстер есептегіші іске қосылады, көрсеткішке

қарап отырып неше рет доға үзелгенін немесе электрод пен бұйым арасындағы доға қойыншаға алшақтағанын, яғни дәнекерлеуші дайындығын бағалауға болады. Негізгі жетіспеушілігі техникалық шешулерде, толығымен әлі қарастырып іздестіру кезеңінде қолданып жүрген техникалық құралдарды оқыту процесінде қолдану арқылы тиімділігін бағалауға болады.

Практикалық қолдануда тренажерлер жиынтығын дәнекерлеушілер даярлауда жан-жақты дайындық беруде Киев политехникалық институты, Киев механожинау зауытымен бірге әзірлеген.

Тренажерлер қажетті кәсіпқой дәнекерлеуші түзеткіштермен жұмыс істеу, сол сияқты кәсіпқой газбен дәнекерлеу әдістерін үйретеді. Алғашқы берілген доға ұзындығын кәсіпқой әдістеніп, дәнекерлеу жылдамдығын, тренажерде ақауларды дәнекерлеу оның құрамында электрод индукциялық катушкамен және жарық беттері, вертикаль және төбедегі жағдайдағы, ақпараттық панель, басқару және қадағалау блогымен жалғап үйренеді. Дұрыс жұмыс атқарғанын үренуші сандық индикатордан, доғаның айырылғандарын және қателерінің санының белгіленгенін, сол сияқты жарық көрсеткіш тақтадан «ақау дәнекерленді» және жарық жолдардан дәнекерлеу жылдамдығын байқай алады.

Брянск политехникалық институтының анықтама-лары бойынша тиімді және сенімді етіп қарапайым құрылымды тренажер жасап мамандыққа алғашқы дәнекерлеушілерді оқытуға болады. Құрылым- құрамында тренажерлер дәнекерлеу доғаларын үдеткіш, түзу сызықтық жіктерді дәнекерлеу, құбырларды дөңгелетіп жігін дәнекерлеу, қолмен доғалы процестерді көрсететін, аргонды доғалы және механикаландырылған дәнекерлеу бар. Әр тренажер құрамында басқару блогы және жіктерді дәнекерлеу көрсеткіштері, құралдар, сол сияқты қорғандырғыш шлем бар.

Барлық аталған тренажерлер қажетті дәнекерлеу сапаларын, үйлестіру қимылдарын, қол күштерінің статикалық төзімділігін жетілдіруге мүмкіндігін жасайды. Бірақ толық емес және бір жақты дәнекерлеу жағдайда ажырамайтын қайтымды байланыс көрсетуде, оқуда дәнекерлеуді дұрыстап жүргізуге оқушыға тұтас жұмыс динамикалық процесінен, тренажерден алған әдістерін келешекте қолдану үшін ұзақ уақыт еңбек етуді қажет етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Батышев С.Я. Научная организация учебно-вспомогательного процесса. М.: Высшая школа, 1980. 450 с.
2. Long R.E., Nielsen R.M. Welding Training Instructional Media Sustem // Welding I. 1978. N 4. P. 25-30.
3. Углов Е.Г., Грибов А.А. Тренажер для обучения сварщиков ручной дуговой сварке // Сварочное производство. 1974. №7. С. 47.
4. А.с. №718235 СССР, МКИ В 23 К 9/00. Тренажер для обучения сварщика / А.А.Гужавин, В.И.Оботуров, Ю.В.Попов и др. Опу бл. 28.02.80, Бюл. №8.
5. А.с. №235579 ЧССР, МКИ В 23 К 9/00, G 09 В 19/24. Trenager navycvik rucneho zvarania elektrikum oblukom / Zamecnik Ian. Опу бл. 15.02.87.

УДК 622.28.004.12

Г.С. ЖЕТЕСОВА
А.Ш. ЖУНУСОВА

Технический уровень механизированных крепей

Угольная промышленность Республики Казахстан за последние годы достигла высокого уровня развития. Увеличение добычи угля с одновременным улучшением его качества осуществляется путем комплексной механизации и автоматизации выемки угля при значительном сокращении доли ручного труда в очистных забоях угольных шахт.

Основными средствами механизации очистных работ при подземном способе добычи угля являются очистные выемочные механизированные комплексы. Эффективность работы очистных забоев, оборудованных механизированными комплексами, в значительной степени определяется соответствием конструктивных схем и параметров механизированных крепей горно-геологическим условиям их эксплуатации [1]. В Карагандинском угольном бассейне применяются 11 видов механизированных комплексов, оснащенных крепями различных типов (КМ130, ОКП70, 2ОКП70К, «Пиома», МК75 и др.).

Одним из основных показателей уровня использования техники является коэффициент машинного времени работы комбайна. В среднем по бассейну он колеблется в пределах от 0,11 до 0,52 (см. табл. 1) [2].

Анализ коэффициента машинного времени и потерь рабочего времени по комплексно-механизированным забоям показал, что общие простои в работе механизированных комплексов составили от 40% до 74,4%. Эти значительные потери времени произошли по причинам аварий с лавным и вневальным оборудованием, отсутствия внутришахтного транспорта, технологическим и организационным причинам. Немалое количество времени также занимают вспомогательные операции и техническое обслуживание выемочной машины, которые составили от 46 до 139 минут в смену по различным типам механизированных комплексов. Необходимо отметить, что простои, связанные с отказами секций механизированных крепей, составляют в среднем 35-40% от общего времени простоя по причине аварий лавного оборудования и равны 30-40 минутам в смену.

Таблица 1

СРЕДНИЕ ДАННЫЕ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАБОЧЕГО
ВРЕМЕНИ ДОБЫЧНОЙ СМЕНЫ В КОМПЛЕКСНО-
МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ (ПРОЦЕНТЫ)

Наименование показателя	Тип механизированного комплекса						
	ОКП70	МК75	КМ130	«Пиома»	КДС	«Глинник»	2ОКП70К
1. Работа выемочной машины, в том числе:							
- при полной нагрузке;	51,4	50,4	48,8	60,0	25,6	50,3	37,9
- при неполной нагрузке	36,7	33,5	40,0	51,9	17	40,0	24,4

	14,7	14,6	18,2	8,1	16,6	10,3	13,5
2. Несовместимые процессы	24,5	23,4	28,1	12,8	38,5	26,4	15,2
3. Простои по причине аварий с машинами и механизмами, в том числе:							
- с выемочными машинами;	9,5	9,3	10,6	13,8	17,4	10,3	26,6
- с механизированными крепями;	2,7	3,8	4,3	1,1	8,6	2,2	10,7
- с забойным конвейером	2,3	1,7	3,7	9,1	5,3	3,9	9,3
	4,5	3,8	3,4	3,6	3,5	4,2	6,6
4. Простои по другим причинам в лаве	7,3	4,6	5,4	7,6	13,1	6,7	11,2
5. Простои вне лавы (отсутствие внутришахтного транспорта и неполадки с ним)	7,3	7,3	7,1	5,8	5,4	6,3	9,1
6. Средняя продолжительность смены	100	100	100	100	100	100	100

Простои, связанные с отказами механизированных крепей, можно разделить на конструктивные, возникающие в результате ошибок при проектировании, и производственные, возникающие из-за несовершенства технологического процесса эксплуатации. При проектировании механизированных крепей более важным этапом является сравнительная оценка показателей качества конструктивных параметров элементов секций механизированных крепей.

Основными критериями при выборе показателей качества механизированных крепей являются: горно-технические условия применения крепи; тип крепи по способу управления и поддержания кровли; ее

конструктивная высота; удельное сопротивление крепи; угол падения пласта; удельное давление на почву. В табл. 2 приведены сравнительные данные показателей технического уровня различных механизированных крепей.

Несовершенство конструкций механизированных крепей является одной из причин нестабильных и низких нагрузок на очистной забой. Кроме того, на технический уровень горно-шахтного оборудования оказывают существенное влияние сопротивляемость угля резанию, управляемость кровли, технологическая нарушенность пласта, газообильность, водообильность.

Основной целью совершенствования технологических параметров механизированных крепей является сокращение времени и трудоемкости устранения производственных простоев механизированных комплексов. Так как все технологические процессы можно охарактеризовать трудоемкостью выполнения [3], следовательно, именно трудоемкость процессов является результативным признаком работы очистного забоя. Показателем производственных процессов механизированных крепей является функциональный критерий крепи, который можно определить по формуле [4]:

$$\lambda_e = 60mLV_e \frac{P}{Ll} = Q_e \rho,$$

где P — нагрузка на крепь, тс;

l — ширина поддерживаемого пространства лавы, м;

L — длина линейной секции крепи, м;

m — вынимаемая мощность пласта, м;

V_k — скорость перемещения фронта крепи за продвижением очистного забоя, м/мин;

Q_k — интенсивность закрепления выработанного пространства (производительность крепи), м³/ч;

ρ — удельная нагрузка на крепь, т/м².

Таблица 2

ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Наименование показателей	Тип механизированной крепи			
	2ОКП7 ОК	ОКП7 О	М130	М75
Показатели назначения: – удельное сопротивление на 1 м ² поддерживаемой площади, кН/м ² – несущая способность гидростойки, кН – коэффициент начального распора	600 1960 0,84	600 1900 0,40	720 2100 0,40	500 1600 0,40
Показатели надежности – средний ресурс до капитального ремонта, ч – наработка на отказ, ч	40000 10,7	20000 4,0	20000 14,7	20000 3,6
Показатели экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов: – удельная масса, кг/(кН м)	1,40	1,15	1,99	1,10
Показатели безопасности – коэффициент затяжки кровли	0,93	0,90	0,95	0,95
Показатели стандартизации и унификации – коэффициент применяемости, %	60,0	80,5	92,1	60,0

Таким образом, при создании механизированных комплексов нового технического уровня необходима сравнительная оценка не только единичных показателей конструктивных параметров механизированных крепей, но и функциональных показателей выполнения технологических процессов. Анализ хронометражных наблюдений в лавах, оснащенных механизированными комплексами, свидетельствует о значительных резервах по повышению экономической эффективности применения механизированных комплексов на шахтах бассейна при снижении аварийности выемочной машины, механизированных крепей, другого оборудования и затрат на вспомогательные операции. При устранении конструктивных и технологических недостатков механизированных крепей резко увеличится экономическая эффективность применения механизированных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докукин А.В., Коровкин Ю.А., Яковлев Н.И. Механизированные крепи и их развитие. М.: Недра, 1984. 288с.
2. Жетесов С.С., Нургузин М.Р., Жетесова Г.С. Развитие теории расчета механизированных крепей. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2003. 164с.
3. Жунусова А.Ш., Федярин Е.М., Туменов Т.Н. Оценка уровня технологической подготовки производства по комплексному показателю. Караганда: Изд-во КарПТИ, 1983. 10с.
4. Солод Г.И. Оценка качества горных машин. М.: Изд-во МГИ, 1975. 63с.

УДК 669.168

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

Выбор электрических и геометрических параметров рудно-термической печи РПО-60 МВА для выплавки углеродистого ферромарганца

Основной задачей анализа электрических параметров и геометрических размеров печи является изучение возможности перевода открытой прямоугольной рудно-термической печи,

предназначенной для выплавки карбида кальция, на выплавку углеродистого ферромарганца.

Рудно-термические электропечи, исходя из их предназначения, внешне не имеют принципиального

различия. Тем не менее, каждая ныне действующая рудно-термическая печь была спроектирована на определенный тип процесса и перевод их на другой процесс сопровождается ухудшением его технико-экономических показателей. При рассмотрении и сравнении выплавки двух различных сплавов — карбида кальция и углеродистого ферромарганца, при сходстве общих принципов работы (в обоих случаях плавка ведется в непрерывном режиме с периодическим выпуском продуктов плавки), главным технологическим отличием этих процессов является то, что выплавка карбида кальция — это бесшлаковый процесс, а выплавка углеродистого ферромарганца обязательно сопровождается образованием большого количества шлака. С точки зрения физико-химических превращений, проходящих в ванне печи, эти процессы сильно отличаются как по элементам, участвующим в процессах, соответственно свойствам соединений и фаз, которые они образуют, так и по температурным и электрическим режимам, требующим необходимого соответствия геометрических и электрических параметров печей.

Рудно-термическая печь №6 цеха В-20 Темиртауского химико-металлургического завода была спроектирована и рассчитана на выплавку карбида кальция. Соответственно электрические параметры печного трансформатора и геометрические параметры печи позволяли достигнуть оптимальных показателей процесса выплавки карбида кальция. Для анализа возможности перевода карбидной печи на производство углеродистого ферромарганца необходимо было изучить электрические и геометрические параметры существующей печи и по результатам исследований провести необходимую реконструкцию.

В цехе В-20 Темиртауского химико-металлургического завода установлены три прямоугольные трехэлектродные открытые печи с мощностью трансформатора 60 МВА (электропечи №№ 4, 5, 6). Для перевода на выплавку углеродистого ферромарганца выбрана печь №6. Геометрические размеры рабочего пространства электропечи №6 имели следующие параметры:

- размер электрода, а х b, мм — 3200 х 800;
- распад электродов (по осям), мм — 2800;
- рабочее пространство ванны, мм — 7758 х 5756 х 3170;
- размер печи по кожуху, мм — 10900 х 8900 х 5600.

Электрические параметры печного трансформатора для рудно-термической печи РПО-60 МВА приведены в табл. 1.

Таблица 1

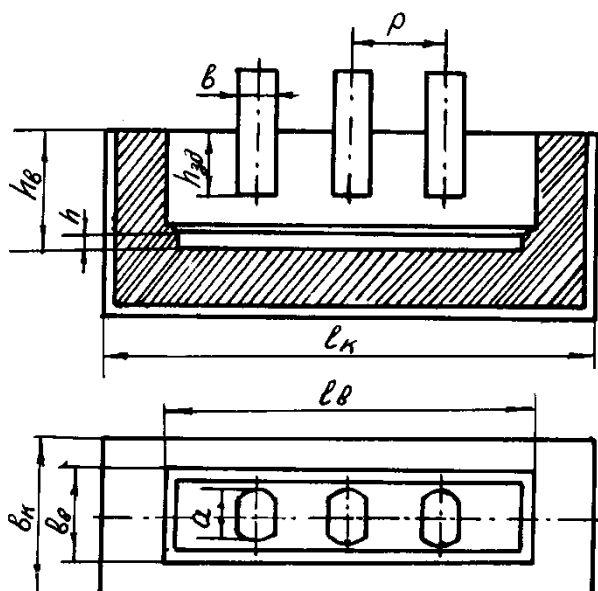
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЧНОГО
ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПЕЧИ РПО-60 МВА**

Ступени	Соединение Δ		Соединение «звезда»	
	напряжение низ-кой стороны, В	ток низкой стороны, А	напряжение низ-кой стороны, В	ток низкой стороны, А
1	290	119450	167,4	119450
2	283,8	-//-	163,8	-//-
3	277,7	-//-	160,8	-//-
4	271,5	-//-	156,7	-//-

5	265,4	-//-	253,2	-//-
6	259,2	-//-	149,6	-//-
7	253,1	-//-	146,1	-//-
8	246,9	-//-	142,5	-//-
9	240,8	-//-	139	-//-
10	234,6	-//-	134,5	-//-
11	228,5	-//-	131,9	-//-
12	222,3	-//-	128,3	-//-
13	216,2	-//-	124,8	-//-
14	210	-//-	121,2	-//-
15	208,8	-//-	217,6	-//-
16	197,7	-//-	114,1	-//-
17	191,5	-//-	110,5	-//-
18	185,4	-//-	107	-//-
19	179,2	-//-	103,4	-//-
20	173,1	-//-	99,9	-//-
21	166,9	-//-	96,3	-//-
22	160,8	-//-	92,3	-//-
23	154,6	-//-	89,2	-//-
24	148,5	-//-	85,7	-//-
25	142,3	-//-	82,1	-//-
26	136,2	-//-	78,6	-//-
27	130	119450	75	119450

В настоящее время в результате обобщения данных работы ферросплавных печей в литературе имеются эксплуатационные показатели «образцовых» печей [1]. Основными показателями служат энергетические параметры ферросплавной печи, соответствующие конкретным процессам выплавки определенного типа ферросплава. Соответствие их образцовым показателям позволяет расчетным путем определить возможность перевода печи на другой процесс без проведения реконструкции печи, за счет выбора ступеней трансформатора или с проведением реконструкции печи и также с выбором оптимальных параметров трансформатора.

Сложная картина токораспределения и теплогенерации в ванне ферросплавной печи не позволяет создать рациональные соотношения геометрических размеров аналогично дуговым сталеплавильным печам, поэтому параметры ферросплавных печей рассчитывают из условия геометрического подобия ванн, действующих печей с высокими технико-экономическими показателями, выбираемых в качестве образцовых. Согласно данным [1], значения симплексов линейных размеров ванн ферросплавных печей приведены на рисунке.



Зная геометрические размеры ванны, необходимо проверить удельные энергетические показатели карбидной печи на соответствие образцовых показателей и оценить возможность перевода печи на выплавку углеродистого ферромарганца. В табл. 2 приведены эксплуатационные показатели «образцовых» ферросплавных печей. Оптимальные соотношения геометрических и электрических параметров выражаются в виде удельных энергетических показателей. Плотность мощности в сечении ванны $(q_s)_в$, кВт/м²:

$$(q_s)_в = P_в / (l_в \cdot b_в), \quad (1)$$

где $P_в$ — активная мощность ванны, МВт;
 $l_в$ — длина ванны, м;
 $b_в$ — ширина ванны, м.

Плотность мощности в сечении, ограниченном распадом электродов по осям $(q_s)_р$, МВт/м²:

$$(q_s)_р = P_в / P^2, \quad (2)$$

где P — распад электродов, мм.

Таблица 2

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ «ОБРАЗЦОВЫХ»
 ФЕРРОСПЛАВНЫХ ПЕЧЕЙ

Сплав	Удельные значения мощности			
	$(q_s)_в$, кВт/м ²	$(q_s)_р$, МВт/м ²	$(q_v)_в$, кВт/м ³	$(q_v)_ф$, кВт/м ³
Ферросилиций				
ФС75	420-490/-	1,6-2,2/-	180-200/-	360/-
ФС65	480/ 380-430	2,1/ 1,8-1,9	240/ 120-180	440/330
ФС45	-/440-500	-/1,9-2,0	-/150-200	-/330
ФС25	-/540-600	-/2,4-2,5	-/190-230	-/360
Ферросиликохром	500/ 340-360	2,1/ 1,8-2,3	240/ 130-150	430/330
Феррохром высокоуглеродистый	260/260	1,5/1,5	120/50	200/160
Низкоуглеродистый	580-620	4,5-8,1	Нет св.	-
Силикомарганец ферро-	300-420/	1,9-2,3/	100-120/	270-330/
марганец углеродистый	170-350	1,1-1,9	50-110	160-260
Низкофосфористый марганцевый шлак	340	3,1	310	-
Ферровольфрам	Нет св.	3,2	-	-
Силикокальций	520-560/-	1,9-2,3/-	240-260/-	400/-

Силикоалюминий	425-450/-	1,7-1,9/-	190-200/-	310/-
----------------	-----------	-----------	-----------	-------

*) Числитель для открытых ФСП, знаменатель для закрытых ФСП.

Объемная плотность мощности $(q_v)_в$, кВт/м³:

$$(q_v)_в = P_в / (l_в \cdot b_в \cdot h_в) = (q_s)_в / h_в, \quad (3)$$

где $h_в$ — глубина ванны, м.

Объемная плотность мощности в фактическом объеме ванны $(q_v)_ф$, кВт/м³:

$$(q_v)_ф = P_в / (N v_ф) = P_в / v_ф, \quad (4)$$

где $v_ф = P^2 \cdot h_ф - a_{эо}^2 \cdot h_{эо}$; $h_ф = 0,5 \sqrt{3} \cdot h_в$ — высота действующего объема ванны $v_ф$;

N — число электродов.

Для выбора оптимальных геометрических параметров расчеты удельной мощности печи проводили по формулам 1-4.

В табл. 3 сведены основные электрические и геометрические характеристики электропечи до проведения реконструкции и удельные значения мощности данной печи (табл. 4).

Таблица 3

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ
 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПЕЧИ №6 для выплавки
 КАРБИДА КАЛЬЦИЯ

№/№	Наименование параметров	Показатель
1	Номинальная мощность электропечи, кВА	60000
2	Напряжение трансформатора высокой стороны, В	110000
3	Диапазон линейных напряжений трансформатора:	
	при соединениях по треугольнику, В	290-130
	при соединениях на звезде, В	165-75
4	Вторичный ток на электродах, А	119450
5	Размер электрода, мм	3200 x 800
6	Плотность тока в сечении электрода, А/см ²	4,67
7	Распад электродов (по осям), мм	2800
8	Размеры рабочего пространства в ванне электропечи, мм	7758 x 5756 x 3170
9	Размер электропечи по кожуху, мм	10900 x 8900 x 5600

Таблица 4

УДЕЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ (ДО РЕКОНСТРУКЦИИ)

Ступени	$(q_s)_в$, кВт/м ²	$(q_s)_р$, МВт/м ²	$(q_v)_в$, кВт/м ³	$(q_v)_ф$, кВт/м ³
1	967,4	5,5	305,17	1011,6
2	945,6	5,38	298,3	990,0
3	925,3	5,27	291,9	968,7
4	904,7	5,15	285,4	947,2
5	884,3	5,04	278,96	926,1
6	863,6	4,92	272,43	904,3
7	843,3	4,80	266,03	882,9
8	822,7	4,68	259,5	861,1
9	802,4	4,57	253,1	840,0
10	781,7	4,45	246,6	818,5
11	761,2	4,34	240,1	797,1
12	740,6	4,22	233,6	776,0
13	729,3	4,10	227,2	754,0
14	699,6	3,98	220,7	732,4
15	695,6	3,96	219,4	728,4
16	658,7	3,75	207,8	689,5
17	638,0	3,63	201,3	668,2
18	617,7	3,52	194,9	647,1
19	597,0	3,4	188,3	625,0
20	576,7	3,28	181,9	603,7
21	556,0	3,17	175,4	582,1

22	535,8	3,05	169,0	560,8
23	515,1	2,93	162,5	539,2
24	494,8	2,82	156,1	518,1
25	474,1	2,7	149,5	496,3
26	453,8	2,58	143,1	475,0
27	433,1	2,47	136,6	453,4

Как видно из табл. 4, оптимальными электрическими режимами работы печи для выплавки карбида кальция являются высокие ступени напряжения (1-3 ступени). Показатели удельных энергетических параметров печи на всех ступенях трансформатора не соответствуют эксплуатационным показателям «образцовых» ферросплавных печей для выплавки углеродистого ферромарганца.

Учитывая основные электрические параметры трансформатора печи, такие как ток и напряжение на ванне, требуемые удельные энергетические параметры печи, физико-химические свойства шихтовых материалов, длину столба дуги и высоту расплава с учетом кратности шлака, а также высоту столба шихты была проведена реконструкция печи с изменением геометрических параметров ванны. Основные электрические и геометрические параметры электропечи после реконструкции приведены в табл. 5.

Таблица 5

**ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПЕЧИ №6 ДЛЯ ВЫПЛАВКИ
УГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА**

№/№	Наименование параметров	Показатель
1	2	3
1	Номинальная мощность электропечи, кВА	60000
2	Напряжение трансформатора высокой стороны, В	110000

1	2	3
3	Диапазон линейных напряжений трансформатора:	
	при соединениях по треугольнику, В	290-130
	при соединениях на звезде, В	165-75
4	Вторичный ток на электродах, А	119450
5	Размер электрода, мм	3200 x 800
6	Плотность тока в сечении электрода, А/см²	4,67
7	Распад электродов (по осям), мм	3200
8	Размеры рабочего пространства в ванне электропечи, мм	8700 x 6600 x 3400
9	Размер электропечи по кожуху, мм	10900 x 8900 x 5600

В табл. 6 приведены результаты расчетов энергетических параметров электропечи для перевода на выплавку углеродистого ферромарганца.

Таблица 6

**УДЕЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ (ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ)**

Ступени	$(q_{\phi})_в$, кВт/м³	$(q_{\phi})_р$, МВт/м³	$(q_v)_в$, кВт/м³	$(q_{\phi})_{\phi}$, кВт/м³
1	751,1	4,21	221,0	604,6
2	735,4	4,12	216,3	591,7
3	719,6	4,03	211,6	578,9
4	703,5	3,94	206,9	566,0
5	687,7	3,86	202,3	553,4
6	671,6	3,77	197,5	540,4
7	655,8	3,68	192,9	527,6
8	639,8	3,59	188,2	514,6
9	624,0	3,5	183,5	502,0
10	607,9	3,41	178,8	489,1
11	592,0	3,32	174,1	476,4
12	576,0	3,23	169,4	463,8
13	560,2	3,14	164,8	450,6
14	544,1	3,05	160,0	437,7
15	541,0	3,03	159,1	435,5
16	512,3	2,87	150,7	412,1
17	496,2	2,78	145,9	399,3
18	480,4	2,69	141,3	386,7
19	464,3	2,6	136,6	373,5
20	448,5	2,51	131,9	360,8
21	432,4	2,42	127,2	347,9
22	416,7	2,33	122,6	335,1
23	400,6	2,24	117,8	332,2
24	384,8	2,16	113,2	309,6
25	368,7	2,07	108,4	296,6
26	352,9	1,98	103,8	283,9
27	336,8	1,95	99,0	279,0

Таким образом, по результатам расчета определены оптимальные ступени работы печного трансформатора с изменением и выбором новых геометрических параметров печи. Рекомендовано провести реконструкцию печи с изменением геометрических параметров ванны. С учетом рекомендаций проведена реконструкция ванны печи, результаты приведены в табл. 6. Изучение таких параметров, как размеры ванны, распад электродов, было проведено для печи с учетом возможности ее реконструкции. Оптимальными электрическими параметрами процесса выбрана 22-я ступень трансформатора с активной мощностью на рабочей ступени 26583 кВт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А.В. Расчет мощности и параметров электропечей черной металлургии. М.: Metallургия, 1990. 280с.

УДК 620.179.14

Л.А. ДАХНО
В.И. ШАРЫЙ
А.А. ДАХНО**Контроль качества поверхности деталей
после сульфационирования**

Для современного машиностроения характерны высокая энергонапряженность, сложные условия эксплуатации машин на фоне постоянно растущих требований к ресурсосбережению материалов и соблюдению экологических норм и стандартов в добывающих отраслях и горно-металлургическом комплексе. Поэтому рациональное повышение долговечности и надёжности машин и механизмов обеспечивается применением методов поверхностной обработки изделий, в частности, химико-термической обработкой металлов. Эти способы позволяют получать заданные служебные свойства деталей, восстанавливать их форму и размеры с учётом обеспечения высокого сопротивления износу, коррозии и повышению сопротивления усталостному разрушению.

Выбор способа химико-термической обработки поверхности материала определяется не только условиями работы данного изделия, но и производственно-техническими, экономическими возможностями. В последнее время всё большее развитие в металловедении получают способы химико-термической обработки металлов и сплавов с использованием газовых насыщающих сред как наиболее технологичных и безопасных для применения в промышленности [1].

В настоящей работе поверхностная обработка деталей из стали марки 65Г (фрикционных дисков, рис. 1) осуществлялась методом газового сульфационирования в цементационной печи типа Ц-105 в продуктах пиролиза (разложения) карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и серы. При рабочей температуре 580-620⁰С в печном пространстве образуются лишь газообразные продукты — аммиак, азот, оксиды углерода и пары серы без выделения твёрдых компонентов и каких-либо токсичных и взрывоопасных газов.

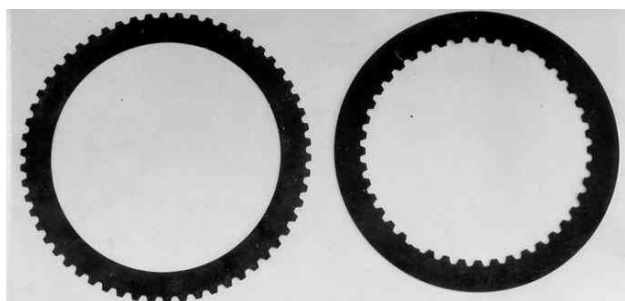
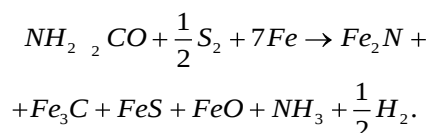


Рис. 1. Диски трения

Насыщение поверхностных слоёв обрабатываемых деталей углеродом, азотом, серой и кислородом может быть представлено в виде:



После проведения химико-термической обработки по оптимальному технологическому режиму отбирали детали для контроля качества процесса. Критерием оценки заданных свойств готовых изделий является глубина поверхностного сульфационированного слоя на деталях из садки или образцах-свидетелях. Фазовый состав диффузионного слоя определяется, в основном, диаграммой состояния системы Fe-N, имеет сложную структуру и состоит из нескольких отличных по природе диффузионных зон (рис. 2): наружного приповерхностного слоя толщиной 20-24 мкм, содержащего сульфиды железа и оксиды — оксисульфидного; далее наблюдали тонкий слой (2) толщиной 8-16 мкм — карбонитридный; затем зона (3) твёрдого раствора азота в железе глубиной ~ 240 мкм серого цвета.

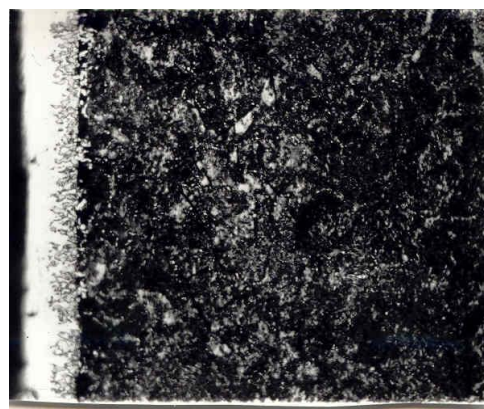


Рис. 2. Общий вид сульфационированного слоя, X500

Продолжающаяся часть азотированного слоя имеет сорбитообразное состояние и отличается от структуры сердцевины (основного металла) повышенной травимостью в 4% HNO_3 в этиловом спирте вследствие более высокого содержания азота. Исследовано распределение серы и углерода в приповерхностных слоях металла, определенных химическим анализом в стружке, снятой на глубину до 30 мкм. Установлено, что углерода содержалось 1,5 масс. %, серы 0,99%.

В исследованиях [2] установлено, что для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств фрикционных дисков (износостойкости и контактного трения) необходимо соблюдать технические условия по соотношению

приповерхностных зон: окисьюльфидной не более 0,04 мм; карбонитридной не менее 0,005 мм; эвтектидной и зоны твердого раствора не менее 0,4 мм.

Сталь 65Г имеет ферритно-перлитную структуру, является ферромагнитным материалом. Известно, что в сталях такого типа существует взаимосвязь между характером микроструктуры и физическими (магнитными) свойствами. Поэтому заданный уровень свойств поверхности после химико-термической обработки можно определить, используя корреляцию между магнитными и физико-механическими свойствами, например, связь между твердостью стали и ее коэрцитивной силой H_c .

Для измерения коэрцитивной силы H_c применили коэрцитиметр КИФМ-1; работа прибора основана на измерении тока размагничивания (I_p), протекающего по обмоткам приставного феррозондового электромагнита. Электромагнит устанавливают на контролируемой детали в различных участках; ток размагничивания I_p пропорционален коэрцитивной силе H_c . Корреляционные связи устанавливали с помощью статистического анализа экспериментальных данных сопоставляемых параметров.

Измерения параметров проводили на деталях различных типоразмеров (типы 37,38 толщиной 2,8; 3,2 и 3,4 мм) несколькими способами: 1 — магнитным путем замера I_p на различных участках контролируемой детали; 2 — металлографическим (традиционным): в точках измерения I_p вырезали образцы для определения микроструктуры сульфацинированного слоя с помощью оптического микроскопа Неофот-21, а также замеряли микротвердость H_u (твердомер ПМТ-3) при нагрузке $2H$ по глубине диффузионного слоя. На рис. 3 показаны профили микротвердости по глубине сульфацинированного слоя, которые строили на девяти участках каждой детали.

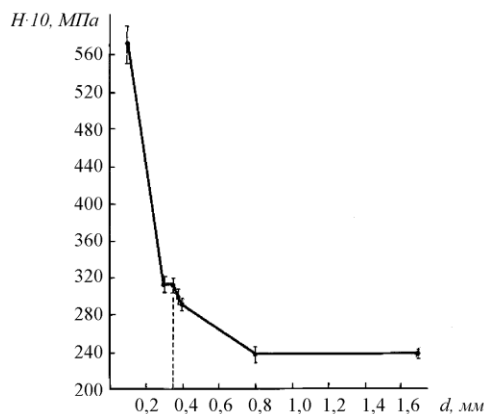


Рис. 3. Профили микротвердости по глубине диффузионного слоя

По характеру кривой определяли глубину диффузионного (сульфацинированного) слоя d с точностью $\pm 5\%$. Статистическая обработка экспериментальных данных сопоставляемых параметров на основе корреляционно-регрессивного анализа позволила получить уравнения регрессии

между параметрами $I_p(y)$ и $d(x)$ для дисков трения различной толщины (h).

$$h=2,8 \text{ мм} \quad I_p=30,99+18,66 d \quad R=0,9954$$

$$h=3,2 \text{ мм} \quad I_p=30,1+17,0 d \quad R=0,9930$$

$$h=3,4 \text{ мм} \quad I_p=29,3+13,01 d \quad R=0,9852$$

где R — коэффициент корреляции.

Значения коэффициентов $R(0,98-0,99)$ показывают наличие линейной зависимости между I_p и d . На основе полученных уравнений построены графики зависимости в координатах I_p , мА- d , мм (рис.4), по которым определяли истинное значение глубины упрочненной зоны.

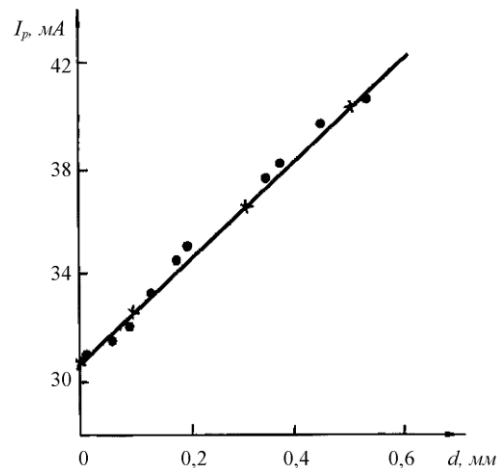


Рис. 4. Зависимость величины тока размагничивания от глубины слоя

Анализ корреляционных связей позволил установить нижние границы показаний тока размагничивания I_p , выше которых диски трения (детали) удовлетворяют требованиям микроструктуры сульфацинированного слоя (табл. 1).

Таблица 1

ГРАНИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ I_p ДЛЯ ЗАДАНЫХ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Тип диска трения	Толщина диска, мм	Ток размагничивания, I_p , мА
№38	2,8	>37,0
	3,2	>35,5
	3,4	>33,5

Выполнена проверка надежности установленных границ контроля дисков трения по разработанному способу, которая подтвердила достоверность установленных корреляционных связей. По результатам исследований предложена номограмма для контроля качества деталей после поверхностной упрочняющей химико-термической обработки методом сульфацинирования (рис. 5); заштрихованное поле соответствует неудовлетворительному варианту проведения химико-термической обработки (микроструктура диффузионного слоя не отвечает заданным параметрам процесса).

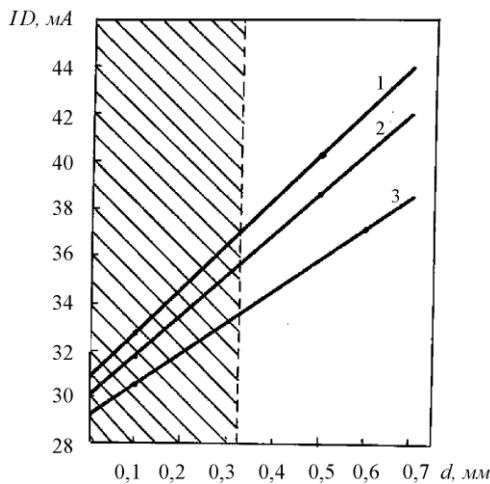


Рис. 5. Номограмма для контроля качества сульфационирования на дисках (тип 38) различной толщины: 1-2,8; 2-3,2; 3-3,4 мм

Таким образом:

- получены уравнения корреляции между глубиной диффузионной зоны (d) и током размагничивания (I_p) на дисках трения после поверхностной упрочняющей химико-термической обработки методом сульфационирования;
- разработан способ магнитного (неразрушающего) контроля качества деталей после газового сульфационирования и построена номограмма для определения глубины диффузионной зоны по значению тока размагничивания I_p .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уманский В.Б., Костенко А.А., Худик Ю.Т. Упрочнение деталей металлургического оборудования. М.:Металлургия, 1991. 176с.
2. Криулин А.В., Сырок К.Ю. Структура и свойства сульфационированного слоя на углеродистых сталях // МиТОМ, 1982. №4. С. 21-25.

УДК 621.744.362

А.З. ИСАГУЛОВ

Перспективы развития импульсных методов изготовления отливок

Важной проблемой литейного производства заготовительной базы современного машиностроения Республики Казахстан является повышение размерной точности, улучшение качества поверхности, снижение массы, уменьшение стоимости отливок. Остро стоит проблема качества отливок при литье в сырые песчано-глинистые формы. Ее решение существенно зависит от метода формообразования.

Существующие технология и оборудование для формовки, применяемые в Казахстане, не оправдали себя ни по качеству отливок, ни по производительности. Наметила тенденция перехода от статических методов уплотнения разовых песчаных форм к динамическим и импульсным. Для получения средних и крупных форм на промышленных предприятиях Казахстана более перспективны комбинированные методы формообразования.

Разработаны два процесса изготовления литейных форм: прессово-ударный и импульсный (с допрессовкой). Сущность способа прессово-ударного уплотнения заключается в том, что предварительно уплотненный нижним прессованием пакет смеси (рис. 1) вместе с прессовой плитой разгоняется пневмоударным цилиндром в сторону модельной оснастки и, ударяясь по ней, дополнительно уплотняется.

В результате действия динамической нагрузки верхний слой смеси передает высокую энергию движения (скорость) нижележащему слою, который в свою очередь передает энергию (хотя уже частично и потерянную) следующему слою, и так далее до модельной плиты. Чем меньше потери скорости, тем равномернее уплотнение смеси по высоте.

Механизм комбинированного прессово-ударного способа уплотнения следующий. На первом этапе нижнее прессование осуществляется с целью предварительного формирования пакета смеси, повторяющего контур модели с относительно невысокой плотностью по ладу $1,45 \div 1,55 \text{ г/см}^3$ (для низкопрочной смеси) и контрладу — $1,45 \div 1,45 \text{ г/см}^3$.

На втором этапе пакет смеси, зависший в верхнем положении за счет сил бокового давления и внешнего трения, разгоняется пневмоприводом прессовой колодки в сторону модельной оснастки и ударяется по ней. В результате удара пакет дополнительно уплотняется за счет сил инерции как самого пакета, так и прессовой колодки (вместе с подвижными частями пневмопривода). При этом в результате удара на контактной поверхности полуформы образуется слой (5-8 мм) повышенной плотности («наклеп») плотностью

$\delta \approx 1,75 \div 1,78 \text{ г/см}^3$ и твердостью $T > 90 \text{ ед.}$

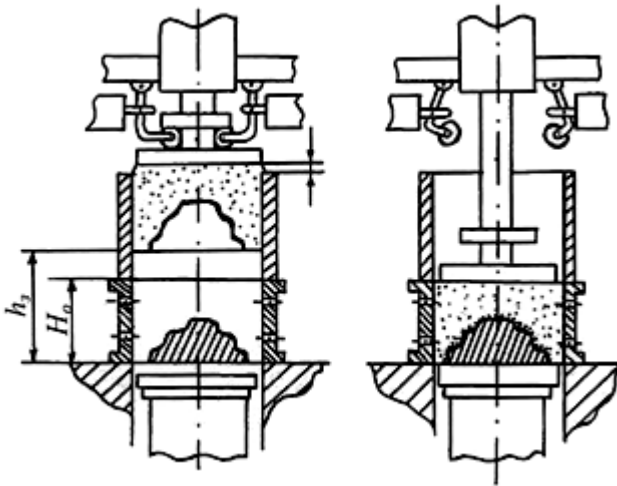


Рис. 1. Схема прессово-ударной установки

Из рассмотрения механизма уплотнения данного способа видно, что основным фактором уплотняющего воздействия являются силы инерции, возникающие при воздействии на смесь импульса суммарной массы: прессовой колодки и пакета смеси.

Высокоплотный поверхностный слой образуется при ударе предварительно уплотненного нижним прессованием падающего пакета смеси о неподвижную модельную оснастку. При соударении пакета смеси с оснасткой горизонтальные слои, прилегающие к контактной зоне, получают дополнительную остаточную деформацию, выраженную в сжатии. Это обусловлено превращением кинетической энергии в остаточное искажение межзерновых связей и затем рассеиванием этой энергии в форме тепла. С повышением плотности смеси прочность межзерновых связей растет, поэтому при ударе пакета плотностью $(1,4-1,4) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ энергия удара затухает в околослойной области. Пакет формовочной смеси, предварительно уплотненный, можно рассматривать как твердое тело, получающее полностью неупругое, т.е. пластическое соударение с преградой (модельно-опочной оснасткой). Тогда, в соответствии с локальной теорией сжатия Герца, можно составить дифференциальное уравнение смещения центра инерции за счет образования местной деформации h :

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} = -P t, \quad (1)$$

где M — масса пакета;

$P(t)$ — контактная сила удара.

При ударе: $h = P_{\max}/C$, (2)

где C — жесткость пакета смеси.

При решении дифференциального уравнения (1) получено выражение для контактной силы удара:

$$P t = v_0 \sqrt{I C} \cdot \sin \sqrt{C/M \cdot t}. \quad (3)$$

Максимальное значение силы удара достигается за время:

$$t = \frac{\pi}{2} \sqrt{M/C}. \quad (4)$$

Ему соответствует:

$$P_{\max} = v_0 \sqrt{MC}. \quad (5)$$

Максимальная пластическая деформация равна

$$h_{\max} = v_0 \sqrt{M/C}, \quad (6)$$

где v_0 — скорость пакета в момент удара.

Поскольку по локальной теории деформирования пластическая деформация распространяется на слои смеси, прилегающие в зоне ударного контакта, можно считать, что часть формовочной смеси, вытесненная пластической деформацией h , перешла в соседний слой толщиной H и образовала его переуплотнение, тогда искомую толщину поверхностного слоя H на основании закона неизменности массы можно записать:

$$\delta - \delta_0 H = \delta_0 h, \quad (7)$$

где δ_0 , δ — плотность слоя до и после удара. Откуда

$$H = \delta_0 h / (\delta - \delta_0). \quad (8)$$

Экспериментально получено для $C = 833,3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$; масса смеси 16 кг; масса подвижных частей ударного механизма 25 кг; $v_0 = 5 \text{ м/с}$, плотность нижних слоев смеси до и после удара $\delta_0 = 1500 \text{ кг/м}^3$ и $\delta = 1800 \text{ кг/м}^3$, расчетная величина пластической деформации составляет 1,1 мм, а толщина упрочненного слоя около 5,5 мм, что соответствует результатам расчета по формуле (8), где величина $H = 3-7 \text{ мм}$.

Экспериментально установлены глубины распространения эффекта поверхностного упрочнения (рис. 2). Для ступенчатой модели отливки «стакан подшипника» получены следующие значения распространения толщины упрочненного слоя:

$$\Delta_{\bar{A}}^{\bar{a}} \approx 7 \text{ мм}; \Delta_{\bar{A}}^{\bar{f}} \approx 6,5 \text{ мм}; \Delta_{\bar{a}}^{\bar{a}} \approx 5 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\bar{a}}^{\bar{b}} \approx 4 \text{ мм}; \Delta_{\bar{a}}^{\bar{f}} \approx 3,5 \text{ мм}.$$

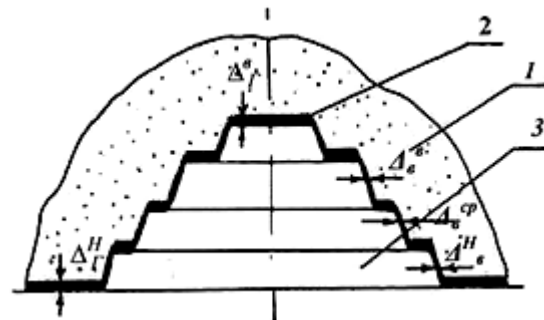


Рис. 2. Образование упрочненного слоя смеси

Как видно из рис. 3, определяющее влияние на эффект упрочнения оказывает как оптимальная средняя плотность $\delta_{i \text{ ае}}^{\bar{a}}$ пакета смеси, так и изменение скорости перемещения пакета V при постоянной массе падающих частей: $M_{ПЧ} = \text{const}$, 1 — толщина надмодельной зоны; 2 — толщина упрочненного слоя смеси по ладу в зазоре между моделью и стенкой опоки.

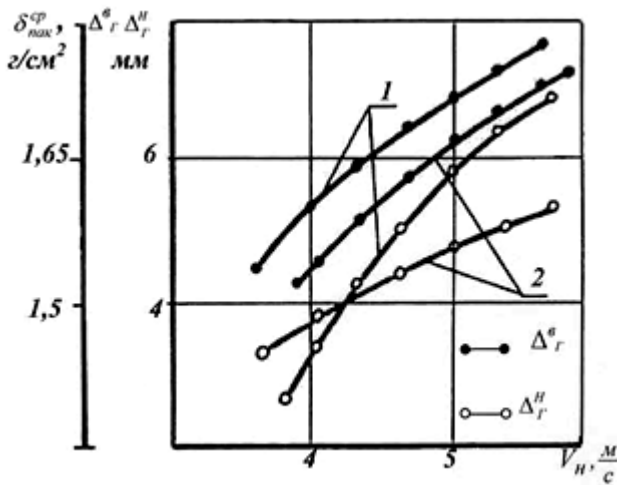


Рис. 3. Зависимости толщины слоев и плотности пакета от скорости

Рассматривая механизм образования упрочненного поверхностного слоя песчано-глинистой формы при комбинированном прессово-ударном уплотнении, его роль в получении качественной формы, нельзя не отметить следующее обстоятельство. Этот метод позволяет получать не только равномерно уплотненную форму с упрочненным поверхностным слоем (слой «наклепа»), но и осуществлять прецизионный метод окраски.

В этом случае модель, нагретая до $t = 60-80^{\circ}\text{C}$, окрашивается до удара. После ударного нагружения и некоторой выдержки слой краски переходит на ударную поверхность песчаной формы. После протяжки получается форма с термостойкой поверхностью и высокой геометрической точностью с упрочненным поверхностным слоем. В такой форме можно получать точную и чистую отливку из черных и цветных сплавов.

В работе предложены на уровне патентов способы управления и регулирования данным процессом. Предложена формовочная машина, предназначенная для изготовления литейных малогабаритных форм радиаторов и котлов (в экспортном исполнении) из песчано-глинистой смеси методом низкоимпульсной формовки.

Машина состоит из механизма уплотнения (воздушно-импульсной головки), механизма срезки смеси, бункера-дозатора с аэратором, тележки полуформ, механизма поджатия, устройства штифтового съема. Воздушно-импульсная головка состоит из направляющей 1, трубопровода 2, корпуса 3, патрубка 4, клапана сброса сжатого воздуха 5, поршня 6 (рис. 4). Тележки сварной конструкции перемещаются по верху станины с помощью двух пневмоцилиндров, соединенных тягой с бункером-дозатором. Они предназначены для перемещения оснастки в зону формовки полуформ и обратно в зону протяжки. На одной тележке формируется полуформа верха, на другой — полуформа низа.

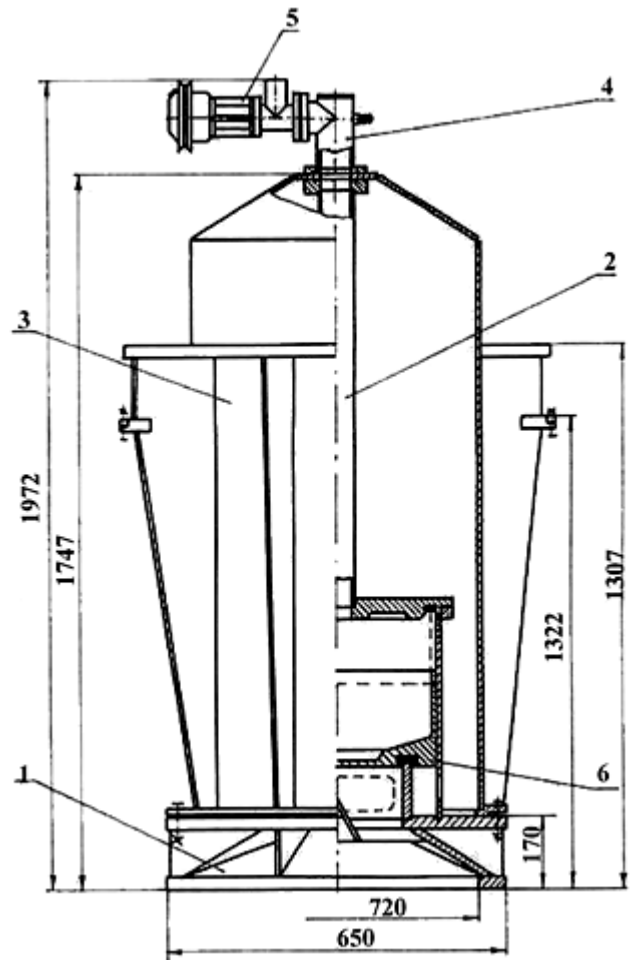


Рис. 4. Импульсная головка

Головка работает следующим образом. Клапан сброса 5 закрыт. Через штуцер в патрубке 4 воздух под давлением подается над поршнем 6, что заставляет занять поршень нижнее положение, отсоединяя тем самым атмосферу над опокой от объема внутри корпуса 3. В корпус 3 через его штуцер подается воздух под давлением. За счет разности площадей поршня, находящихся под давлением сверху и снизу, поршень удерживается в нижнем положении.

Подача воздуха под давлением в обе полости происходит постоянно. Открывая клапан сброса 5, снижается давление над поршнем до min . Давление воздуха в корпусе 3 заставляет поршень двигаться вверх, тем самым соединяется полость корпуса с надпочным пространством — происходит выхлоп воздуха из корпуса в надпочное пространство. Конус в корпусе 1 распределяет воздушный поток над опокой. Закрытие клапана сброса 5 повышает давление над поршнем и возвращает его в нижнее положение, отсекая полость корпуса 3 от атмосферы. Очередное открытие клапана сброса 5 производит выхлоп воздуха из корпуса.

Полученные на формовочной машине импульсного действия формы котлов и отливки имеют высокую чистоту поверхности. Внедрение первой и последующих пневмоимпульсных головок производится без потери мощности цеха.

В машинах благодаря мощной воздушной волне происходит в начальный момент рабочего процесса разрушение когезионных связей между частицами смеси, образующих объёмную вязкость. Смесь на некоторое мгновение переходит в псевдооживленное состояние. В этот момент в смеси, подобно жидкости, повышается боковое давление (коэффициент бокового давления $\beta = 0,5 \div 0,6$) и она хорошо заполняет узкие карманы оснастки.

Сопrotивление уплотнению смеси оказывает лишь кулоново трение. По окончании процесса активного трения когезионные связи частиц смеси снова восстанавливаются, причём гораздо интенсивнее, чем до уплотнения, за счёт более плотной укладки частиц в объёме. Перемещающиеся частицы смеси испытывают сопротивление движению под действием трения о вертикальные стенки опоки и наполнительной рамки, но внутреннее кулоново трение движущихся частиц выше, чем внешнее трение о стенки. Это и заставляет приграничный слой частиц двигаться вдоль стенок.

Исходя из физических представлений процесса уплотнения смеси при импульсном нагружении волной сжатого воздуха, реологическая модель формовочной смеси представляется в виде, изображённом на рис. 5.

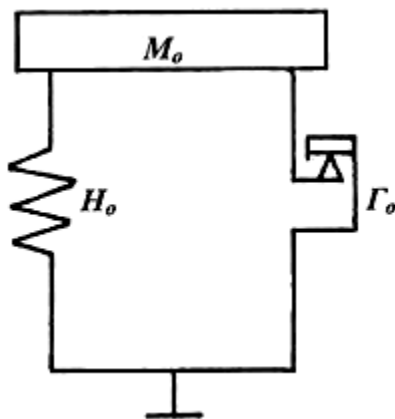


Рис. 5. Реологическая модель формовочной смеси для импульсных методов уплотнения (M_0 — масса смеси; H_0 — упругий элемент Гука; G_0 — механический стопор)

Напишем дифференциальное уравнение движения.

На основании второго закона Ньютона будем иметь:

$$\dot{I}_0 \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} = -3K\varepsilon, \quad (9)$$

где M_0 — масса смеси;

ε — относительная объёмная деформация;

K — модуль жёсткости;

$$K = \frac{K_{H_0} \cdot F_{on}}{H_{on}}.$$

Решение уравнения (9) имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{1}{t_u} \sqrt{\frac{M_0}{3K}} \cdot \sin \sqrt{\frac{3K}{M_0}} \cdot t, \quad (10)$$

где t_u — длительность импульса.

Для проверки количественной адекватности теоретической зависимости (10) практическому поведению смеси при воздушно-импульсном уплотнении проводились опыты [1] на одинаковой смеси с одинаковыми параметрами импульса уплотнения. В опытах измерялись амплитуда и длительность импульса нагружения над поверхностью смеси в опоке, а также амплитуда и длительность фронта импульса по высоте столба смеси для трёх значений объёмных деформаций в слоях, отстоящих на 195 мм, 162 и 124 мм от лада (формы).

Установлено, что экспериментальные значения очень близко подходят к расчётным, полученным из зависимости (10). На одном уровне с датчиками объёмного уплотнения располагались три датчика давления, а выше первоначальной засыпки — ещё один датчик, который регистрировал давление воздуха над смесью. Продолжительность воздействия нарастающего давления на смесь составляла $(40-60) \cdot 10^{-3}$ с, а скорость нагружения $\sim 6-20$ МПа/с.

Модуль сжатия упругого тела Гука $\hat{E}_{f_0}$ в экспериментах составил $0,57 \pm 0,01$ МПа. При последующих уплотнениях $\hat{E}_{f_0}$ возрастает по мере увеличения степени уплотнения. Время, затрачиваемое на уплотнение, составляло $(14-20) \cdot 10^{-3}$ с и находится в прямой зависимости от длительности нарастания давления воздуха.

Экспериментально установлено, что с увеличением градиента давления (скорости нарастания давления воздуха над смесью) деформация смеси резко возрастает. Когда прирост напряжения высок, меньше времени затрачивается на разрыв первичных связей, большую скорость получают частицы, так как с быстрым ростом давления перед частицей уменьшается давление после неё (в «тени»), эффективнее и уплотнение за счёт уменьшения замкнутых пор. Все перечисленное в совокупности приводит к возрастанию уплотнения.

Механизм низкоимпульсного уплотнения отличается от механизма уплотнения импульсом высокого давления характером силового уплотняющего воздействия, т.е. величиной dp/dt . При низком воздушном импульсе силы инерции, действующие в смеси, на порядок выше, чем в установках высокого давления; это обеспечивается значительно большей суммарной площадью проходных сечений клапана и чрезвычайно коротким временем его открытия. Силы фильтрации в установках этого типа выполняют существенно малую роль, даже при наличии вент, что объясняется быстротой протекания процесса низкоимпульсного уплотнения. По этой причине венты в данном процессе не устанавливаются вообще.

В работе предложено уравнение

$$\frac{dp}{dt} = \frac{p}{T/4} = \frac{2p}{\pi} \sqrt{\frac{K_{H_0} \cdot S}{M_0 H_0}}. \quad (11)$$

Выражение (11) показывает, что градиент давления dp/dt должен иметь определённое значение, зависящее от реологических параметров смеси,

характеризуемых модулем упругости $\hat{E}_{f_0}$, от габаритов оснастки S и H_0 и от массы смеси M_0 . Иными словами, каждой заданной смеси и заданным параметрам оснастки должен соответствовать свой, вполне определённый режим уплотнения, характеризуемый градиентом давления dp/dt и его максимальным значением p .

Величина p означает максимальное давление воздушной волны над смесью в период импульсного воздействия на неё и обычно равного или несколько меньше, чем давление воздуха в ресивере ($0,5 \div 0,6$ МПа). Экспериментальная проверка осуществлялась на опытно-промышленной импульсной формовочной установке в опоках размером 900×700 и высотой засыпки смеси $0,42$ м.

Давление над смесью в импульсной установке изменялось в пределах $p = 0,25 \div 0,27$ МПа, а градиент давления в пределах ($dp/dt = 4,0 \div 23,9$ МПа/с). Насыпная плотность смеси $\delta_0 = 917$ кг/м³, модуль упругости $\hat{E}_{f_0} = 0,57$ МПа, а масса смеси $M_0 = 242,6$ кг.

Определяем период колебаний — $T = 0,106$ с и расчётный градиент давления $dp/dt = 4p/T = 10,2$ МПа/с, который и является оптимальным при заданных параметрах смеси и оснастки, а также давлении $p = 0,27$ МПа. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Максимум давления, МПа	Градиент давления, МПа/с	Твёрдость по ладу, ед.
0,25	5,0	66
0,255	8,4	84
0,27	10,0	92
0,27	11,71	90
0,26	16,2	85
0,26	23,9	70

Из таблицы 1 видно, что максимальная твердость формы находится при значениях давления $p = 0,27$ МПа и $dp/dt = 10,0$ МПа/с, найденного расчетным путем.

В экспериментах модуль упругости варьировался в пределах $K = 0,32 \div 1,45$ МПа за счёт изменения соотношения «глина-влага» при постоянных значениях других параметров ($p = 0,27$ МПа; $S = 0,63$ м²; $H_0 = 0,42$ м). При постоянном режиме и случайном выборе параметров смеси твердость формы различна. Однако существует определённое значение модуля упругости $\hat{E}_{f_0} = 0,6$ МПа, при котором величина твердости максимальна. Варьировалась высота столба уплотняемой смеси в пределах $H_0 = 0,10 \div 0,52$ м при постоянных значениях других параметров ($S = 0,63$ м², $p = 0,27$ МПа, $\delta = 10$ МПа/с, $\hat{E}_{f_0} = 0,57$ МПа).

Установлено, что при постоянном режиме, но при различной высоте столба уплотняемой смеси результат уплотнения различный, но существует максимум твердости при $H_0 = 0,45$ м. Таким образом, проведённые теоретические и экспериментальные исследования показали, что для оптимизации процесса уплотнения градиент давления dp/dt и

максимальное давление p следует подбирать по зависимости (11).

В настоящее время все выпускаемые импульсные формовочные машины, как правило, нерегулируемые, т.е. работают не в оптимальном режиме, согласуемом со смесью и оснасткой. Зависимость (11) позволяет производить регулирование режимов работы воздушно-импульсной установки, т.е. регулирование величины dp/dt . Анализ формулы (11) показывает, что регулирование величины dp/dt возможно только двумя параметрами: давлением сжатого воздуха p и высотой уплотняемого столба смеси H_0 , а точнее высотой наполнительной рамки.

Поскольку давление воздуха в цеховой магистрали находится в пределах $p = 0,5 \div 0,6$ МПа, то, естественно, изменять градиент движения можно только в сторону понижения. Для увеличения давления в большую сторону необходимо встраивать дополнительные устройства, повышающие это давление, например, мультипликатор, или в ресивер подавать некоторое количество жидкости для уменьшения его объема. Расчеты показывают, что такой способ вполне возможен при небольшой дополнительно затраченной энергии. Второй способ реально выполнен на производстве в виде устройства для изменения дозы формовочной смеси, засыпаемой в оснастку.

Для автоматизации регулирования режимов по этим вариантам в дозатор бункера для формовочной смеси помещается датчик контроля, например, влажности, или рядом с бункером встраивается прибор непрерывного контроля уплотняемости или формуемости и др. Таким образом, для получения качественной формы кроме автоматизации контроля свойств смеси можно также автоматически изменять режим машины в течение всего времени изготовления каждой полуформы.

При импульсных процессах используются, как правило, песчано-глинистые смеси с сырой прочностью на сжатие $\sigma_{сж} = 0,16 \div 0,22$ МПа. Предпочтительнее смеси с более высоким значением прочности. Вместе с тем на практике используют формовочные смеси и с более низкой прочностью, например $\sigma_{сж} = 0,1 \div 0,12$ МПа. Это обычно имеет место в неавтоматизированном производстве, где менее значительные динамические нагрузки на форму при движении и кантовке полуформ.

Специальными требованиями к формовочным смесям, характерным для импульсного уплотнения, являются: высокая начальная степень разрыхления смеси ($\delta_0 = 0,75 \div 0,85$ г/см³), уплотняемость в пределах 40–45%, влажность в пределах $W = 3,0 \div 3,2\%$. Смеси, имеющие более низкие значения влажности, например $W \approx 2,8\%$, уплотняются лучше, но в этом случае ухудшаются другие технологические свойства смеси.

Импульсное уплотнение обеспечивает получение чрезвычайно сложных форм, в т.ч. с глубокими карманами в оснастке, минимальными расстояниями между моделями, а также между моделями и стенками опоки. Этот метод позволяет не только улучшить геометрическую точность отливок, но и существенно снизить припуски на мехобработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев И.В., Исагулов А.З., Дайкер А.А. Динамические и импульсные процессы и машины для уплотнения литейных форм. Алматы: Гылым, 1998. 345 с.

УДК 69.002.51.001.24

Д.З. МУХАМЕДЬЯРОВ

Прогнозирование надежности и эффективности оборудования на этапе проектирования

Важным показателем, характеризующим технический уровень свабойного оборудования, совершенство созданной конструкции, качество использованных материалов, является его общая конструктивная или удельная масса. Особый интерес приобретает снижение массы оборудования при сохранении неизменными или повышении технико-экономических показателей. На этапе проектирования необходимо осуществлять обоснованный прогноз степени снижения массы оборудования с учетом использования не только новых конструктивных разработок, но и перспективных машиностроительных материалов, обладающих повышенными показателями прочности.

Прогнозирование степени снижения массы оборудования в результате использования новых материалов приобретает большое значение при анализе путей повышения технического уровня отечественной техники, сопоставлении её с аналогами ведущих зарубежных фирм, которые используют материалы с прочностными свойствами, отличающимися от свойств материалов, применяемых на отечественном оборудовании. Проектировщик должен иметь методику прогнозирования снижения массы оборудования при использовании конструктивных материалов повышенной прочности. Прогноз необходимо осуществлять с учетом вида действующих нагрузок, характера нагружения элементов конструкции и закономерности изменения затрат на изготовление и эксплуатацию оборудования в зависимости от изменения прочностных свойств, используемых в конструкции материалов.

Ожидаемое снижение конструктивной массы оборудования за счет применения материалов повышенной прочности может быть определено по формуле

$$m_{\text{н}} = m_{\Sigma} k_{\text{с}} k_{\text{н}} \delta_{\text{т}}, \quad (1)$$

где m_{Σ} — конструктивная общая масса оборудования, изготовленная из материалов с исходными значениями прочности;
 $k_{\text{с}}$ — коэффициент, учитывающий долю (по массе) узлов и элементов оборудования, которые могут быть изготовлены из материалов повышенной прочности;
 $k_{\text{н}}$ — коэффициент, учитывающий характер нагружения элементов конструкции;
 $\delta_{\text{т}}$ — теоретическая степень снижения массы

узлов и элементов оборудования при изготовлении их из материалов повышенной прочности.

Следует подчеркнуть, что величина $\delta_{\text{т}}$ определяется характером действующих нагрузок. В наиболее распространенном случае при замене одного материала другим конструкция оборудования принципиально не меняется. При этом остаются в основном без изменения действующие силы P , длины a элементов оборудования и, следовательно, действующие на него моменты M :

$$P_1 = P_2; a = \text{const}; M_1 = M_2,$$

где индексы «1», «2» относятся к параметрам оборудования соответственно до и после модернизации (т.е. до и после замены материала).

Для наиболее типичного случая нагружения — при равенстве сил и моментов — справедливы зависимости

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{W_1}{W_2} = \frac{b_1^3}{b_2^3}, \quad (2)$$

где σ_1, σ_2 — предельные напряжения в элементах системы (рассматриваемый расчет можно вести по значениям предела прочности);
 $W_1 \sim b_1^3; W_2 \sim b_2^3$ — моменты сопротивления;
 b_1 и b_2 — обобщенные линейные размеры, определяющие площадь поперечного сечения элементов.

Следовательно,

$$k_{\sigma} = \frac{1}{k_1^3}, \quad (3)$$

где $k_{\sigma} = \sigma_2/\sigma_1$ — масштаб прочностных свойств по пределам прочности материалов;
 $k_1 = l_2/l_1$ — масштаб линейных размеров;
 l_1, l_2 — обобщенные линейные размеры элементов, изменяющиеся при изменении прочностных свойств материала.

При изменении площади поперечного сечения и измененной длине элементов их массы изменяются пропорционально квадратам линейных размеров сечения:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho_2 l_2^2 l}{\rho_1 l_1^2 l}, \quad (4)$$

где ρ_1, ρ_2 — средняя плотность конструктивных материалов;
 l — обобщенный линейный размер элементов, не зависящий от прочностных свойств элементов.

При $\rho_2 \cong \rho_1$

$$\frac{m_2}{m_1} = k_l^2. \quad (5)$$

Степень снижения массы элементов в этом случае определяется формулой

$$\delta_o = \frac{m_1 - m_2}{m_1} = 1 - k_l^2 = 1 - k_\sigma^{-2/3}. \quad (6)$$

В случае когда масса элементов пропорциональна изменению линейных размеров в кубе (изменяются не только поперечное сечение элементов, но и длина), при $\rho_2 \cong \rho_1$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho_2 l_2^3}{\rho_1 l_1^3} = \frac{1}{k_\sigma}. \quad (7)$$

Тогда степень снижения массы узлов или элементов оборудования в рассматриваемом случае

$$\delta'_T = 1 - \frac{1}{k_\sigma}. \quad (8)$$

Наиболее общий случай характеризуется наличием в оборудовании элементов, масса которых изменяется пропорционально и квадрату, и кубу линейных размеров. При этом

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho_2 l_2^2 l + \rho_2 l_2^3}{\rho_1 l_1^2 l + \rho_1 l_1^3}. \quad (9)$$

Если $\rho_2 = \rho_1$, то

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{l_2^2 \left(1 + \frac{l_2}{l}\right)}{l_1^2 \left(1 + \frac{l_1}{l}\right)}. \quad (10)$$

$$\text{Так как } k_l = \frac{l_2}{l_1}, \frac{m_2}{m_1} = \frac{k_l^2 \left(1 + k_l \frac{l_1}{l}\right)}{\left(1 + \frac{l_1}{l}\right)}. \quad (11)$$

Величина $k = l_1 / l$ характеризует соотношение (по длине) элементов, имеющих массу с различной пропорциональностью линейным размерам.

$$\text{Так как } k_l = \frac{1}{k_\sigma^{1/3}}, \frac{m_2}{m_1} = \frac{1 + k k_\sigma^{-1/3}}{k_\sigma^{2/3} (1 + k)}. \quad (12)$$

В этом случае, если $k=0$, что соответствует отсутствию элементов с массой, пропорциональной кубу линейных размеров, зависимость трансформируется в соотношение (5).

Анализ существующих конструкций показывает, что для оборудования одинаковой конструкции коэффициент k изменяется в пределах $0,1 \dots 0,2$.

Ожидаемая степень снижения массы оборудования

$$\delta_T = 1 - \frac{1 + k k_\sigma^{-1/3}}{k_\sigma^{2/3} (1 + k)}. \quad (13)$$

Исходя из формулы для определения массы, сэкономленной в результате применения материала повышенной прочности, может быть получена зависимость для определения действительного значения степени снижения массы

$$\delta_A = \frac{m_{ci}}{m_1}.$$

Следовательно, действительное значение степени снижения массы оборудования или отдельных узлов определяются по формуле

$$\delta_A = k_3 k_l \delta_T. \quad (14)$$

В общем виде степень снижения массы

$$\delta_A = k_3 k_l \left(1 - \frac{k_\sigma^{-2/3} (1 + k k_\sigma^{-1/3})}{1 + k} \right), \quad (15)$$

где k_H — поправочный коэффициент, зависящий от преобладающего характера нагружения элементов оборудования.

На первом этапе расчета необходимо определить коэффициент k_3 , определяющий долю элементов, которые подлежат изготовлению из другого материала. Для этого необходимо разделить оборудование на подсистемы с обязательным выделением узла или узлов, подлежащих модернизации. Коэффициент k_3 определяют по формуле

$$k_3 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n-K} m_i}{m_\Sigma}, \quad (16)$$

где m_Σ — общая масса оборудования в традиционном исполнении;
 $\sum_{i=1}^{n-K} m_i$ — масса подсистем (узлов) оборудования, которые изготавливаются из традиционных материалов;
 n — общее количество подсистем (узлов), изготавливаемых из материалов повышенной прочности ($n \geq K$).

Теоретическое значение степени экономии массы определяют по формуле (13). Предварительно необходимо на основе данных о прочностных свойствах конструкционных материалов определить коэффициент k_σ . Действительное значение степени снижения массы определяют по формуле (14). Для этой цели может быть на основе предложенных зависимостей разработана номограмма.

Абсолютное значение массы (в натуральных единицах измерения), сэкономленной при замене материала на новый с повышенными прочностными свойствами, определяется по формуле (1).

Масса оборудования после модернизации определяется по формуле

$$m_{\Sigma_2} = m_{\Sigma_1} - m_{\text{нп}}. \quad (17)$$

Полученные зависимости дают предельное возможное снижение массы. Определение рационального значения δ_r требует анализа приведенных затрат. При этом необходимо учитывать, что капитальные затраты на материал увеличиваются пропорционально его прочностным свойствам:

$$k_3 = k_z k_\sigma, \quad (18)$$

где k_z — коэффициент пропорциональности.

Следует также ожидать, что эксплуатационные затраты на оборудование снижаются с увеличением прочностных свойств конструкционных материалов:

$$C_y = \frac{k_y}{k_\sigma}, \quad (19)$$

где k_y — коэффициент пропорциональности.

Приведенные удельные затраты, имеющие в своем составе статьи расхода, изменяющиеся прямо и обратно пропорционально степени изменения прочностных свойств материала, имеют минимальное значение при определенной степени повышения прочностных свойств конструкционных материалов.

Степень повышения прочности, соответствующая минимальному значению приведенных затрат, определяет рациональное значение прочностных свойств материала, из которого необходимо изготовить оборудование для получения максимального технико-экономического эффекта.

Раздел 3

Геотехнологии

УДК 550.835

Ю.Н. ПАК
М.В. ПОНОМАРЕВА

Определение содержания серы в углях рентгенорадиометрическим методом

Сернистость является важнейшим параметром, определяющим качество углей. Сведения о сернистости особенно необходимы при его металлургическом переделе, а также при сжигании металлургического топлива. Традиционный химический метод определения содержания серы в углях малопроизводителен и характеризуется сравнительно низкой достоверностью. Свободными от этих недостатков являются инструментальные ядерно-физические методы, основанные на использовании различных эффектов взаимодействия ионизирующих излучений с веществом.

Перспективным для решения задачи контроля сернистости является рентгенорадиометрический метод, основанный на облучении объекта контроля потоком гамма-излучения и регистрации рентгеновской флуоресценции определяемого элемента. Однако использование в этом качестве аналитической линии серы сопряжено со значительными трудностями, в основном связанными с ее низкой энергией.

Предлагается методика, основанная на применении в качестве функции отклика аналитической линии кальция, содержание которого в некоторых случаях связано корреляционной зависимостью с содержанием серы в угле [1]. Для экспериментального обоснования предлагаемой методики проводился анализ порошковых проб углей

с известным содержанием серы (по данным химического анализа). Измерения проводились с использованием экспериментальной установки на основе серийной аппаратуры БРА-11 и АИ-1024, подключенных к ПЭВМ.

В качестве источника первичного гамма-излучения использовался изотоп ^{55}Fe с энергией фотонного излучения 5,9 кэВ, который не возбуждает линию железа, однако является весьма эффективным для возбуждения К-линии кальция. К достоинствам этого изотопа также относятся портативность, относительная чистота спектра, достаточно хорошие эксплуатационные характеристики. Получены типичные аппаратные спектры реальных проб углей Карагандинского угольного бассейна (шахт Долинская, Тентекская, Шахтинская, Казахстанская, Степная, им. Ленина), которые представлены на рис. 1.

Линия рентгеновской флуоресценции кальция (~3,7 кэВ) выделяется относительно слабо на фоне более интенсивного пика рассеянного гамма-излучения. Это связано с относительно невысоким энергетическим разрешением пропорционального счетчика (правая ветвь амплитудного распределения, соответствующая К-серии кальция, осложнена за счет наложения рассеянного излучения источника, что связано с близкими значениями энергий характеристического излучения кальция и рассеянного излучения источника ^{55}Fe). Эффект

наложения приводит к расширению амплитудного распределения *K*-серии кальция. Поэтому при определении его интенсивности необходимо использовать методики, позволяющие исключить или снизить влияние рассеянного излучения источника.

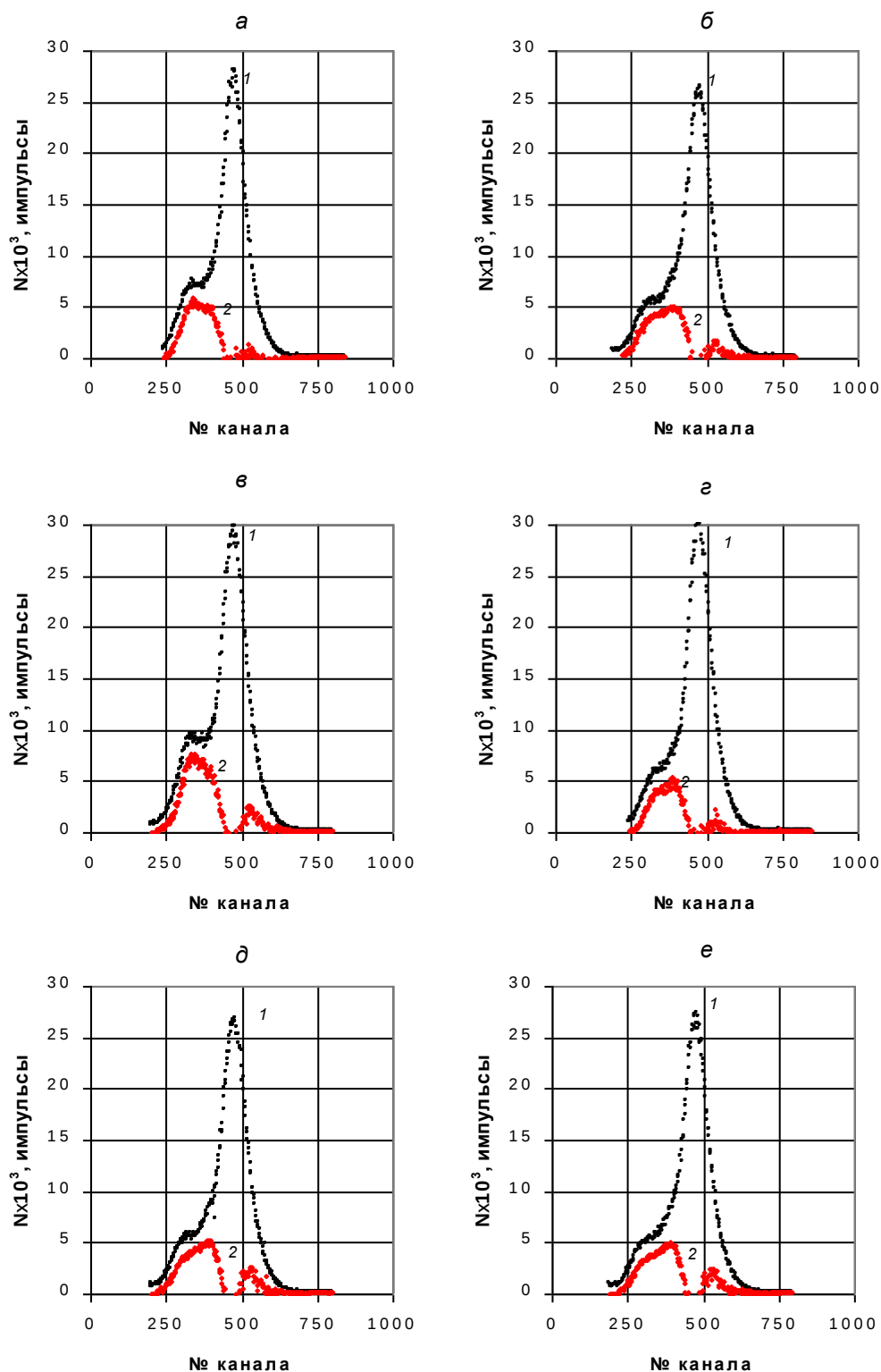


Рис. 1. Сопоставление обработанных и аппаратных спектров: 1 — значения до обработки, 2 — значения после обработки;
 а — ш. Долинская, проба №2136, $C_S = 1,77\%$; б — ш. Тентекская, проба №115, $C_S = 0,86\%$;
 в — ш. Шахтинская, проба №2092, $C_S = 0,93\%$; г — ш. Степная, проба №86, $C_S = 1,18\%$;
 д — ш. Казахстанская, проба № 123, $C_S = 0,98\%$; е — ш. им. Ленина, проба №155, $C_S = 0,72\%$

На рассмотренных спектрах не выделяется К-линия характеристического излучения серы, несмотря на то, что сера присутствует во всех исследуемых угольных пробах. В первую очередь это объясняется низкой эффективностью возбуждения атомов серы излучением радионуклида ^{55}Fe и сильным поглощением ее характеристического рентгеновского

излучения в воздухе и бериллиевом окне пропорционального счетчика.

Для учета вклада рассеянного гамма-излучения в области аналитической линии кальция (источник ^{55}Fe) были сняты спектры на пробах с нулевыми содержаниями серы и кальция (типичный спектр представлен на рис. 2).

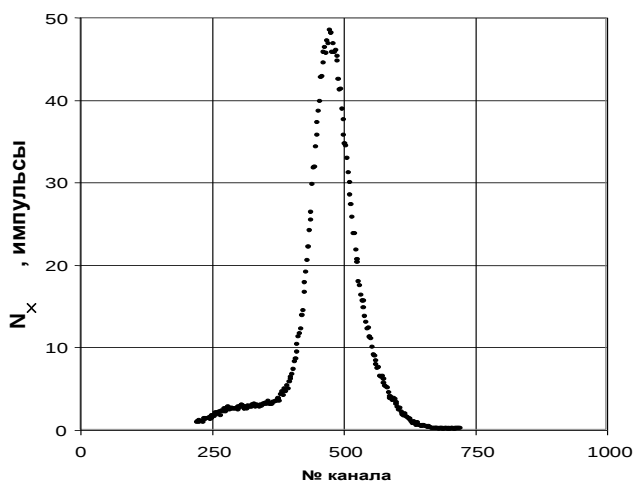


Рис. 2. Типичный спектр пробы угля, не содержащей серу и кальций

Внесение поправки осуществлялось по методике, основанной на способе спектральной разности, который является модификацией способа спектральных отношений [2, 3]. Сущность последнего заключается в использовании рассеянного гамма-излучения в качестве внутреннего стандарта-фона. В способе спектральной разности поправка на влияние мешающих факторов осуществляется посредством вычитания фоновой составляющей спектра с соответствующим спектральным коэффициентом. Способ спектральной разности является вариантом известного метода Долби [4] и позволяет непосредственно выделить полезный сигнал. Суммарная интенсивность гамма-излучения в канале кальция рассчитывается следующим образом:

$$N_x = N_{Ca} + N'_{\delta\alpha n}, \quad (1)$$

где N_{Ca} — интенсивность характеристического рентгеновского излучения кальция;

$N'_{\delta\alpha n}$ — вклад рассеянных гамма-квантов в область аналитической линии кальция.

Вклад рассеянных гамма-квантов $N'_{\delta\alpha n}$ можно представить в виде

$$N'_{\delta\alpha n} = \alpha N_{\delta\alpha n}, \quad (2)$$

где $N_{\delta\alpha n}$ — интенсивность в канале рассеянного гамма-излучения;

α — спектральный коэффициент.

Подставляя (2) в (1), получим

$$N_x = N_{Ca} + \alpha N_{\delta\alpha n}. \quad (3)$$

Из последнего выражения определяется непосредственно измеряемая величина спектральной разности

$$\delta = N_{Ca} + N'_{\delta\alpha n} - \alpha N_{\delta\alpha n}. \quad (4)$$

После соответствующего нормирования спектров, согласно выражению (4), выполнялось поканальное вычитание спектра пробы, не содержащей серу и кальций, от значений спектра реальной пробы. Сопоставление обработанных и аппаратных

спектров для наиболее типичных проб представлено на рис. 1. Градуировочные зависимости строились по результатам анализа угольных проб с известными содержаниями серы. Использованы 48 угольных проб (содержание серы в которых менялось от 0,6 до 2,5%), отобранных на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Графики зависимостей содержания серы в угле от значения интенсивности в канале кальция N_{Ca} (реализация способа спектральной интенсивности) и

отношения $\frac{N_{Ca}}{N_{\delta\alpha n}^{55Fe}}$ (реализация способа спектральных

отношений) приведены на рис. 3. В обоих вариантах с ростом содержания серы наблюдается закономерное увеличение, интенсивности N_{Ca} (рис. 3, а) и спектрального отношения $\frac{N_{Ca}}{N_{\delta\alpha n}^{55Fe}}$ (рис. 3, б).

Статистические характеристики полученных корреляционных зависимостей приведены в таблице.

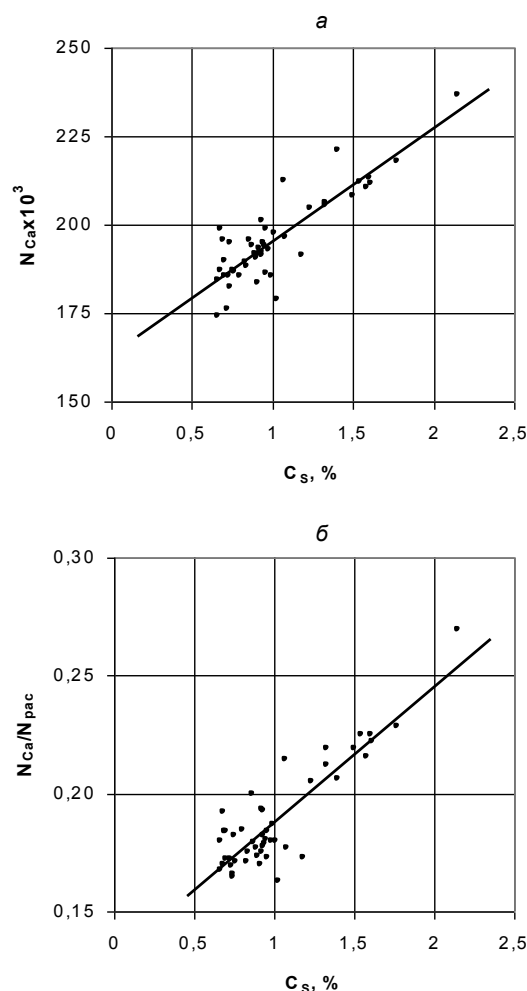


Рис. 3. Зависимости значения интенсивности в канале кальция

N_{Ca} (а) и отношения $\frac{N_{Ca}}{N_{\delta\alpha n}^{55Fe}}$ (б) от содержания серы в угле

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Уравнение	Коэффициент корреляции	Чувствительность, %
-----------	------------------------	---------------------

$C_s = 2,3344 \cdot 10^{-5} N_{Ca} - 3,5492$	0,8630	15,1
$C_s = 13,312 \frac{N_{Ca}}{N_{\text{дан}}^{55\text{Fe}}} - 1,4944$	0,8768	26,6

Значения абсолютных среднеквадратических погрешностей равны соответственно 0,171 и 0,162%. Величины коэффициентов корреляции составили соответственно 0,8630 и 0,8768. Рассчитанные значения критерия Фишера показали, что с вероятностью не менее 99,9% нет оснований считать случайными вышеописанные зависимости. Следует отметить, что связь между содержанием серы C_s и

величиной спектрального отношения $\frac{N_{Ca}}{N_{\text{дан}}^{55\text{Fe}}}$ является более тесной.

Результаты проведенных исследований подтверждают возможность контроля сернистости углей, основанного на применении в качестве функции отклика аналитической линии кальция. При определении содержания серы в углях рентгенорадиометрическим методом с использованием источника ^{55}Fe предпочтительней применять методику спектральных отношений, которая позволяет снизить влияние изменения вещественного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарева М.В. Исследование вещественного состава углей как объекта контроля сернистости // Труды университета. Вып. 3. Караганда: КарГТУ. 1998. С. 164.
2. Гамма-методы в рудной геологии / Под ред. А.П. Очкура. Л.: Недра, 1976. 407 с.
3. Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л.: Недра, 1978. 231 с.
4. Dolby R.M. Some methods for analysing unresolved proportional counter curves of X-ray line spectra. «Proc. Phys. Soc.». London. 1959. Vol. 73. Pt. 1. #469. P. 81.

УДК 550.838.08

В.С. ПОРТНОВ

Методика измерения магнитной восприимчивости в разведочных скважинах

Достоверность магнитной модели месторождения, так же как и геологической, должна обеспечиваться соответственно достоверным выполнением всех элементов ее построения. Важнейшими из них являются: выделение рудопересечений по скважинам; изучение их внутреннего строения; определение качества магнитных свойств руд в естественном залегании; приемы геометризации рудных тел; применяемые способы расчета магнитного поля.

По данным каротажа магнитной восприимчивости (КМВ) оцениваются глубина и мощность пересечения и качество руд. Картаж для цели опробования руд предполагает условие стабильности работы аппаратуры на период разведки месторождения. Однако метрология измерений магнитной восприимчивости разработана слабо, не существует единых схем измерений (индуктивная, частотная), методик градуирования, нет рабочих мер. На точность опробования по КМВ влияют геологические особенности руд — минеральный состав, структурно-текстурные особенности руд метрологические характеристики аппаратуры и технологические факторы — диаметр скважин, ее кавернозность, глинистая корка и др. Как показала практика, приборы КМВ отличаются по чувствительности до 30% друг от друга. Все это приводит к невозможности сопоставления измерений не только разнотипными приборами, но и однотипными, а значит, к невозможности использования результатов КМВ для изучения магнитных свойств руд различных природных типов, участков месторождений для количественной интерпретации магнитных полей. Это

вызывает необходимость изучения магнитной восприимчивости руд (α) на большом количестве образцов в лабораторных условиях. С этими же причинами связаны затруднения в использовании данных КМВ для оценки в рудах содержания железа.

Для градуирования приборов КМВ по магнитной восприимчивости созданы насыщенные модели скважин на базе Железорудной ГРЭ ПГО «Севказгеология». Их магнитной средой является смесь дробленого магнетита ($d = 0,3\div 0,5\text{мм}$) песка, цемента в различных соотношениях (см. таблицу).

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ СКВАЖИН

Номер модели	d_c , мм	$\frac{\alpha}{4\pi}$, СИ	$S_{\alpha}, \frac{1}{4\pi}$, СИ	V , %	μ	A_s , мм
1	59	0,0633	0,0043	8,6	1,795	31
2	59	0,0900	0,0084	9,1	2,130	35
3	59	0,2071	0,0081	7,1	3,601	49
4	59	0,6759	0,0910	6,2	9,489	91
5	76	0,0700	0,0039	5,6	2,245	42
6	76	0,865	0,0064	6,9	10,864	88

В таблице S_{α} — среднее квадратическое отклонение определения среднего значения α ; V — коэффициент вариации; α , μ — магнитная восприимчивость, магнитная проницаемость вещества модели; A_s — отклонение пера регистратора «эталонного» прибора.

Как показал опыт, добиться одинаковых отклонений регистратора (A_s) различных скважинных магнитометров (ТСМК-30) в одних и тех же моделях скважин практически невозможно, что обусловлено отличиями их по чувствительности. А так как число

моделей ограничено, то выполнить надежное градуирование приборов, не зная характера зависимости $A(\alpha)$, затруднительно. Поэтому градуирование выполнялось по результатам измерений в моделях «эталонным» прибором и последующим перенесением данных на рудный интервал контрольно-градуировочной скважины (КГС). Магнитометры градуировались путем сопоставления записи КГС «эталонным» прибором и рядовым [1].

Достоверность этой методики подтверждена совпадением значений магнитной восприимчивости рудных интервалов, измеренных ТСМК-30, с определениями магнитной восприимчивости образцов керна соответствующих интервалов на МА-21, МАЛ-36 и ИМВ-2. Предлагаемая методика позволяет получить по КМВ величины α рудных пересечений по скважинам, оценить погрешности измерений, выполненных различными приборами, методически обеспечить параметрические исследования, испытать работоспособность аппаратуры в реальных условиях.

В качестве КГС в Железородной ГРЭ ПГО «Севказгеология» принята разведочная скважина №319 Ломоносовского месторождения. В разрезе скважины имеются рудные зоны (95-166м, 312-440м), представленные в основном жильными, крупнозернистыми; брекчиевидно-пятнистыми, средне- и мелкозернистыми; пятнисто-вкрапленными, средне- и мелкозернистыми магнетитовыми рудами с прослоями метасоматитов. Содержание железа в них от 15 до 55%. Разрез КГС дифференцирован по физическим свойствам, что обеспечило выполнение ГИС на Качарском, Соколовском, Сарбайском и других месторождениях.

Для учета изменения диаметра скважины (d_c) выполнены расчеты поправочного коэффициента K_d от d_c и α среды, методика введения поправок приведена в работе [2].

Вывод зависимости содержания железа в рудах от их восприимчивости осуществляется по интервалам скважин с относительно выдержанными значениями α с выходом керна по рудной зоне более 90%. Для этих интервалов определяются средневзвешенные значения Fe^0 , Fe'' , d_c , значения α , K_d и систематическая поправка градуирования в КГС «рабочего» прибора относительно «эталонного». Кроме этого, обращается внимание на сохранение характера кривой КМВ в соответствии с содержанием Fe по данным геологического опробования. В случае несоответствия строения рудной зоны, связанной с неправильной укладкой керна, сжатием или растянутостью рудных интервалов, результаты анализа проб не используются для расчета зависимостей. Общим условием является минимальное расхождение мощности рудных интервалов 0,5м по сравнению с кривой КМВ.

Средневзвешенное содержание Fe для двух и более проб рассчитывается двумя способами:

$$\bar{C}_1 = \frac{\tilde{N}_1 \ell_1 + C_2 \ell_2 + \dots + \tilde{N}_n \ell_n}{\ell_1 \ell_2 + \dots + \ell_n}, \quad (1)$$

$$\bar{C}_2 = \frac{\tilde{N}_1 \ell_1 d_1 + C_2 \ell_2 d_2 + \dots + \tilde{N}_n \ell_n d_n}{\ell_1 d_1 + \ell_2 d_2 + \dots + \ell_n d_n}, \quad (2)$$

где ℓ , d — длина рядовых проб и их объёмная масса; C — содержание железа в пробе.

Формула (1) определяет средневзвешенное значение содержания железа на длину, вторая — на объёмную массу.

Опыт работ показал, что расчеты по формуле (2) более трудоёмки, но наиболее близки к истинным значениям содержания железа в рудных интервалах.

Задаваясь точностью определения $Fe = 0,5\%$ абс., что соответствует точности определения средней амплитуды кривой (± 1 мм), для Куржункульского месторождения получены параметры по длине и содержанию проб, при которых допустима замена определения средневзвешенного значения, вычисленного по $\ell \cdot d$ расчетами через ℓ :

а) при расхождении содержания железа между пробами (ΔC) меньше 15% и любом соотношении мощности (h) отбора проб;

б) при $\Delta C = 15 \div 20\%$ и соотношении $h > 1:5$;

в) при $\Delta C = 20 \div 30\%$ и соотношении $h > 1:10$.

Критерием выбора уравнения связи $Fe(\alpha)$ является наибольшее значение коэффициента корреляции (линейная зависимость), корреляционного отношения (криволинейная) или минимальная средняя квадратическая погрешность определения Fe .

На первом этапе обычно получают связь $Fe(\alpha)$ для всего месторождения, исключая магнетитовые руды с существенной сульфидной (пирит, пирротин), гематитовой минерализацией и окисленные руды. С целью повышения точности определения Fe магнетитовые руды, оруденелые породы разбиваются на структурно-текстурные и минералогические группы, для которых устанавливаются отдельные зависимости $Fe(\alpha)$. Значимость их различия оценивается по абсолютному систематическому расхождению и условию $t_p < t_m$, где t_p — расчетный, t_m — табличный критерии Стьюдента. Важно выделение магнетитовых руд с существенной сульфидной минерализацией, так как присутствие в них сульфидов железа резко повышает их проводимость, что вызывает необходимость введения поправок за нее, особенно для участков с содержанием $Fe > (40-45)\%$.

Зависимости $Fe^0(\alpha)$, $Fe''(\alpha)$ для магнетитовых руд месторождений Казахстана характеризуются высокой степенью тесноты связи (0,93-0,99) со средней квадратической погрешностью определения Fe'' , Fe^0 , находящейся в пределах 1,72-3,27% абс., при средней 2,18% абс. Присутствие сульфидов, гематита, мартита в магнетитовых рудах резко снижает тесноту связи и увеличивает погрешность определения Fe^0 .

Выделение рудных интервалов осуществляется с учетом геологических кондиций: бортовое содержание Fe ; минимальная мощность рудных интервалов; максимальная мощность пустых пород. В качестве основного критерия, по которому намечаются пробы, используют выдержанность кривой КМВ в пределах интервала. Минимальная мощность интервала должна соответствовать одиночным рудным или безрудным пропласткам, максимальная — для рудных интервалов, выдержанных по амплитуде кривой КМВ. В случае дифференцированной кривой руководствуются следующим: мощность интервала определяется, как

правило, не больше максимальной мощности геологической пробы. Для устранения погрешности, обусловленной нелинейностью зависимости α от Fe установлено, что превышение амплитуды кривой КМВ для пропластков, входящих в одну пробу, должно быть не больше 30%. Возможны перепады между амплитудами и до 40%, но при этом соотношение пропластков, входящих в пробу, по мощности должно быть не менее 1 : 3, в этом случае погрешность определения содержания Fe для интервала за счет нелинейности будет меньше 0,5 % абс. Если для интервала не соблюдаются указанные соотношения, то он дробится.

Дальнейший процесс обработки включает определение амплитуды кривой КМВ, введение поправок в измеренные значения за диаметр скважины и градуирование приборов. При выдержанной по рудному интервалу амплитуде кривой амплитуда определяется как среднее отклонение, а при дифференцированном характере — по площади кривой. Минимальное отклонение диаметра от номинального, при котором вводится K_d , составляет 5 мм, минимальная систематическая погрешность β , принимаемая во внимание, равна 1%. Таким образом, вычисляется исправленное значение амплитуды, используемое для расчета зависимости Fe^m , Fe^0 от α или A . При установлении зависимостей используют геологическое описание керна.

Увязка глубины контактов по КМВ и бурению скважин осуществляется по причинам, связанным с использованием непромеренных или нестандартных колонковых труб, ошибками в учете рейсов (ходов), сжатием или расширением керна, неправильной его укладкой и прочими ошибками.

После проведения КМВ выполняется сопоставление глубин рудных подсечений по КМВ и бурению. За истину принимаются интервалы по КМВ, по которым выполняется разбиение интервалов геологического опробования. Наиболее точная увязка керна КМВ выполняется при проведении измерений α керна.

Достоверность геофизического опробования определяется сопоставлением их с геологическим по рудным интервалам с выходом керна более 90% и мощностью сопоставимой с длиной рядовых проб. Во всех классах содержания Fe определяется систематическое расхождение с геологическим опробованием. В среднем по абсолютной величине погрешность определения в магнетитовых рудах составляет 1,85-2,32%, магнетитового 1,76-2,18%. Относительное среднее квадратическое расхождение между данными геологического и геофизического опробования по Fe^0 должно удовлетворить требованию

$$S_{\text{геол-геоф.}} \leq \sqrt{2} S_{\text{геол.}} \quad (3)$$

Так, для руд Куржункульского месторождения без их разделения на группы это соотношение равно 6,14 < 6,25, а отдельно по классам содержания это условие выполняется следующим образом: до 20% Fe^0 10,80 < 15,61; 20-30% 7,22 < 12,34; 30-45% 5,19 < 7,56; Fe^0 > 45% 5,30 > 4,03.

В классе $Fe > 45\%$ требование к использованию КМВ для геофизического опробования не выполнено, однако оно сохраняется в целом для руд месторождения. Это связано, с одной стороны, с минимальной погрешностью геологического опробования в этом классе, а с другой — влиянием текстурно-структурных факторов руд, их проводимостью. Разделение руд на текстурно-структурные, минералогические группы снижает погрешности опробования, удовлетворяющие требованию уравнения (3).

Для приведения результатов измерений, выполненных в разведочных и взрывных скважинах карьеров рудничным измерителем магнитной восприимчивости (РИМВ-1), ряд вскрытых карьером рудных интервалов разведочных скважин, разбуривается установкой шарошечного бурения (СБШ-250). Результаты измерений сопоставляются по длине рудных интервалов. Уравнение имеет вид:

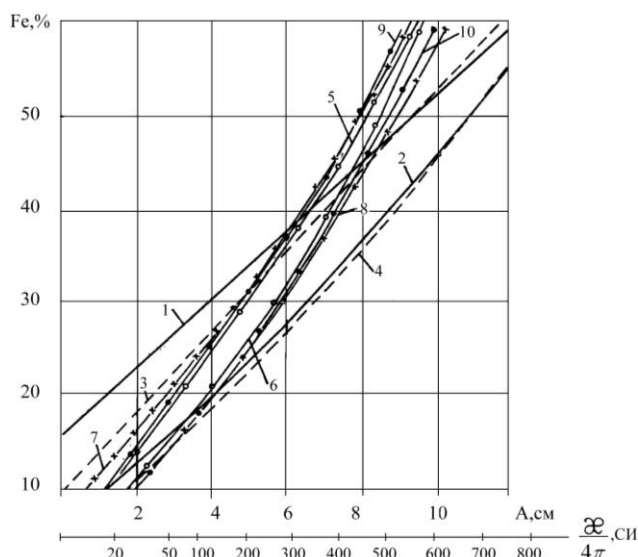
$$y = 4,61 + 1,0424x - 0,001287x^2, \quad (4)$$

где x — показания РИМВ-1 во взрывной скважине шарошечного бурения ($dc = 250\text{мм.}$);

y — показания РИМВ-1 в разведочной скважине ($dc=76\text{мм.}$).

Уравнение (4) позволяет проводить количественную интерпретацию измерений в разведочных скважинах по зависимостям, полученным в буровзрывных скважинах карьеров.

Для Качарского месторождения зависимости $\alpha(Fe)$ построены для Северного и Южного участков (единая), Северо-Восточного и в целом для месторождения, а также для основных типов руд. В выборку данных вошли интервалы руд с выходом керна более 90%, с выдержанными значениями магнитной восприимчивости мощностью от 3,2 до 78,7м. По ним определялись средневзвешенные значения Fe^0 , Fe^m по рядовому химическому опробованию. Различия между зависимостями для типов руд в пределах участков Качарского месторождения незначимы, и зависимости можно объединить в одну. Наблюдаются различия α руд, при одинаковом содержании в них железа, для Северо-Восточного и Северного, Южного участков, это различие равносильно изменению содержания Fe^m в 1%. Для первого она выше на 6,0-6,5% отн. во всем диапазоне содержания железа. Это связано с более крупнозернистым магнетитом Северо-Восточного участка. При сопоставлении графиков $Fe^m(\alpha)$ (см. рис.) видно, что при одних и тех же значениях Fe^m руды Ломоносовского месторождения имеют α на 10-20% выше, чем Качарские, это обусловлено их большей окисленностью.



Зависимости магнитной восприимчивости руд Ломоносовского (кривые 1-4) и Качарского (кривые 5-10) месторождений от содержания в них железа общего и магнетитового: 1, 2 — кривые Fe^0 , Fe^M для Северо-Западного участка; 3, 4 — Центрального участка; 5, 6 — Северного и Южного участков; 7, 8 — Северо-Восточного участка; 9, 10 — для Качарского месторождения в целом.

Достоверность полученных зависимостей подтверждена специальными скважинами (1650, 1545, 1557) Качара. В результате сопоставления видно, что для Северо-Восточного участка, Северного, Южного для повышения точности опробования необходимо использовать свои зависимости. Так, для

рудопересечения в скважине 1650 при использовании общей для месторождения зависимости, в результатах опробования наблюдаются систематические погрешности 0,95% абс. Fe^M и 0,45% абс. по Fe^0 . Использование зависимостей для данного участка снизило погрешность в 2 раза (0,20% и 0,19% абс.).

Для Ломоносовского месторождения установлены зависимости между α (Fe^0 , Fe^M) для Северо-Западного и Центрального участков, представленные рудами различного генезиса. Среднеквадратическая погрешность единичного определения Fe^0 и Fe^M по 50 рудопересечениям с выходам керна более 70% составляет соответственно 2,76% и 2,81% абс. Случайные расхождения данных КМВ и химического опробования составляют соответственно 2,82 и 2,94%. Контакты рудных пересечений устанавливались по кривой КМВ по бортовому содержанию $Fe^0 = 20\%$. При подсчете запасов руд на Качарском месторождении использовано 402 скважины, из них в 210 был выполнен КМВ. По 96 скважинам установлены расхождения глубины залегания и мощности подсечений по КМВ и бурению от 2 до 8м, по ним контакты приняты по геофизике.

В результате исследований разработаны методики, позволяющие выполнить геофизическое опробование руд на Fe^0 , Fe^M с высокой точностью, получать величину истинной магнитной восприимчивости рудопересечений в скважинах по КМВ и использовать эти данные при подсчете запасов и для построения магнитных моделей месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портнов В.С., Кусонский О.А. Методическое руководство по градуированию приборов каротажа магнитной восприимчивости. Кустанай, 1981. С.28.
2. Портнов В.С., Воронкова Л.С., Кусонский О.А. Учет влияния изменения диаметра скважины на результаты каротажа магнитной восприимчивости // Межвуз. науч.-темат. сб. «Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений». Свердловск: Свердловский горный институт, 1987. С.80-84.

УДК 658.512.22.011.56

С.С. КВОН
В.Ф. ДЕМИН
Д.В. СОН
Н.А. ОЛЕКСЕНКО

Методические положения по анализу и синтезу технологических схем очистных работ

Технологическая схема очистных работ представляет собой определенное пространство, где протекают взаимосвязанные во времени процессы с различным функциональным содержанием, соответствующим элементам подсистемы. Основой декомпозиции подсистемы на элементы является предпосылка их пространственной и технологической обособленности и концентрации в одном элементе общих функций, предназначенных для выполнения одного или нескольких рабочих процессов.

Декомпозиция позволяет получать не только рациональные варианты структур (элементов) технологической схемы, но и синтезировать функцию цели (глобальный критерий) из множества локальных критериев. Поэтому отпадает необходимость в

разработке экономико-математических моделей для каждого варианта структуры технологической схемы, число вариантов которых может достигать нескольких десятков тысяч, хранения их в памяти ЭВМ, что практически неосуществимо.

Под рациональной технологической схемой подразумевается наиболее оптимальное сочетание (синтез) элементов (процессов) подсистемы, обеспечивающее минимальные трудовые и материальные затраты на их функционирование. При качественной оценке предпочтение отдается тому варианту, для которого характерны большая степень безопасности труда, при максимальной механизации и автоматизации производственных процессов, высокие нагрузки на лаву и производительность труда по

добыче с приемлемыми для конкурентоспособности угля производственными издержками. Для этого необходимо определить условия оптимального сочетания различных элементов, слагающих технологическую схему, обеспечивающую минимальные суммарные издержки.

Условия совмещения в элементах технологических функций разнообразны и определяются технико-экономической целесообразностью, правилами безопасности, геометрическими параметрами выемочных участков и др. Поэтому синтез рациональных технологических схем очистных работ из отдельных элементов с учетом их совмещения является сложной комбинаторной дискретной задачей, метод составления аналитической математической модели и алгоритм решения которой в настоящее время отсутствуют.

Задача формирования вариантов технологических схем очистных работ формируется следующим образом: определить такие качественные и количественные параметры технологической схемы (подсистемы), которая обеспечивает экстремум совокупного критерия эффективности при ограничениях на применение элементов по горно-геологическим условиям и выполнении условий их между собой.

Представим сеть горных выработок выемочного участка в виде графа:

$$L \subset (X, \Gamma), \quad (1)$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots\}$ — множество вершин (технологических элементов) графа (L);

Γ — отображение, которое каждому $x \in X$ относит подмножество $\Gamma_x \subset \Gamma$ вершин, в которых из (x) идет дуга (выработка).

Формирование оптимальных вариантов технологических схем очистных работ производится в следующей последовательности.

Декомпозиция подсистемы на элементы.

Для решения этой задачи предлагается следующий методический подход. Допустим, имеем систему с совокупностью элементов $X_{1\beta}, X_{2\beta}, \dots, X_{n\beta}$, объединенных определенными уровнями связей $x_{(n-1, n)}$ ($\beta = 1, 2, 3, \dots$ — индекс подсистемы в номенклатуре анализируемых и синтезируемых систем, j — индекс уровня связи элементов, образующих подсистему):

$$R = \{X_{1\beta}, x_{(12)\beta}, X_{2\beta}, x_{(23)\beta}, \dots, X_{(n-1)\beta}, x_{(n-1,n)\beta}, X_{n\beta}, \dots\}. \quad (2)$$

Подсистема в определенной (детерминированной) схеме выполняет ряд технологических функций (процессов): $T_{1c}, T_{2c}, \dots, T_{m-1c}, T_{mc}, \dots$ (c — индекс процессов в номенклатуре функциональных процессов, синтезируемых и анализируемых элементов, объединение которых во времени по правилам $T_{(m-1,m),k}$ образует функциональный процесс (подсистему):

$$T = \{T_{1c}, T_{(12)c}, T_{2c}, T_{(23)c}, T_{3c}, \dots, T_{m-1c}, T_{(m-1,m)c}, T_{mc}, \dots\}. \quad (3)$$

Для создания математической модели с учетом каждого из элементов ($X_{n\beta}$) по специально выбранным

локальным критериям (F_t) составляется функция цели ($J_{t,p}$):

$$J_{t,p}^{max(min)} = \hat{f} \hat{i} \hat{o} \hat{e} \hat{i} \hat{o} \hat{i} \quad (\max, \min) \left\{ \sum_{t=1}^n F_t \right\},$$

где F_t ($t = 1, 2, \dots, n$) — составляющие по каждому из критериев ($F_1, F_2, \dots$)

$$\text{при } p = \begin{cases} 1, \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{y} \hat{e} \hat{a} \hat{i} \hat{o} \hat{a} \hat{o} \hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{o} \quad (\hat{i} \hat{d} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{o}) \\ \hat{a} \hat{y} \hat{e} \hat{a} \hat{i} \hat{o} \hat{o} \quad (n); \\ 0, \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{i} \hat{d} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{o} \hat{y} \hat{o} \hat{i} \hat{o} \hat{i} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{n} \hat{o} \hat{a} \hat{o}. \end{cases} \quad (4)$$

Функция цели математической модели формирования вариантов технологических схем очистных работ имеет вид:

$$P_i = \sum_n \eta_n \cdot K_n \rightarrow \hat{y} \hat{e} \hat{n} \hat{o} \hat{d} \hat{a} \hat{i} \hat{o} \quad (5)$$

где P_i — комплексный (глобальный) критерий эффективности i -го варианта технологической схемы очистных работ;

$$\eta_n = \begin{cases} 1, \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{e} \hat{n} - \hat{e} \hat{o} \hat{a} \hat{o} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{e} \hat{y} \hat{e} \hat{a} \hat{i} \hat{o} \hat{o} \hat{d} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{o} \\ \hat{i} - \hat{o} \hat{a} \hat{a} \hat{d} \hat{e} \hat{a} \hat{i} \hat{o} \hat{o} \hat{a} \hat{o} \hat{i} \hat{i} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{i} \hat{e} \hat{n} \hat{o} \hat{a} \hat{i} \hat{u}; \\ 0, \hat{a} \hat{n} \hat{e} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{i} \hat{d} \hat{e} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{o}; \end{cases} \quad (6)$$

K_n — совокупный критерий эффективности n -го варианта.

На область допустимых значений функции (P_i) нанесены следующие ограничения:

- на допустимость отдельных элементов технологической схемы очистных работ по горно-геологическим условиям:

$$G_n^{\min} \leq G \leq G_n^{\max}, \quad (7)$$

где $G = \{m, \alpha, q, \dots\}_n^{max(min)}$ — множество горно-геологических условий (мощность, угол падения, газоносность пласта и т.д.) для n -го элемента технологической схемы;

- на совместимость технологических элементов внутри каждого варианта технологической схемы:

$$X_{n_1 n_2} = 1 \text{ при } \eta_{n_1} \cdot \eta_{n_2} = 1, \quad (8)$$

где $X_{n_1 n_2}$ — условие совместимости элементов с номерами n_1 и n_2 .

Определение оптимальных значений непрерывных управляемых параметров.

Интенсивность горных процессов связана с вектором состояний шахтной среды ($\bar{B}(t)$) системой уравнений, которая в матричной форме записи имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \bar{B}(t) = \bar{B}(t) \Lambda, \quad (9)$$

где $\bar{B}(t)$ — вектор, вероятность состояний шахтной среды в момент времени (t);

Λ — матрица интенсивностей горных процессов.

Все критерии оценки эффективности технологических схем очистных работ условно можно разделить на три группы: экономические, технические и по степени их адаптации.

К экономическим критериям относятся широко известные: себестоимость единицы продукции, доход и прибыль, потери ресурсов и др.

К техническим критериям относятся надежность системы, время переходных процессов в системе, максимальное приближение траектории системы (параметры) к расчетной и др.

Критерий адаптации определяет способность системы «выживать» (приспосабливаться) к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды и характеризует синтезирующее, развивающее и прогнозирующее поведение системы.

Цель моделирования состоит в разработке технологических схем очистных работ, максимально приспособленных к изменяющимся и вероятностным условиям их функционирования.

В качестве критерия оптимальности принимается величина:

$$J = \sum_{j=1} J_j(\bar{R}) \rightarrow \min_{\bar{R}} \quad (10)$$

Вектор управляемых характеристик и параметров системы:

$$R = (\bar{X}, \bar{Z}, \bar{Y}), \quad (11)$$

где $\bar{X}$ — вектор качественных управляемых характеристик (переменных) технологической схемы в области $\{P_1\}$ допустимых значений:

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_{17}),$$

где X_1 — направление движения очистного забоя относительно элементов залегания угольного пласта, $X_1 = \{x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,5}\}$;
 X_2 — расположение подготовительных выработок относительно пласта, $X_2 = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}\}$;
 X_3 — порядок отработки выемочных столбов при различных способах подготовки шахтного поля, $X_3 = \{x_{3,1}, x_{3,2}, x_{3,3}\}$;
 X_4 — последовательность проведения подготовительных выработок относительно подвижного фронта очистных работ, $X_4 = \{x_{4,1}, x_{4,2}, x_{4,3}\}$;
 X_5 — схема проведения подготовительных выработок (количество выработок и ширина забоя), $X_5 = \{x_{5,1}, x_{5,2}, \dots, x_{5,4}\}$;
 X_6 — способ охраны выемочных выработок, $X_6 = \{x_{6,1}, x_{6,2}, \dots, x_{6,8}\}$;
 X_7 — схема проветривания выемочного участка, $X_7 = \{x_{7,1}, x_{7,2}, \dots, x_{7,5}\}$;
 X_8 — способ выемки угля в лавах, $X_8 = \{x_{8,1}, x_{8,2}\}$;
 X_9 — тип средств участкового транспорта угля, $X_9 = \{x_{9,1}, x_{9,2}, \dots, x_{9,7}\}$;
 X_{10} — наличие усредняющих бункеров, $X_{10} = \{x_{10,1}, x_{10,2}\}$;
 X_{11} — тип вспомогательного транспорта по участковым выработкам, $X_{11} = \{x_{11,1}, x_{11,2}, \dots, x_{11,6}\}$;
 X_{12} — тип средств механизации отбойки горной массы в подготовительных выработках, $X_{12} = \{x_{12,1}, x_{12,2}, \dots, x_{12,5}\}$;
 X_{13} — тип транспорта горной массы из забоя подготовительной выработки, $X_{13} = \{x_{13,1}, x_{13,2}, x_{13,3}\}$; X_{14} — тип вспомогательного транспорта при

проведении подготовительных выработок,

$X_{14} = \{x_{14,1}, x_{14,2}, \dots, x_{14,6}\}$;

X_{15} — способ управления горным давлением,

$X_{15} = \{x_{15,1}, x_{15,2}, x_{15,3}\}$;

X_{16} — способ ведения закладочных работ и возведения породных полос, $X_{16} = \{x_{16,1}, x_{16,2}, \dots, x_{16,5}\}$; X_{17} — характер размещения раскоски при

проведении подготовительных выработок, $X_{17} = \{x_{17,1}, x_{17,2}, x_{17,3}\}$.

Информационное обеспечение разработано для условий Карагандинского бассейна на основе отраслевых и региональных директивных документов и состоит из входной переменной информации и постоянно-справочной информации о горно-геологических, горно-технических, технологических, организационных и системных факторах; необходимости соблюдения требований норм безопасности в соответствии с ПБ и ПТЭ; экономических факторов, на базе которых разработана матрица соответствия состояний элементов подсистемы технологических схем очистных работ критериям безопасности и параметрам технико-экономической эффективности разработки пластов ограниченной мощности и сложных по строению.

$\bar{Z}$ — вектор дискретных целочисленных параметров (переменных) в области $\{P_2\}$ допустимых значений $\bar{Z} \in \{P_2\}$:

Z_1 — число разрабатываемых пластов: $Z_1 = \{z_{1,1}, z_{1,2}, \dots, z_{1,7}\}$;

Z_2 — число выработок, необходимых для подготовки выемочного столба: $Z_2 = \{z_{2,1}, z_{2,2}, \dots, z_{2,9}\}$;

Z_3 — сечения горных выработок: $Z_3 = \{z_{3,1}, z_{3,2}, \dots, z_{3,9}\}$.

$\bar{Y}$ — вектор непрерывных управляемых параметров (переменных) в области $\{P_3\}$ допустимых значений $\bar{Y} \in \{P_3\}$:

$$Y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7),$$

где y_1 — размер выемочного столба;

y_2 — длина очистного забоя;

y_3 — скорость продвижения линии очистных работ;

y_4 — скорость подачи выемочной машины;

y_5 — скорость проведения подготовительных выработок;

y_6 — производительность закладочной установки;

y_7 — интенсивность потока угля.

Каждому элементу подсистемы соответствует свой набор управляемых переменных. Каждому из путей $\mu_j \in M_d(L)$ ставится в соответствие задача оптимизации критерия адаптации:

$$J = \prod_{i=1}^7 J_i \mu_j, \bar{Y} \rightarrow \max \quad (12)$$

при необходимых условиях:

$$\mu_j \in M_d(L), \hat{y}_\varepsilon \geq \hat{\sigma}_\varepsilon > 0, \varepsilon = 1, \dots, 7, \quad (13)$$

где $\hat{y}_\varepsilon$ — верхние предельные значения параметров.

Корректность решения требует оптимизации характеристик и параметров технологических схем по всем составляющим критерия адаптации.

Отыскиваются оптимальные решения $\mu_{0,j}$ и $\bar{Y}_{0,j}, j = \overline{1, \dots, 17}$ по различным локальным критериям оценки, совокупность которых даст глобальный оптимум, что позволит сформулировать оптимальные варианты технологических схем.

Синтез оптимальных управляемых подсистем.

Ниже излагается методика, основанная на исследованиях [1], позволяющая решить первую задачу и дать математическую формулировку проблемы синтеза оптимальных управляемых систем.

Математическую формулировку проблемы синтеза оптимальных управляемых систем можно представить в следующем виде.

Для построения оптимизационных моделей необходимо переменные $\bar{X}$ и $\bar{Z}$ в их взаимосвязи отобразить в квазиупорядоченный (по иерархичности) граф $L = (\bar{X} \cup \bar{Z}, r)$ с минорантами $\bar{X}_1 \in \bar{O}$, $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ и мажорантами $\bar{Z}_a \in \bar{Z}$, $\bar{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_a)$. На графе L существует множество независимых путей от X_1 до Z_a , число которых определяется произведением:

$$|M(L)| = k_1 \dots k_k \cdot a_1 \dots a_a, \quad (14)$$

где $k_j, j = 1, k$ — число состояний переменной k_j ; X_j и $m_j, i = 1, k$ — число дискретных значений переменной (Z_i).

Имеем $M = \{1, 2, \dots, m\}$ квазистатистических состояний плотности распределения вероятностей процессов, слагающих технологическую схему. Для любого $j \notin P$ имеет квазиупорядоченный граф $L_i = (X, \Gamma)$ дискретного подпространства H^n , на котором определено множество допустимых путей $M_\delta(L) \in M(L)$. Каждому пути $\mu_i \in M_\delta(L)$ поставлена в соответствие задача оптимизации функционала:

$$R = (\min, \max) \bar{Z}, \bar{Y}, \bar{Y}_{(i)} \int_{t_j}^{t_{j+1}} F(\Theta(\bar{A}), \Theta(\bar{Z}), \Theta(\bar{Y}), \Theta(\bar{Y}_{(i)}), t) dt, \quad (15)$$

при ограничениях

$$P_v(\Theta(\bar{A}), \Theta(\bar{Z}), \Theta(\bar{Y}), \Theta(\bar{Y}_{(i)})) \geq 0, v = 1, 2, \dots, \quad (16)$$

где $\Theta(\bar{Z})$ — целочисленные состояния системы.

На каждом квазистатистическом состоянии требуется определить такой путь $\mu_0 \in M_\delta(L)$ и значения векторов $\bar{Z}^0, \bar{Y}^0, \bar{Y}_{(i)}^0$, которым соответствует абсолютный оптимум функционала (15) при соответствующей ему структуре (16).

Переход от одного i -го шага $i \in M(L)$ к $(i + 1)$ -му шагу можно рассматривать как управление конечным состоянием системы в деформированном непрерывно-дискретном фазовом подпространстве H^n .

Оптимальная траектория множества параметров выражается следующим выражением:

$$\Theta_0(W^n) = \Theta_0(W_1^n) \cup \Theta_0(W_2^n) \cup \dots \cup \Theta_0(W_p^n), \quad (17)$$

где $\Theta_0(W_j^n)$ — множество состояний переменных значений объекта.

На этом пути $\Theta_0(W^n)$ наложено ограничение:

$$\Theta_0(W_1^n) \cup \Theta_0(W_2^n) \cup \dots \cup \Theta_0(W_p^n) = \text{const}, \quad (18)$$

где $\bar{W}_j^n, j = 1, 2, \dots, p$ — векторы, у которых все соответствующие компоненты равны между собой.

Для удовлетворения условия (18) необходима оптимизация $\Theta_0(W^n)$.

Для этого устанавливается изменение критерия оптимальности в функции t на всем интервале изменения параметров T :

$$R_j = f_j(t), j = 1, 2, \dots, p, \quad (19)$$

имея в виду исходную оптимальную функцию для получения частных оптимальных критериев:

$$R_{0,j} = f_{0,j}(t), j \in P. \quad (20)$$

Ввиду того, что функции (19) и (20) имеют линейно-дискретный вид, т.е. $R_j = d_j$, то значение критерия оптимальности можно представить как произведение на общем диапазоне T :

$$F_0 = \sum_{j=1}^p d_j t_j. \quad (21)$$

При выборе оптимального варианта отыскивается оптимальный путь, который обеспечивает минимальное приращение критерия оптимальности на всех

$(p-1)$ частных диапазонах t_j , где $j = 1, 2, \dots, p-1$.

Сравнивая все ΔF_j ($j = 1, 2, \dots, p$), находим $\Delta F_k \rightarrow \min$ для диапазона t_j и путь $\Theta_0(W_k^n)$, который и принимается для синтеза как оптимальный.

Предложенный методический подход рекомендуется к использованию для условий отработки пологих и наклонных тонких и средней мощности угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кибернетика в горном деле / Ред. коллегия: Л.А. Бричкин, В.Н. Горбенко, Ж.С. Ержанов и др. Алма-Ата: Наука, 1966. 167с.

УДК 22:622.221:622.271

Б.Т. БЕРКАЛИЕВ
Б.Ж. ХАМИМОЛДА
М.Б. БАИЗБАЕВ

Открыто-подземный способ разработки сложных рудных месторождений (на примере комплексного месторождения Ушкатын-III)

Современное состояние экономики Казахстана базируется на стратегии создания новых добывающих мощностей при разработке месторождений полезных ископаемых. Одним из перспективных месторождений по обеспечению железо-марганцевым сырьем промышленности республики является месторождение Ушкатын-III. Как известно, рудные месторождения отличаются чрезвычайной сложностью залегания, изменчивостью элементов рудных тел даже в пределах одного горизонта. Поэтому с целью научно обоснованного выбора рациональной технологии для повышения эффективности разработки этих месторождений необходимо установить степень их сложности. В результате изучения и анализа работ, посвященных определению сложности рудных месторождений, и по количеству факторов, усложняющих производство добычных работ, нами рекомендуется для установления степени сложности рудные тела разделить на пять групп: I — весьма простые; II — простые; III — средней сложности; IV — сложные; V — весьма сложные. Исходя из рекомендаций Ломоносова Г.Г., Леонтьева А.Т., Гальянова А.В., Яковскова П.П., критерий сложности залегания рудных тел (λ_n) запишется в виде

$$\lambda_n = \frac{S_{i\bar{e}}}{S_{i\bar{d}}} = \frac{S_{i=0} - S_{d=0}}{S_{i=0}},$$

где $S_{нк}$ — площадь возможной приконтактной зоны, м²;
 $S_{об}$ — общая площадь, м²;
 $S_{n=0}$ — площадь контура отбойки рудного тела, соответствующего полному отсутствию потерь полезного ископаемого на контактах, м²;
 $S_{p=0}$ — площадь контура рудного тела, соответствующего отсутствию разубоживания руды на контакте, м².

Величина показателя (λ_n) может изменяться от 0 до 1. Минимальное значение соответствует случаю наиболее простого залегания рудного тела (площадь приконтактной зоны равна 0). Максимальное соответствует наиболее сложному залеганию, когда рудное тело, по существу, представляет собой одну приконтактную зону.

Выбрав для экспериментов наиболее типичный участок месторождения, по указанной формуле можно установить степень сложности рудного тела. По приведенной классификации и формуле железо-марганцевое месторождение Ушкатын-III можно отнести к группе сложных месторождений.

Сложный контакт полезного ископаемого, который влияет на полноту использования недр, излишние потери при смещении линий отбойки вовнутрь залежи и сверхнормативное разубоживание при выемке залежи по контакту обуславливают изыскание альтернативных вариантов выемки залежей. В условиях открытой разработки обеспечить оптимальное соотношение потерь и разубоживания весьма сложно, т.к. выемка без потерь с увеличением глубины карьера приводит к необходимости разности бортов карьера. Резкое повышение коэффициента вскрыши приводит к неоправданным затратам и отрицательным результатам открытого способа разработки. Экономическое сравнение снижения

потерь и затрат на разnosку бортов можно осуществить по следующему неравенству:

$$\Delta \dot{I} \cdot \dot{O}_e \cdot 0,01 \dot{N} \geq \sum \dot{C} \cdot \dot{A}_i, \text{ т},$$

где $\Delta \dot{I}$ — доизвлечение руды из потерь, т;

$\dot{C}_и$ — извлекаемая ценность, тг / т;

$\dot{C}$ — содержание полезных ископаемых, %;

$\sum \dot{C}$ — суммарные затраты на разnosку бортов, тг / т;

$\dot{B}_n$ — объем извлекаемых вмещающих пород при разnosке бортов.

Практика применения способа по разnosке бортов, в основном (в том числе и на месторождении Ушкатын-III), экономически невыгодно и технически трудоемко, что вынуждает искать другие пути.

Одним из прогрессивных направлений существенного повышения производственного потенциала и разработки принципиальных научно обоснованных технологических решений в горной науке является использование комбинированного открыто-подземного способа эксплуатации месторождения. В настоящее время в горнорудной практике наблюдается тенденция расширения объемов этого способа разработки. Ужесточение экологических требований также ограничивает дальнейшее углубление карьеров и, как следствие, увеличение площадей отчуждаемых земель. В развитие теории комбинированной разработки залежей значительный вклад внесли исследования К.Н. Трубецкого, Д.Р. Каплунова, С.Л. Иофина, В.А. Щелканова и других ученых. В известных классификациях в качестве классификационного признака принята последовательность ведения открытых и подземных работ, и в соответствии с этим все системы комбинированной разработки рудных месторождений разделены на три класса:

- системы, когда начало разработки осуществляется открытым способом, а доработка — подземным;

- системы, когда на открытый способ переходят после отработки запасов подземным способом;

- системы совместной разработки месторождения.

Рассмотрим кратко практику разработки месторождений по приведенной выше классификации. Так, при разработке алмазного месторождения — кимберлитовой трубки «Мир» — переход с открытого на подземный способ разработки произведен по принципиальной схеме с применением камер ромбовидной формы [1]. Безопасный переход из выработок подземного рудника в условиях погашенного карьера с относительно быстрой изоляцией его от выработанного карьерного пространства возможен при применении системы разработки с подэтажной отбойкой руды и закладкой в камерах ромбовидной формы.

Себестоимость добычи открытым и подземным способами на глубине более 300-400 м существенно не отличается, даже без учета экологических последствий рассматриваемых способов разработки месторождений. Однако производственная мощность при подземной разработке может достигать размеров добычи открытым способом, о чем свидетельствует,

например, опыт рудника Кируна в Швеции [2]. С учетом сложившейся экологической ситуации в Криворожском бассейне и систематического ее ухудшения специалистами предложены технологические схемы перехода от открытой разработки к подземной. Как правило, эти предложения предусматривают или параллельное с подземными ведение открытых работ при условии оставления предохранительного барьерного целика между дном карьера и подземным выработанным пространством, или же совместное ведение открытых и подземных работ в зоне действующих карьеров с управляемым обрушением зоны перехода [3].

В качестве примера, когда на открытый способ переходят после отработки запасов подземным способом, можно привести Блявинское меднорудное месторождение в России.

Системы первых двух классов широко известны в горно-рудной практике. Наибольший научно-технический интерес по сложности ведения горных работ представляет совместная разработка. В известных классификациях способов комбинированной разработки месторождений она представлена тремя подклассами:

- с полным совмещением горных работ в вертикальной плоскости;
- с частичным совмещением горных работ;
- с совмещением работ в горизонтальной плоскости.

Здесь классификационным признаком является пространственное размещение открытых и подземных работ относительно друг друга. Приведенная классификация не дает возможности выбора схемы и варианта разработки всего месторождения в целом комбинированным способом при проектировании. Действительно, какими бы системами ни отрабатывались рудные залежи, при комбинированной разработке неизбежно будет образована переходная зона, разделяющая открытые и подземные работы. Выбор системы подземной разработки будет зависеть от способа разделения выработанных пространств, независимо от того, совмещаются ли они в вертикальной или горизонтальной плоскости.

Анализ теоретических исследований и практики показывает, что наиболее высокие показатели могут быть получены при комплексной открыто-подземной разработке с открыто-подземным ярусом, предложенной коллективом ученых под руководством академика М.И. Агошкова. Применение этого способа позволяет при незначительном сокращении производственной мощности по руде уменьшить транспортные расходы на 25-30% и отказаться от дополнительных площадей для размещения вскрышных пород.

Комплексное свинцово-баритовое и железомарганцевое месторождение Ушкатын-III представлено рудными залежами преимущественно крутого падения. Лишь в замковых частях синклинальных складок выделяются небольшие по площади участки пологого падения. Рудные тела и вмещающие породы устойчивые, крепость их по

шкале проф. М.М. Протодяконова соответственно $f = 12 - 14$.

Основополагающим принципом формирования технологической схемы горных работ являются эффективное и комплексное освоение природных ресурсов месторождения и охрана окружающей среды. Реализация современных требований к технологии горных работ возможна лишь при использовании прогрессивных технологических решений, основанных как на традиционной комплексно-механизированной выемке полезных ископаемых, так и на геотехнологических способах добычи.

С учетом достижений и перспектив развития горной науки и практики предлагается технология ведения горных работ на месторождении, в основу формирования которой заложена концепция целенаправленного размещения отходов горного производства (пустая порода, хвосты обогащения) с образованием подземных техногенных месторождений заданного качественного состава, с возможностью последующего извлечения из них полезных компонентов в ближайшем или отдаленном будущем по мере развития научно-технического прогресса. С этих позиций обоснованы основные элементы технологической схемы добычи. Выбор систем разработки рудных тел осуществляется в полном соответствии со сформированной концепцией отработки месторождения, исходя из которой исключается использование систем с обрушением, предпочтение отдается системам с открытым выработанным пространством. Горно-геологические условия месторождения (средняя мощность рудных тел, крутой угол падения и устойчивость руды и вмещающих пород) допускают применение систем разработки этого класса. С учетом сложившихся тенденций развития технологии подземных горных работ, комплексного использования минерального сырья и максимального снижения ручного труда на основе механизации процессов добычи и использования нетрадиционных способов выемки, считаем целесообразным применение следующих систем разработки.

Безопасный переход из выработок подземного рудника в условиях погашенного карьера с относительно быстрой изоляцией его от выработанного карьерного пространства возможен при применении системы разработки с подэтажной отбойкой руды и закладкой в камерах ромбовидной формы [4].

В соответствии с принципиальной схемой (рис. 1), в первую очередь, отрабатываются траншеи 1, выходящие непосредственно в выработанное карьерное пространство. После отработки всех траншей и закладки их твердеющими смесями происходит полная изоляция подземного рудника от карьера. Во вторую очередь, во время твердения закладочной смеси в траншеях отрабатывают камеры 2, при полном (или практически полном) заполнении которых твердеющими смесями образуется искусственный предохранительный целик. Переходную зону и основные запасы под целиком отрабатывают по единой технологии.

Различие состоит только в том, что при отработке переходной зоны камеры закладывают полностью, а при выемке основных запасов под сформированным целиком допускается неполная закладка.

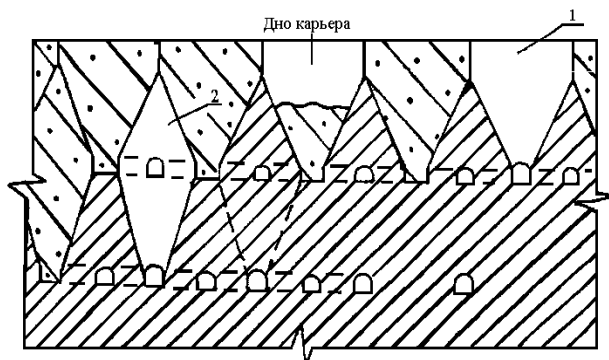


Рис. 1. Принципиальная схема перехода с открытых горных работ на подземные камерами ромбовидной формы:
1 — траншея; 2 — камера

Достоинствами предлагаемого способа являются:

- возможность осуществить переход на подземные работы без присутствия рабочих в выработанном пространстве;
- применение единой технологии для образования предохранительного целика и отработки основных запасов;
- пригодность технологии для отработки как устойчивых, так и слабоустойчивых руд.

Основным параметром технологии, определяющим безопасность работ и ее экономическую эффективность, является толщина создаваемого искусственного предохранительного целика, которая определяется его напряженно-деформированным состоянием, зависящим как от геометрических размеров целика, так и от упругости подстилающего его основания (при рассматриваемой технологии — от объема пустот в подстилающем целике закладочном массиве).

Для подземной разработки запасов руды месторождения Ушкатын-III, наряду с системой с поэтажной отбойкой и закладкой в камерах ромбовидной формы, может быть рекомендована созданная нами новая система разработки ромбовидными блоками с магазинированием руды, подтвержденная авторским свидетельством как изобретение (а.с. №877999, рис. 2) [5]. Указанная технология ромбовидными блоками авторами предложена и опубликована раньше технологии, предлагаемой Милехиным Г.Г. [4].

Как известно, способ отработки крутопадающих рудных тел системой с магазинированием и выпуском через металлические люки требует значительных затрат на установку люков, делает нецелесообразным применение высокопроизводительных механизмов на выпуске. Кроме того, известен способ отработки крутопадающих месторождений блоками с магазинированием, мелкошпуровой отбойкой и вибровыпуском руды. Однако указанный способ характеризуется сравнительно большим объемом

нарезных работ в днище блока. С целью концентрации работ по выпуску руды на транспортный горизонт и сокращения нарезных работ в днище блока в созданной нами системе блоки к очистной выемке подготавливаются в виде ромбов наклонными восстающими, а выпуск руды ведут на одну выпускную выработку, которую снабжают вибродоставочным механизмом, причем восстающие проводят под углом 45-60° к горизонту.

На чертеже (рис. 2) представлена общая технологическая схема способа. Из откаточных штреков 1 проходят наклонные восстающие 2, которые оборудуют ходовым и грузовым отделениями, затем проходят доставочную выработку 3 и погрузочную камеру 4. Из доставочной выработки проходят в обе стороны дучки 5, которые оформляют в выпускные воронки. Для захода в очистное пространство из восстающих проходят в межблоковых целиках 6 сбойки 7. Очистные работы начинаются после подсечки блока в результате образования выпускных воронок. Бурение шпуров производится с поверхности замагазинированной руды. В процессе отбойки осуществляется частичный выпуск руды виброустановкой, установленной в доставочной выработке. Для регулирования поверхности замагазинированной руды частичный выпуск может осуществляться через сбойки и грузовые отделения наклонных восстающих, оборудованных в устье вибролюками. После окончания отбойки руды в блоке производится массовый ее выпуск вибромеханизмом, установленным в доставочной выработке. В одновременной разработке могут находиться 3-4 и более блоков. Таким образом, применением рекомендуемого способа разработки ромбовидными блоками увеличенной высоты почти полностью исключаются горно-подготовительные и нарезные работы в днище блока, а общий объем горно-подготовительных работ уменьшается в 1,3 раза по сравнению с нарезкой днища под скреперную доставку; уменьшаются потери руды в надретровых целиках и потолочине и общие потери по системе разработки снижаются на 10%. Представляется возможность использования мощных средств вибромеханизмов на выпуске и доставке руды при оптимальных условиях их эксплуатации, что позволяет повысить в 2-3 раза производительность труда на этой операции очистной выемки, увеличивается интенсивность разработки блоков, в результате чего снижается разубоживание руды на 5-6%; уменьшается число погрузочных пунктов, повышается культура производства.

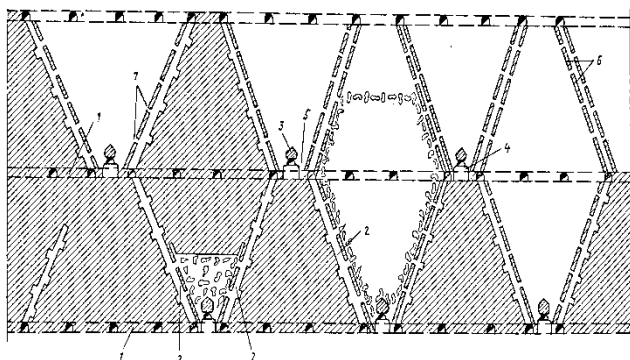


Рис. 2. Технология разработки ромбовидными блоками с магазинированием руды

Рекомендуемая система разработки ромбовидными блоками с магазинированием руды прошла промышленные испытания в условиях рудников Кольского полуострова России, где получены положительные результаты. Однако новые техногенные условия при открытой добыче руд позволяют рекомендовать систему с ромбовидными камерами для эффективного перехода к подземному способу выемки. Такие техногенные условия имеются на карьерах Центрального Казахстана, Соколовско-Сарбайском и рудного региона востока страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение толщины железобетонных перекрытий при переходе с открытых на подземные горные работы / Г.Г. Милехин, В.А. Александров, Н.В. Ковтун, Н.П. Крамсков // Записки СПбГГИ. Т.139. СПб: СПбГГИ, 1994.
2. Дядечкин Н.И., Храпко О.И., Стагис С.Г. Новая технология выемки руды в период перевода открытых работ на подземные в Кривбассе (в порядке обсуждения) // Горный журнал. 1991. №11. С.16-19.
3. Новожилов М.Г., Маевский А.М., Просандеев Н.И. Эффективность открытых горных работ при переходе на подземный способ разработки // Там же. 1989. №4. С.20-22.
4. Милехин Г.Г. Переход с открытых горных работ на подземные с использованием камер ромбовидной формы // Там же. 1997. №11. С.24-25.
5. А.с. №877999. Способ разработки крутопадающих рудных месторождений / Сагинов А.С., Беркалиев Б.Т., Хамимолда Б.Ж. и др.

УДК 622.232.32
Ю.М. СМЕРНОВ

Перспективные направления использования низкочастотных гидравлических импульсных систем

Обобщение полученных в процессе комплексных теоретических, экспериментальных исследований и промышленной апробации низкочастотных гидравлических импульсных систем показывает, что могут быть намечены перспективные направления их использования как в традиционных, так и в новых технологических процессах.

Из проблем, решаемых науками о Земле, к таким процессам следует, в первую очередь, отнести работы по вибрационному просвечиванию Земли (ВПЗ), по предупреждению землетрясений, горных ударов, лавин, оползней, селей и других стихийных явлений, зарождающихся в недрах планеты. Разработка подобных проектов велась до последнего времени на базе существующих низкочастотных вибрационных источников [1].

Сотрудниками Карагандинского государственного технического университета совместно с ИГД и СКБ ПГ СО РАН проведен комплекс исследований по созданию шахтного низкочастотного гидравлического вибромодуля с исполнительным органом поступательного действия. В качестве рабочей гипотезы использовано предложение о размещении мощного вибрационного источника (амплитуда силы до 10^6 кН) на некоторой глубине от земной поверхности и передаче волн напряжения в массив. Согласно исследованиям профессора И.С. Чичинина [2] такое воздействие на массив наиболее эффективно с точки зрения получения информации о строении поверхностного слоя Земли. В результате разработан ряд принципиальных схем вибромодуля, сводящихся

к двум модификациям: «распорному» и «инерционному». Наряду с общими признаками и составными элементами эти модификации различаются внутренними параметрами, выходными показателями и, как следствие, имеют различные области использования.

Сложность в реализации описанных систем для целей ВПЗ заключается в жестких требованиях по частоте и форме импульсов на протяжении всего сеанса наблюдений. В процессах, где такие требования не являются главенствующими, описанные системы имеют явные преимущества перед другими.

Из технологических процессов горного производства в настоящее время одним из наиболее трудоемких является проведение выработок по выбросоопасным пластам [3]. Повышению безопасности ведения работ в этих условиях посвящено множество научных исследований и практических рекомендаций. Наиболее приемлемым в условиях резкого повышения интенсификации горного производства представляется способ ведения работ с непрерывным воздействием на пласт искусственных механических импульсов, одновременным контролем резонансных колебаний массива и дальнейшим определением величины зоны безопасной выемки [4]. Повышение производительности основного технологического процесса и соблюдение безопасности ведения работ могут быть достигнуты с реализацией способа, разработанного коллективом сотрудников КарГТУ и

Центрально-Казахстанского отделения АН РК. Для реализации описанного способа проведения выработок необходимы исследования по отысканию параметров пульсирующей системы, разработке и согласованию электронной аппаратуры для различных горно-геологических условий.

Одной из наиболее актуальных задач в строительстве является обеспечение требуемой надежности системы «основание-фундамент-сооружение» в условиях просадочных грунтов, которые занимают более 30% территории республики. Наиболее эффективным способом улучшения свойств оснований в настоящее время считается уплотнение предварительно замоченного на некоторую глубину грунта глубинными взрывами. Однако этот способ отличается невозможностью регулирования степени уплотнения грунта при взрыве, разуплотнением верхней зоны уплотняемого основания и сравнительно большими трудозатратами. В условиях существующих зданий и сооружений этот способ не приемлем, т.к. не обеспечивает условий безопасности.

Для исключения отрицательных моментов такого способа сотрудниками КарГТУ совместно с НПО «Союзспецфундаменттяжстрой» и строительными организациями Южного Казахстана предложена технология регулируемого улучшения свойств оснований (РУСО) на базе исследованных низкочастотных гидравлических импульсных систем. Изменением амплитуды силы, частоты и формы импульса, а также вариацией шага приложения нагрузки может быть достигнута максимальная эффективность уплотнения для конкретных эксплуатационных условий. Исследования по установлению рациональных параметров обеих схем целесообразно осуществлять в направлении оптимизации параметров пульсационных систем, а также технологических показателей процесса в целом.

Интенсификация производственных процессов в промышленности приводит к возрастанию грузопотоков на автомобильном и железнодорожном транспорте, что обуславливает, в свою очередь, повышенные динамические нагрузки на элементы автомобильных и железнодорожных магистралей [5]. Отмеченные обстоятельства показывают необходимость проведения проектных работ по созданию подобных сооружений с учетом повышенных динамических нагрузок. Поскольку современные методы расчета базируются на большом количестве экспериментальных коэффициентов, на первый план выходят экспериментальные методы оценки возможностей тех или иных транспортных сооружений. Основными требованиями, предъявляемыми машинам для испытания сооружений или их фрагментов, являются: моделирование нагрузки оси подвижного состава на элементы конструкции магистрали; моделирование скорости подвижного состава; бесступенчатое и плавное регулирование параметров нагружения.

Решение этой задачи может быть осуществлено с помощью установки, разработанной совместно

сотрудниками КарГТУ и Казахской государственной академии транспорта и коммуникаций. Реализация предложенной схемы предполагает исследовательские работы по установлению взаимодействия исполнительных органов виброисточника, согласование электронного и гидравлического каскадов органа управления.

Работы по промышленной апробации гидравлических пульсационных машин для целей сейсмостойкого строительства [6] показали, что имитация сейсмического нагружения на испытываемые модели отличается от реальных акселерограмм, записанных во время землетрясений. Вследствие этого в ряде случаев данные, полученные в результате подобных испытаний, не могут быть рекомендованы для использования в проектировании сейсмостойких сооружений. Причиной такого несоответствия является, в первую очередь, различие в уровнях приложения динамического нагружения на модели и природой сил, имитирующих это воздействие.

Для устранения первого различия КарГТУ совместно с институтом ТашЗНИИЭП (г.Ташкент) предложен вибрационно-сейсмический модуль.

В результате появляется возможность регулирования нагрузки в каждом уровне модели с изменением частоты. Вопросы, подлежащие решению с реализацией подобной схемы, сводятся к установлению основных закономерностей взаимодействия исполнительных органов между собой, с испытываемой моделью и органом управления.

Поскольку сейсмическая нагрузка передается наземному сооружению через фундамент, зарубежные исследователи пошли по пути создания подвижного основания, на которое крепится испытываемое сооружение или его фундамент (сейсмоплатформа) [7]. Отечественных аналогов подобных машин нет. Таким образом второе различие может быть устранено при использовании вибрационно-сейсмической платформы большой грузоподъемности, разработанной КарГТУ совместно с институтом КазНИИССА (г.Алматы). Дальнейшие работы по созданию вибрационной сейсмической платформы должны быть направлены на согласование режимов движения отдельных групп исполнительных органов, на электронное обеспечение реальных акселерограмм и их отслеживание гидравлическими элементами и, в большей мере, на автоматизацию задания параметров и обработки информации.

Рассмотренные перспективные направления использования низкочастотных гидравлических импульсных систем показывают, что существуют реальные возможности для существенного расширения их области применения новыми технологическими процессами промышленности и научных исследований. Их обобщение позволяет рекомендовать следующие направления в области дальнейшего исследования НГИС и создания на их базе высокоэффективных машин для различных эксплуатационных условий (см. рис.).

В области горного дела к таким направлениям относятся работы по оконтуриванию сечения горных выработок при создании высокопроизводительных проходческих механизированных комплексов, а также по созданию средств безопасного ведения добычных и проходческих работ в условиях выбросоопасных пластов. При наметившейся тенденции увеличения глубины разработки угольных месторождений, где существенно усугубляется проблема внезапных выбросов, последние работы имеют приоритетное значение.

Перспективными направлениями в области ВПЗ и геофизики является создание надежных, высокоэффективных комплексов для поиска и оценки месторождений полезных ископаемых. В качестве общего направления для отмеченных областей следует выделить создание средств для предотвращения стихийных бедствий (землетрясений,

горных ударов, оползней, лавин, селей и т.п.). Поскольку к настоящему времени имеющиеся средства являются недостаточно эффективными, а для некоторых случаев вообще отсутствуют, эта проблема выходит на первый план.

В области машиностроения наиболее перспективными представляются работы по созданию высокопроизводительных поточных линий для уплотнения формовочных смесей при отливке сложных и крупногабаритных деталей и по созданию способов и средств улучшения качества сплавов.

Наибольшие перспективы имеют НГИС при использовании их в технологических процессах и проектных работах, связанных со строительством в особых условиях. К ним можно отнести производство строительных изделий и конструкций из бетона и железобетона, процессы, направленные на улучшение свойств оснований, устраиваемых в просадочных и лессовых грунтах.



Основные перспективные направления разработки и создания низкочастотных гидравлических импульсных систем

Дальнейшее развитие работ, связанных с динамическими испытаниями строительных конструкций, предполагает создание НГИС для испытаний элементов автомобильных и железнодорожных магистралей, а также их фундаментов. Две последние области определяют наиболее существенное направление развития НГИС для технологических процессов и проектных работ, связанных с сейсмостойким строительством.

Очевидно, что с развитием работ в отмеченных областях появятся новые представления и рабочие гипотезы для развития НГИС в других областях, связанных в той или иной мере с рассмотренными,

или совершенно новых, которые на сегодняшний день явно не могут быть выделены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ряшенцев Н.П. Виброимпульсные системы в горном деле // ФТПРПИ. 1987. №6. С.51-62.
2. Чичинин И.С. Вибрационное излучение сейсмических волн. М.: Недра, 1984. 224с.
3. Петухов И.М., Егоров П.В., Винокур Б.М. Предотвращение горных ударов на рудниках. М.: Недра, 1984. 230с.
4. Ержанов Ж.С. и др. Механизм инициирования динамических явлений в подготовительных выработках. Алматы: Наука, 1984. 223с.
5. Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава // Сб. трудов ВНИИЖТ. Вып. 97. 1955. М.: Трансжелдориздат. С.25, 288.
6. Корчинский И.Л., Жунусов Т.Ж., Малевская О.Я. Качественная оценка параметров ожидаемых землетрясений. Алматы: Казахстан, 1985. 79с.
7. Логовский И.А. Безопасность прежде всего // Наука и жизнь. 1990. №4. С.65-73.

Раздел 4

Строительство

УДК 539.3:534.1

Ж.Б. БАКИРОВ

Закритические прогибы стержней при случайных изменениях параметров

Для определения прогибов стержней после потери устойчивости используются нелинейные дифференциальные уравнения изгиба или энергетические соотношения, учитывающие нелинейные составляющие деформации. В любом случае уравнение для определения стрелы прогиба может быть представлено в следующем виде:

$$\eta \delta^3 + \delta (1 - F/F_{\text{кр}}) = 0. \quad (1)$$

Отсюда

$$\delta = A/l = \left[F/F_{\text{кр}} - 1 / \eta \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где δ — безразмерная стрела прогиба;
 η — безразмерный коэффициент нелинейности, зависящий от способа закрепления стержня;
 $F_{\text{кр}}$ — критическая сила.

Далее положим, что сжимающая сила является случайной величиной с плотностью распределения $P(F)$. Плотность распределения стрелы прогиба находится по формуле преобразования плотности вероятности [1]

$$f(\delta) = \left| \frac{dh(\delta)}{d\delta} \right| P[h(\delta)], \quad (3)$$

где $h(\delta) = F = \eta \delta^2 + 1 \cdot F_{\text{кр}}$.

Так, при нормальном законе распределения нагрузки это выражение примет вид

$$f(\delta) = \sqrt{2/\pi} \sigma_0^{-2} |\delta| \exp \left[-\delta^2 - \delta_m^2 / 2\sigma_0^2 \right]. \quad (4)$$

Здесь введены обозначения:

$$\sigma_0^2 = \sigma_F^2 / \eta F_{\text{кр}}, \quad t_0 = (F_{\text{кр}} - m_F) / \sigma_F = -m, \quad \delta_m^2 = -t_0 \sigma_0^2 = m \sigma_0^2, \quad (5)$$

где m_F , σ_F — математическое ожидание и стандарт нагрузки.

Для проведения прочностных расчётов часто приходится решать задачу о вычислении вероятности того, что прогиб не превысит предельного уровня δ . Этот уровень задаётся непосредственно из условия прочности. В последнем случае значение δ определяется из условия

$$\sigma_{\text{max}} = F/A + F\delta l/W = \sigma_*,$$

где σ_* — предельное напряжение. Отсюда

$$\delta_* = \sigma_* / F - 1/A \cdot W/l.$$

Если нагрузка — случайная величина, то необходимо, чтобы неравенство

$$F \leq \sigma_* / 1/A + \delta l/W = F_*$$

выполнялось с большой вероятностью H_g , то есть должно быть

$$H_g = \int_{-\infty}^{F_k} P F dF = F F_*, \quad (6)$$

где $F(x)$ — функция распределения нагрузки. Значение δ_* теперь находится как корень уравнения (6). Так, например, для нормального закона

$$\gamma_H = F_* - m_F / \sigma_F,$$

где γ_H — квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности H_g . Тогда

$$F_* = m_F + \gamma_H \sigma_F \quad \text{и} \quad \delta_* = \frac{W}{l} \left[\frac{\sigma_*}{m_F + \gamma_H \sigma_F} - \frac{1}{A} \right].$$

Вероятность того, что прогиб не превысит предельного уровня, определяется выражением

$$P(\delta \leq \delta_*) = F(F_{\delta\delta}) + \int_0^{\delta_*} f(\delta) d\delta, \quad (7)$$

где первый член равен вероятности сохранения прямолинейной формы равновесия. Подставим сюда (4) и сделаем замену переменных

$$t = \delta^2 - \delta_m^2 / \sigma_0^2.$$

Тогда $\delta = \sigma_0 \sqrt{t - t_0}$, $d\delta = \sigma_0 dt / 2 \sqrt{t - t_0}$,

$$\int_0^{\delta_*} f(\delta) d\delta = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{t_0}^{t_*} e^{-t^2/2} dt = \hat{O}(t_*) - \hat{O}(t_0),$$

где $t_* = t_0 + \delta_*^2 / \sigma_0^2$.

Учитывая далее, что для нормального закона $F(F_{\delta\delta}) = \hat{O}(t_0)$, окончательно получим

$$P(\delta \leq \delta_*) = \hat{O}(t_*).$$

Для проведения вероятностных расчётов иногда достаточно знать математическое ожидание и дисперсию прогиба. Они определяются по формулам

$$m_\delta = \int_{-\infty}^{\infty} \delta f(\delta) d\delta, \quad (8)$$

$$D_\delta = \int_{-\infty}^{\infty} (\delta - m_\delta)^2 f(\delta) d\delta = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^2 f(\delta) d\delta - m_\delta^2 = \mu_2 - m_\delta^2,$$

где μ_2 — начальный момент второго порядка. После подстановки (4) в (8) и вышеуказанной замены переменных имеем

$$m_\delta = \sigma_0 \int_{t_0}^{\infty} \sqrt{t - t_0} \frac{1}{2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Сделаем еще одну замену переменных $x = t - t_0$. Тогда

$$m_\delta = \sigma_0 \int_0^{\infty} \sqrt{x} \frac{1}{2} e^{-x^2/2 - xt_0} dx.$$

Из теории специальных функций [2] известен интеграл

$$\int_0^{\infty} x^a \exp(-x^2/2 - zx) dx = \tilde{A}(a+1) e^{z^2/4} U(a+1/2, z),$$

где $\Gamma(d)$ — полная гамма-функция; $U(d, z)$ — функция параболического цилиндра. Используя этот интеграл, получаем

$$m_\delta = \sigma_0 \int_0^{\infty} \sqrt{x} \frac{1}{2} e^{-x^2/2 - xt_0} dx.$$

Учитывая, что $\tilde{A}(3/2) = \sqrt{\pi}/2$, окончательно имеем

$$m_\delta = \sigma_0 \frac{1}{\sqrt{8}} U(1, t_0). \quad (9)$$

Если $t_0 < 0$, то нужно воспользоваться равенством

$$U(1, -x) = \pi V(1, x) / \tilde{A}(3/2) = 2\sqrt{\pi} V(1, x),$$

где $V(1, x)$ — также функция параболического цилиндра. Таблицы этих функций можно найти в [2].

Найдём дисперсию прогиба. Для этого сначала вычислим второй начальный момент

$$\mu_2 = \sigma_0^2 / \sqrt{2\pi} \int_{-m}^{\infty} (t + m) e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \sigma_0^2 \left[m \hat{O}(m) + e^{-\frac{m^2}{2}} / \sqrt{2\pi} \right]. \quad (10)$$

Теперь стандарт прогиба равен

$$\sigma_\delta = \sqrt{D_\delta} = \sqrt{\mu_2 - m_\delta^2}.$$

Аналогичные исследования можно провести и при других законах распределения нагрузки.

Рассмотрим стержень, имеющий начальные искривления оси с безразмерной стрелой прогиба δ_0 , которую считаем случайной величиной, распределенной по нормальному закону

$$P(\delta_0) = (\sqrt{2\pi}\sigma_H)^{-1} \exp(-\delta_0^2 / 2\sigma_H^2). \quad (11)$$

Функцию начального прогиба считаем совпадающей с формой потери устойчивости стержня. Тогда уравнение для определения стрелы прогиба примет вид

$$\eta \delta^3 + \delta(1 - F/F_{\delta\delta}) = \delta_0. \quad (12)$$

Расчёты по уравнению (12) показывают, что при $F < F_{кр}$ сгущение кривых при различных δ_0 происходит вокруг тривиального решения $\delta = 0$. При $F > F_{кр}$ сгущение кривых имеет место вблизи устойчивого нетривиального решения (2).

Так как при $F < F_{кр}$ прогибы малы, то, пренебрегая в (12) первым членом, находим

$$\delta = \delta_0 / (1 - F/F_{\delta\delta}). \quad (13)$$

В этом случае полный прогиб имеет распределение (11) со стандартом

$$\sigma_\delta = \sigma_H / (1 - F/F_{\delta\delta}).$$

Расчёты, проведенные по формулам (12) и (13), показывают, что при $F \leq 0,9F_{кр}$ погрешность в определении прогиба составляет менее 7%. При $F > 0,9F_{кр}$ лучше пользоваться общей формулой (12). Тогда по формуле (3) с учетом того, что $h(\delta) = \delta_0$, получаем

$$f(\delta) = \frac{3\eta\delta^2 + 1 - F/F_{\delta\delta}}{\sqrt{2\pi}\sigma_H} \exp\left[-\delta^2 \left(\eta\delta^2 + 1 - F/F_{\delta\delta}\right)^2 / 2\sigma_H^2\right]. \quad (14)$$

Определим вероятность непревышения прогибом предельного значения δ_* , трактуемую как надёжность стержня

$$H = P \delta \leq \delta_* = \int_{-\delta_*}^{\delta_*} f \delta d\delta. \quad (15)$$

Подставим (14) в (15) и сделаем замену переменных

$$t = \delta \eta \delta_*^2 + 1 - F / F_{\text{ед}} / \sigma_H.$$

Тогда

$$H = P \delta \leq \delta_* = \sqrt{2/\pi} \int_0^{t_*} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 2\hat{O} t_* - 1, \quad (16)$$

где $t_* = \delta_* \eta \delta_*^2 + 1 - F / F_{\text{ед}} / \sigma_H$.

Учитывая, что в закритической области полный прогиб мало зависит от начального прогиба, математическое ожидание можно определить по формуле (2). Для определения дисперсии поступаем следующим образом. Полный прогиб представим как сумму прогиба идеального стержня δ_g по формуле (2) и малого возмущения Δ , вызванного начальным искривлением оси:

$$\delta = \delta_g + \Delta. \quad (17)$$

Тогда уравнение (12) можно записать так:

$$\eta \delta_g + \Delta^3 + 1 - F / F_{\text{ед}} \delta_g + \Delta = \delta_0.$$

Из этого уравнения вычтем уравнение (1). Тогда получим

$$3\eta \delta_g^2 \Delta + \Delta / \delta_g + \Delta^2 / 3\delta_g^2 + 1 - F / F_{\text{ед}} \Delta = \delta_0.$$

Учитывая, что при $F > F_{\text{кр}}$ $\Delta / \delta_g \ll 1$, отбросим последние два члена в первой скобке. Это равносильно линеаризации возмущений вокруг детерминированного решения. Тогда

$$\Delta = \delta_0 / 2 F / F_{\text{ед}} - 1. \quad (18)$$

Отсюда находим стандарт полного прогиба

$$\sigma_\Delta = \sigma_\delta = \sigma_H / 2 F / F_{\text{ед}} - 1. \quad (19)$$

Согласно этой формуле, при $F = F_{\text{кр}}$ стандарт равен бесконечности. Это является следствием того, что в этом случае не справедлива проведённая линеаризация. При $F = F_{\text{кр}}$ уравнение (12) принимает вид

$$\delta_0 = \eta \delta^3.$$

Плотность распределения прогиба тогда равна

$$f \delta = \frac{3\eta \delta^2}{\sqrt{2\pi} \sigma_H} \exp -\eta^2 \delta^6 / 2\sigma_H^2.$$

Дисперсия прогиба определяется выражением

$$D_\delta = 2 \int_0^\infty \delta^2 f \delta d\delta.$$

После замены переменных $t = \eta^2 \delta^6 / 2\sigma_H^2$ можно записать

$$D_\delta = \sigma_H / \sqrt{2\eta} \int_0^\infty t^{-\frac{2}{3}} e^{-t} dt / \sqrt{\pi} = \sigma_H / \sqrt{2\eta} \int_0^\infty t^{-\frac{2}{3}} e^{-t} dt / \sqrt{\pi} = \sigma_H / \sqrt{2\eta} \cdot \frac{3}{2} \Gamma(1/3) / \sqrt{\pi}. \quad (20)$$

Далее положим, что сжимающая сила также является случайной величиной. В силу статистической независимости начального прогиба и нагрузки их совместная плотность вероятности имеет вид

$$P(\delta_0, F) = P(\delta_0)P(F).$$

Из уравнения (12) имеем

$$h(\delta, F) = \eta \delta^3 + \delta(1 - F / F_{\text{ед}}).$$

Плотность вероятности прогиба определяем по формуле

$$f \delta = \int_{-\infty}^\infty P[h \delta, F] P F |dh/d\delta| dF.$$

При нормальном законе распределения нагрузки явное выражение для плотности вероятности прогиба выведено в работе [3]:

$$f \delta = \frac{|2\delta^4 + 3\delta^2 - \delta_m^2 a^2|}{\sqrt{2\pi} \sigma_0^2 \delta^2 + a^2} \exp \left[-\frac{\delta^2 \delta^2 - \delta_m^2 a^2}{2\sigma_0^4 \delta^2 + a^2} \right], \quad (21)$$

где $a = \sigma_H F_{\text{ед}} / \sigma_F$.

Если начальные прогибы отсутствуют ($\sigma_H = 0$), то это выражение совпадает с выражением (4). Если нагрузка неслучайна ($\sigma_F = 0$), то (21) совпадает с выражением (14).

Подставим (21) в (15) и определим надёжность стержня. Сделаем замену переменных

$$t = \delta(\delta^2 - \delta_m^2) / \sigma_0^2 \sqrt{\delta^2 + a^2}. \quad (22)$$

Применяя формулу преобразования вероятностей, получим, что случайная величина t будет распределена по центрированному нормальному закону с единичной дисперсией.

$$P t = 2\pi^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}}.$$

Тогда надёжность определяется выражением (16), где

$$t_* = \delta_* \delta_*^2 - \delta_m^2 / \sigma_0^2 \sqrt{\delta_*^2 + a^2}.$$

Далее из выражения (22) найдём прогиб

$$\delta = \left[t^2 \sigma_0^4 + \delta_m^2 / 2 + \sqrt{t^2 \sigma_0^4 + \delta_m^2 / 4 + t^2 \sigma_0^4 a^2} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Прогиб теперь является функцией случайной величины $x = t^2$: $\delta = f(x)$.

Тогда путем разложения этой функции вокруг математического ожидания m_x можно найти приближенные выражения для математического ожидания и стандарта прогиба [1]

$$m_\delta = f(m_x), \quad \sigma_\delta = |f'(m_x)| \sqrt{D_x}.$$

Найдем вероятностные характеристики случайной величины x :

$$m_x = 2 \int_0^\infty t^2 P(t) dt = 1, \quad D_x = \langle t^4 \rangle - m_x^2 = 2 \int_0^\infty t^4 P(t) dt - 1 = 2.$$

После соответствующих математических преобразований получим

$$m_{\delta} = \left[(\delta_m^2 + \sigma_0^4) / 2 + \sqrt{(\delta_m^2 + \sigma_0^4)^2 / 4 + \sigma_i^2 / \eta^2} \right]^{1/2},$$

$$\sigma_{\delta} = \frac{\sigma_0^4 (b + \delta_m^2 + \sigma_0^4) + 2\sigma_i^2 / \eta^2}{2b\sqrt{\delta_m^2 + \sigma_0^4 + b}},$$

где $b = \sqrt{(\delta_m^2 + \sigma_0^4)^2 + 4\sigma_i^2 / \eta^2}$.

Определение математического ожидания и дисперсии можно упростить следующим образом. При $F < F_{kp}$ воспользуемся выражением (13). Тогда

$$m_{\delta} = 0, \quad \sigma_{\delta} = \frac{\sigma_H}{1 - m_F / F_{kp}}.$$

При $F < F_{kp}$ используем представление (17) и формулы (2) и (18):

$$\delta = \delta_g + \Delta = \left(\frac{F - F_{kp}}{\eta F_{kp}} \right)^{1/2} + \frac{\delta_0 F_{kp}}{2(F - F_{kp})}.$$

Далее воспользуемся разложением этого выражения в ряд Тейлора вокруг математических ожиданий m_F и $m_{\delta_0} = 0$ [1]. Тогда

$$\begin{aligned} m_{\delta} &= [(m_F - F_{kp}) / \eta F_{kp}]^{1/2}, \\ D_{\delta} &= \sigma_H^2 \left(\frac{\partial \delta}{\partial \delta_0} \Big|_{F=m_F} \right)^2 + \sigma_F^2 \left(\frac{\partial \delta}{\partial F} \Big|_{F=m_F, \delta_0=0} \right)^2 = \\ &= \frac{\sigma_H^2}{4(1 - m_F / F_{kp})^2} + \frac{\sigma_F^2}{4\eta F_{kp} (m_F / F_{kp} - 1)}. \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь шарнирно опертый стержень, сжатый силой, точка приложения которой отстоит от центра тяжести в плоскости наименьшей жёсткости на расстоянии e . Применяя метод Бубнова-Галеркина, вновь получаем уравнение (12), в котором

$$\delta_0 = 4\alpha F / \pi l F_{\epsilon\delta}.$$

Если $F < F_{kp}$, то стрела прогиба определяется выражением

$$\delta = \frac{4}{\pi l} * \frac{e}{F_{\epsilon\delta} / F - 1}.$$

Пусть эксцентриситет является случайной величиной с плотностью распределения (11). Тогда дальнейшие расчёты проводятся по формулам для предварительно искривлённого стержня, в которых надо положить

$$\sigma_H = 4F\sigma_e / \pi F_{\epsilon\delta},$$

где σ_e — стандарт относительного эксцентриситета e / l .

Если одновременно имеется начальный прогиб и эксцентриситет, то расчётные формулы будут также справедливы, если в них положить

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{Hl}^2 + 4F / \pi F_{\epsilon\delta}^2 * \sigma_a^2}, \quad \delta_0 = \delta_{Hl} + 4Fe / \pi l F_{\epsilon\delta},$$

где δ_{Hl} , σ_{Hl} — относительная стрела и стандарт начального прогиба.

При наличии эксцентриситета для оценки надёжности стержня предельное значение прогиба δ_* определяется из выражения

$$\sigma_* = 1 + e_* / \rho + \delta_* l / \rho F_* / A,$$

где $\rho = W / A$ — радиус ядра сечения;

σ_* — предельное напряжение;

F_* , e_* — значения силы и эксцентриситета, соответствующие доверительной вероятности расчетов H_g . Так, при нормальном законе распределения этих величин

$$F_* = m_F + \gamma_H k_F, \quad e_* = \gamma_H l \sigma_e.$$

Из предыдущей формулы теперь получаем

$$\delta_* = \sigma_* W / F_* - \rho - e_* / l.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576с.
2. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. М.: Наука, 1979. 830с.
3. Бакиров Ж.Б. Исследование закритического прогиба пластин с учетом случайных факторов // Строительство: Труды КарГТУ. Вып. 1. Караганда: КарГТУ, 1996. С.171-174.

УДК 666.97

Д.О. БАЙДЖАНОВ
Е.Т. КУЧЕРБАЕВ
М.О. ИМАНОВ

Реологические параметры цементного теста с комплексной добавкой

Твердение цементного теста происходит путем кристаллизационного структурообразования на основе первоначальной структуры дисперсной системы с непрерывно протекающими и накладывающимися друг на друга физико-химическими процессами: гидратации, коагуляции и другими и протекает в четыре основных периода [1]. Исследования, проведенные нами, полностью охватывают первый, второй и частично третий периоды

структурообразования цементного камня.

Улучшение реологических параметров дисперсных систем проведено путем введения комплексной добавки ГС-3 [2]. Приготовление добавки произведено в ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2М. В табл. 1 приведены составы компонентов комплексной добавки, полученной предлагаемым способом при различных параметрах диспергирования.

Полученные добавки использовались при исследовании их влияния на реологические характеристики цементного теста: нормальную густоту; вязкость; пластичность; текучесть; подвижность. Из результатов исследований (табл. 2) видно, что комплексная добавка ГС-3 способствует улучшению реологических характеристик цементного теста.

Увеличение наибольшей вязкости практически неразрушенной структуры характеризует увеличение связей в пространственных коагуляционно-седиментационных процессах. Изменение реологических характеристик в сторону повышения вязкости цементного теста будет способствовать повышению однородности бетонной смеси и ее уплотняемости, что особенно важно при экструзионной технологии бетона и железобетона.

Таблица 1

СОСТАВЫ ДОБАВОК, ПОЛУЧЕННЫХ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДИСПЕРГАТОРЕ УЗДН-2М

Наименование компонентов и параметры перемешивания	Соотношение компонента (%) и параметры перемешивания		
	1	2	3
Натриевая соль продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида	49	40	30
Сульфат натрия	0,1	10	5
Лигносulfонат технический	0,5	12	25
Кубовые остатки синтетических жирных кислот	40	30	35
Вода	10,4	8	5
Частота ультразвукового воздействия, кГц	45	22	18,5
Мощность ультразвукового воздействия, Вт/см ²	10	8	4
Время воздействия на каждом этапе, мин.	3	2	1
Устойчивость добавки к расслоению	неустойчивое	устойчивое	

Таблица 2

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ ГС-3 НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Количество вводимой добавки, %	Время от начала затворения, мин	Вязкость, с		Текучесть, $\frac{1}{\eta_0}, \text{с}^{-1}$	Ползучесть, $\frac{1}{\eta_m}, \text{с}^{-1}$
		η_s	η_m		
0	15	3,4	2	0,29	0,5
0,2	15	5,0	1	0,20	1,0
0,4	15	4,0	0,7	0,25	1,5
0,6	15	16,0	0,4	0,06	2,5
0	50	12,0	2,4	0,08	0,42
0,2	50	13,0	1,5	0,08	0,67
0,4	50	10,0	0,89	0,10	1,1
0,6	50	18,0	2,60	0,12	0,38
0	120	30,0	13,4	0,03	0,075
0,2	120	40,0	13,3	0,02	0,075
0,4	120	50,0	9,1	0,02	0,11
0,6	120	40,0	11,4	0,02	0,088

Введение добавки ГС-3 значительно повысило вязкость цементного теста (табл. 2). При этом более высокая вязкость отмечается при дозировке добавки 0,4...0,6% от массы цемента. На рис. 1 и 2 приведены

данные по динамическому напряжению сдвига и пластической вязкости в зависимости от концентрации ГС-3. Исследования проводили на цементе Ново-Карагандинского цементного завода М400 со следующим минералогическим составом: C_3S — 59%; C_2S — 16%; C_3A — 7%; C_4AF — 13%; $\text{В/Ц}=0,5$.

Исследования показали, что с увеличением концентрации ГС-3 до 0,6% (рис. 1) динамическое напряжение сдвига уменьшается с 7,6 до 0,1 Па. Пластическая вязкость теста с ростом концентрации добавки также уменьшается, хотя и не столь значительно (рис. 2).

Уменьшение динамического напряжения сдвига происходит вследствие адсорбции молекул ГС-3 на положительно заряженных участках растущих кристаллов новообразований цемента. Благодаря адсорбции молекул, замедляется рост кристаллов новообразований, а избыток структурных элементов способствует возникновению множества новых кристаллов и в целом созданию более равномерной и мелкозернистой структуры цементного камня. Уменьшение пластической вязкости связано с уменьшением размеров кристаллов новообразований и уменьшением трения между ними.

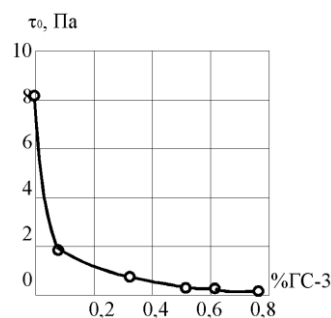


Рис. 1. Зависимость динамического напряжения сдвига от концентрации ГС-3. $T=20^\circ\text{C}$, $\text{В/Ц}=0,5$

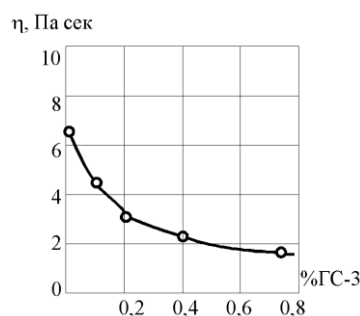


Рис. 2. Зависимость пластической вязкости от концентрации ГС-3. $T=20^\circ\text{C}$, $\text{В/Ц}=0,5$

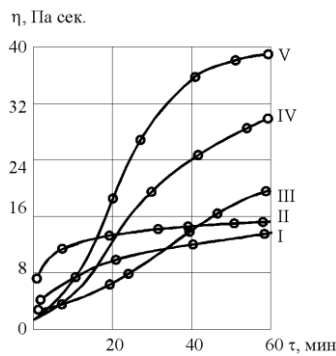


Рис. 3. Зависимость пластической вязкости от времени гидратации при различных концентрациях ГС-3:
I — без добавки; II — 0,2%; III — 0,4%;
IV — 0,6%; V — 0,8%; T=20°C, B/C=0,5

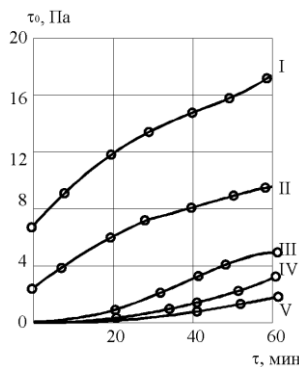


Рис. 4. Зависимость динамического напряжения сдвига от

времени гидратации при различных концентрациях ГС-3:

I — без добавки; II — 0,2%; III — 0,4%;
IV — 0,6%; V — 0,8%; T=20°C, B/C=0,5

Установлено, что пластическая вязкость цементного теста увеличивается с увеличением концентрации добавки ГС-3 (рис. 3), что объясняется увеличением объема дисперсной фазы и более быстрым образованием новой структуры.

Полученные результаты позволили сделать вывод, что оптимальная дозировка добавки ГС-3 составляет 0,6% от массы цемента.

Приведенные реологические исследования позволили разработать составы бетонных смесей с уменьшенной до 10% водопотребностью, что привело к экономии цемента (до 15%) и совершенствованию технологического процесса производства сборного железобетона методом экструзии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия // Избранные труды. М.: Наука, 1978. 368с.
2. А.С. №1621419 СССР. Способ приготовления комплексной добавки для бетонной смеси / Горчаков Г.И., Батраков В.Г., Соловьев В.И., Байджанов Д.О. 1990.

УДК 69.059.7(547)

Ж.С. НУГУЖИНОВ

Деформационная модель расчета железобетонных конструкций в стадии эксплуатации

Одной из трудностей при расчете железобетонных конструкций является определение диаграммы деформирования для бетона. Известные подходы к ее построению довольно сложны и требуют либо определения многих параметров (например, представление диаграммы полиномом пятой степени), либо специальных условий перехода на ниспадающую ветвь диаграммы.

В основу предложенной деформационной модели положена нелинейная диаграмма деформирования бетона [1] в виде показательной функции и арматуры в виде кусочно-линейной функции [3]. При этом сечение бетонного элемента рассматривается как совокупность элементарных площадок, в пределах которых деформации считаются равномерно распределенными, а по высоте сечения элемента связаны гипотезой плоских сечений.

Учет повреждений бетона производится введением площади фактического его сечения, учет снижения сцепления арматуры с бетоном

производится изменением диаграммы ее деформирования.

В качестве нормативной диаграммы бетона, устанавливающей зависимость между напряжениями и деформациями, принимается нелинейная диаграмма состояния бетона с ниспадающей ветвью с учетом переменности относительной деформации бетона на сжатие в вершине диаграммы:

$$\sigma_{bc} = E_b \varepsilon_b \exp(\varepsilon_{rc}^{\gamma} \gamma \varepsilon_b^{-\gamma}), \quad \sigma_{bt} = E_b \varepsilon_b \exp(\varepsilon_{rt}^{\gamma_1} \gamma_1 \varepsilon_b^{-\gamma_1}), \quad (1)$$

где

$$\gamma = \ln \left(\frac{R_b}{E_b \varepsilon_{rc}} \right), \quad \gamma_1 = \ln \left(\frac{R_b}{E_b \varepsilon_{rt}} \right). \quad (2)$$

Расчет железобетонных конструкций в условии длительного действия нагрузки может быть реализован посредством изменения основной диаграммы деформирования бетона. Поскольку она определяется всего тремя параметрами, то, задаваясь их изменениями во времени, диаграмму $\sigma_b(t) \sim \varepsilon_b(t)$

можно построить аналогично случаю кратковременного нагружения. Например, использовать известные формулы [3]:

$$R_b t = [\bar{\gamma}_{b2} + 1 - \bar{\gamma}_{b2} \cdot 0,646 - 0,112 \cdot \ln t] R_b, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{rc} t = \varepsilon_{rc} \cdot [1,189 + 0,059 \cdot \ln t], \quad (4)$$

$$E t = E_0 \cdot 1 - \beta \cdot e^{-\alpha t}, \quad (5)$$

где R_b — призмная прочность бетона при кратковременном нагружении;
 ε_{rc} — относительная деформация бетона в вершине диаграммы;
 E_0 — предельное значение модуля упругости бетона,
 t — время нагружения, в сутках.

Параметры $\bar{\gamma}_{b2}$, α , β определяются экспериментальным путем. При обобщении экспериментальных данных должно учитываться, что:

- полные деформации бетона складываются из упругомгновенных деформаций, возникающих в момент приложения нагрузки, и деформаций ползучести, развивающихся при длительном действии нагрузки;
- характеристики деформации бетона (мера ползучести и модуль упругомгновенных деформаций) определяются из стационарных режимов нагружения;
- суммарная деформация ползучести при переменном напряжении равна сумме деформаций ползучести, вызванных соответствующими приращениями напряжений.

Деформации бетона, соответствующие максимальным напряжениям, определяются из выражений [3]:

$$\varepsilon_{rc} = R_{bn} \left(0,12 + \frac{18,8}{R_{bn}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad \varepsilon_{rt} = 1,5 \frac{R_{bnt}}{E_b}. \quad (6)$$

Основные базовые точки в вершинах диаграммы имеют ординаты, соответствующие максимальным напряжениям бетона при однородном осевом сжатии или растяжении, являющимся в СНиП 2.03.01-84* основными нормативными прочностными характеристиками бетона R_{bn} , R_{bnt} и соответствующие им деформации.

В качестве нормативной диаграммы деформирования арматуры, имеющей физический предел текучести, принимается билинейная диаграмма Прандтля с основной и дополнительными точками. В качестве нормативной диаграммы состояния арматуры с условным пределом текучести, устанавливающей зависимость между напряжениями и деформациями, принимается диаграмма, состоящая из трех прямолинейных отрезков с тремя базовыми точками, предложенная НИИЖБ [3]. Следует заметить, что билинейная диаграмма, примененная к арматуре с условным пределом текучести в расчетах на прочность, в некоторых случаях давала результаты намного точнее, чем при использовании диаграммы, состоящей из трех прямолинейных участков. Диаграммы деформирования арматуры при растяжении и сжатии принимаются одинаковыми.

Для железобетонных обследуемых конструкций, подвергающихся различным воздействиям, когда изменяются исходные физико-механические свойства железобетона, диаграммы состояния бетона и арматуры трансформируются с учетом экспериментальных данных и коэффициентов условий работы γ_b и γ_s .

Расчет прочности сечений железобетонных элементов производится из условий равновесия с использованием гипотезы плоских сечений и диаграмм состояния бетона и арматуры:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} A_{bi} y_0 - y_{bi} + \sum_{i=n+1}^m \sigma_{si} A_{si} y_0 - y_{si} - M = 0; \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_{i=n+1}^m \sigma_{si} A_{si} = 0; \\ \varepsilon_{i \ b,s} = \frac{1}{r} y_0 - y_{i \ b,s}; \\ \sigma_{i \ b,s} = f \ \varepsilon_{i \ b,s}. \end{cases} \quad (7)$$

Алгоритм определения несущей способности железобетонных элементов по нормальному сечению предусматривает пошаговый метод последовательных нагружений, на каждом этапе которого реализован итерационный процесс вычисления относительных деформаций в элементарных площадках. Максимальное усилие от внешней нагрузки, при котором процесс последовательных нагружений сходится (соблюдаются условия (1)), соответствует несущей способности железобетонного элемента.

При заданном центре тяжести элемента определяются кривизна изгибаемого бетонного элемента

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\sum_{i=1}^n E_{bi} A_{bi} y_0 - y_{bi}^2 + \sum_{i=n+1}^m E_{si} A_{si} y_0 - y_{si}^2}, \quad (8)$$

на основе гипотезы плоских сечений относительные деформации i -й элементарной площадки:

$$\varepsilon_{i \ b,s} = \frac{1}{r} y_0 - y_{i \ b,s} \quad (9)$$

и секущие модули деформаций бетона или арматуры:

$$E'_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{\varepsilon_{bi}}, \quad E'_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{\varepsilon_{sj}}. \quad (10)$$

Если напряжения растяжения в бетоне элементарной площадки превышают предельные значения, это свидетельствует об образовании трещины в этой площадке и в дальнейшем осевая жесткость этой элементарной площадки принимается равной нулю, т.е. $E_b A_b = 0$.

Найденные секущие модули деформаций вводятся в расчет в новом расчетном цикле. Критерием окончания процесса последовательных приближений является сравнение общих деформационных параметров на смежных этапах. После окончания итерационного процесса при заданном усилии от внешней нагрузки производится увеличение усилия на одну ступень, и расчет повторяется. Критерием разрушения железобетонного элемента принято

разрушение сжатой зоны бетона или разрыв растянутой арматуры.

По данному расчетному алгоритму была составлена программа «КазМИРР-ЖБК», которая производит расчет прочности железобетонных элементов на основе деформационной модели, определяет ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента по СНиП 2.03.01-84*, прогиб в сечении от заданной нагрузки. Результаты расчета для наглядной визуализации напряженно-деформированного состояния сечения представлены таблицами, диаграммами и графиками, которые сохраняются в виде текстового файла или файла картинки.

Интерфейс программы «КазМИРР-ЖБК» построен по принципу минимизации и достаточности вводимой информации. Предусматривает класс бетона от В3,5 до В60, арматуры от А-I до А-VI и предоставляет расчет 3-х основных видов сечений: прямоугольного, таврового, двутаврового, с различным расположением арматуры. Данные по бетону и арматуре выводятся автоматически по СНиП 2.03.01-84*. Если ваш класс бетона не попадает ни под один из вышеперечисленных, возможно его задание — для этого нужно следовать инструкциям файла помощи. В отличие от бетона, программа предусматривает только заданный диапазон арматуры с небольшим изменением нормативных характеристик.

Для правильной работы программы следует вводить только числовую информацию, при вводе текстовой информации будет генерироваться сообщение об ошибке преобразования формата. Разделителем целой и дробной части числа является запятая, а не точка.

Порядок расчета программы «КазМИРР-ЖБК»:

- из выпадающего списка *форма сечения* выбирается сечение с заданием и вводом его характерных размеров;
- из выпадающего списка *класс бетона* выбирается класс бетона с дальнейшей его корректировкой и последующим сохранением;
- путем нажатия кнопки «Ввести» под заголовком *класс арматуры*, вводятся слои арматуры с их корректировками и последующим сохранением;
- вводится начальный или расчетный момент, в зависимости от вида решаемой задачи;
- вводится шаг приращения момента, если расчет производится на разрушающий момент, или ноль, если на расчетный момент;
- точность вычислений, вводимое число должно быть меньше единицы (например, 10^{-5}), степень у десятки показывает, до какого знака после запятой, вычисляемые значения верны;
- вводится коэффициент преднапряжения арматуры от 0,1 до 0,7 со знаком минус; если напрягаемая арматура отсутствует, вводится ноль;
- из выпадающих списков выбираются вид балки, а затем вид нагрузки;
- нажатие кнопки «Расчетные» производит расчет сечения.

Результаты расчета выдаются на «Окно вывода» в текстовом режиме в виде таблицы, где

- i — номер элементарной площадки;
- A — площадь сечения элементарной площадки, мм²;
- y — расстояние от выбранной оси элемента до центра тяжести элементарной площадки, мм;
- ϵ_{ps} — деформация элементарной площадки;
- E — модуль упругости элементарной площадки для бетона или арматуры, МПа;
- σ — напряжения элементарной площадки, МПа;
- y_0 — центр тяжести сечения, см;
- $1/R$ — радиус кривизны сечения, 1/см;
- $\sigma \cdot A$ — усилие предварительного обжатия, КН;
- M — разрушающий или заданный момент, КН·м;
- a_{cr} — ширина раскрытия трещины, мм;
- $f/(l \cdot I)$ — прогиб, деленный на длину балки в квадрате.

Если расчет производится с преднапрягаемой арматурой, то сначала происходит вывод расчета на прочность незагруженного элемента в момент отпуска предварительного напряжения с учетом внецентренного приложения усилий предварительного напряжения, затем расчет на прочность на разрушающий или заданный момент, в итоге — общий радиус кривизны и прогиб.

На «Окно графики» выводятся результаты расчета в виде графика напряжения и деформации. На рисунке показаны графики расчета на разрушающий или заданный момент, штрихпунктиром показаны графики расчета незагруженного элемента в момент отпуска предварительного напряжения. Проведенные расчеты опытных конструкций показали хорошую сходимость метода расчета, в некоторых случаях было полное совпадение опытного и расчетного разрушающих моментов.

Ниже рассмотрен пример расчета балки прямоугольного сечения из экспериментов [4].

Исходные данные: балка прямоугольного сечения: $b=15,3$ см; $h=30,1$ см.

Бетон тяжелый: $R_b=29,5$ МПа; $R_{bt}=2,18$ МПа; $E_b=32 \times 10^3$ МПа.

Арматура А-II: $R_s=359$ МПа; $A_s=4,03$ см²; $d=12$ мм; $a=2,8$ см; $E_s=21 \times 10^4$ МПа.

Опытный разрушающий момент составил $M=41,8$ КН·м.

Расчет был произведен по следующим параметрам материалов.

Для диаграммы бетона по $R_b=29,5$ МПа; $R_{bt}=2,18$ МПа; $E_b=32 \times 10^3$ МПа и $\epsilon_{rc}=2,2 \cdot 10^{-4}$; $\epsilon_{rt}=1,3 \cdot 10^{-4}$.

Для диаграммы деформирования стали $R_s=359$ МПа; $E_s=21 \times 10^4$ МПа. $\epsilon_{s0,0.1}=1,71 \cdot 10^{-3}$.

Сечение разбивалось по высоте на 20 участков.

Расчетный разрушающий момент составил $M=37$ КН·м (погрешность 11,5%).

По сечению были получены следующие значения координаты центра тяжести сечения, относительных деформаций, секущих модулей и напряжений:

i	A [мм ²]	y [мм]	ϵ_{ps}	E [МПа]	σ [МПа]
0	2,303E+03	7,525E+00	3,793E-03	0,000E+00	0,000E+00
1	2,303E+03	2,258E+01	3,540E-03	0,000E+00	0,000E+00
2	2,303E+03	3,763E+01	3,287E-03	0,000E+00	0,000E+00
3	2,303E+03	5,268E+01	3,033E-03	0,000E+00	0,000E+00

4	2,303E+03	6,772E+01	2,780E-03	0,000E+00	0,000E+00
5	2,303E+03	8,277E+01	2,527E-03	0,000E+00	0,000E+00
6	2,303E+03	9,783E+01	2,274E-03	0,000E+00	0,000E+00
7	2,303E+03	1,129E+02	2,021E-03	0,000E+00	0,000E+00
8	2,303E+03	1,279E+02	1,768E-03	0,000E+00	0,000E+00
9	2,303E+03	1,430E+02	1,515E-03	0,000E+00	0,000E+00
10	2,303E+03	1,580E+02	1,262E-03	0,000E+00	0,000E+00
11	2,303E+03	1,731E+02	1,009E-03	0,000E+00	0,000E+00
12	2,303E+03	1,881E+02	7,561E-04	0,000E+00	0,000E+00
13	2,303E+03	2,032E+02	5,030E-04	0,000E+00	0,000E+00
14	2,303E+03	2,182E+02	2,500E-04	0,000E+00	0,000E+00
15	2,303E+03	2,333E+02	-3,038E-06	3,198E+04	-9,718E-02
16	2,303E+03	2,483E+02	-2,561E-04	2,964E+04	-7,590E+00
17	2,303E+03	2,634E+02	-5,091E-04	2,709E+04	-1,379E+01
18	2,303E+03	2,784E+02	-7,622E-04	2,461E+04	-1,876E+01
19	2,303E+03	2,935E+02	-1,015E-03	2,226E+04	-2,259E+01
20	4,030E+02	2,800E+01	3,448E-03	1,041E+05	3,590E+02

Эпюры напряжений и относительных деформаций по сечению балки на момент, близкий к разрушению, представлены на рисунке.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нугужин Ж.С. К построению диаграмм деформирования бетона с использованием показательной функции // Вестник инженерной академии Республики Казахстан. Алматы, 2002. №1(8). С.80-87.
2. Карпенко Н.И., Прокопович И.Е., Мухамедиев Т.А. и др. Учет деформаций ползучести и длительного сопротивления бетона в методике диаграмм-изохрон // Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1987. С.66-81.
3. Пособие по усилению железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84). Минск, 1998. 189с.
4. Новое о прочности железобетона / Под ред. К.В. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. 272с.

УДК 624.15

Е.С. УТЕНОВ

Методика расчета осадок фундаментов с учетом подтопляемости грунтов оснований

В практике градостроительства республики до настоящего времени здания и сооружения, возводимые в условиях застроенных территорий, проектируются без должного мониторинга, анализа и прогноза негативных последствий процесса подтопления. По этой причине во многих городах Казахстана: Астане, Балхаше, Жезказгане, Караганде и других, имеется немало случаев преждевременного разрушения строительных конструкций и даже аварий с обрушением зданий, эксплуатируемых не более 30 лет, при нормативном сроке службы не менее 100 лет.

Как известно, подтопление территории строительства подземными водами ведет к водонасыщению грунтов оснований, повышению их сжимаемости в связи с разупрочнением, трансформации напряженного состояния в грунтовой толще и, как правило, к увеличению размеров

активной зоны основания фундаментов зданий и сооружений.

В ходе развития процесса подтопления поднимающийся уровень грунтовых вод в каждый момент времени разделяет сжимаемую зону основания на два слоя (водонасыщенный и с естественной влажностью) с различными показателями сжимаемости. В таком случае при проектировании фундаментов зданий возникает необходимость в определении фактических размеров неодинаково напряженных зон основания, в пределах которых произошли изменения физико-механических свойств грунтов в связи с их обводнением. Однако используемые в практике традиционные методы не приемлемы для расчета осадок фундаментов зданий, проектируемых в условиях подтопляемых территорий, в частности, при наличии в их основании локальных

ослабленных зон, обусловленных обводнением. Поскольку фактические размеры ослабленных локальных зон реального грунтового основания неправомерно переносить непосредственно на идеализированное основание, рассматриваемое существующими методами, то возникает необходимость нового подхода к разработке методики расчета осадок фундаментов.

Для этой цели нами предлагается применение метода расчета осадок, базирующегося на идее объемного сжатия грунтов основания под действием главных нормальных напряжений, возникающих в пределах его активной зоны. При этом сжатие или осадка грунта рассматривается как уменьшение объема пор, которое выражается изменением коэффициента пористости грунта e . Причиной изменения пористости грунта в соответствующих зонах основания может выступать не только фактор загрузки, но и фактор увлажнения, вызывающий ослабление структуры уплотненных грунтов под действием ранее приложенных нагрузок.

Осадка фундамента, в соответствии с принятой расчетной моделью, с учетом фактора нагрузки определяется по формуле [1]

$$S = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{i=n} [V_{i3} (1 - \frac{1+e_2^{i3}}{1+e_1})], \quad (1)$$

где A — площадь подошвы ленточного фундамента;

i — рассматриваемая напряженная зона основания фундамента;

n — количество выделенных зон основания;

V_{i3} — объем i -й уплотняемой зоны основания;

e_1 — коэффициент пористости неуплотненного грунта природной структуры, определяемый по компрессионной кривой при нагрузке $p_1 = \sigma_1 = p_{стр.}$;

e_2^{i3} — коэффициент пористости уплотненного грунта от действия максимального сжимающего напряжения в i -й зоне, принимаемый по компрессионной кривой при нагрузке

$p_2^{i3} = p_1 + \Delta\sigma_1^{i3}$, здесь $\Delta\sigma_1^{i3}$ — уплотняющее давление, принимаемое как разность диапазонов сжимающих напряжений, действующих в рассматриваемой i -зоне: $\Delta\sigma_1^{i3} = \sigma_1^{(i-1)3} - \sigma_1^{i3}$

При рассмотрении вопроса расчета осадок фундаментов с учетом фактора подтопляемости грунтов оснований следует выделить два характерных случая, требующих различных подходов к решению задач.

Случай 1. Подтопления грунтов основания происходят до возведения фундамента.

Случай 2. Обводнение грунтов оснований фундаментов существующих зданий происходит в эксплуатационный период.

В первом случае фундамент возводится на частично обводненном основании (рис. а). Расчет осадки фундамента сводится к установлению допустимой величины поднятия уровня грунтовых вод ($h_{ГВ, пред}$), при которой выполняется условие:

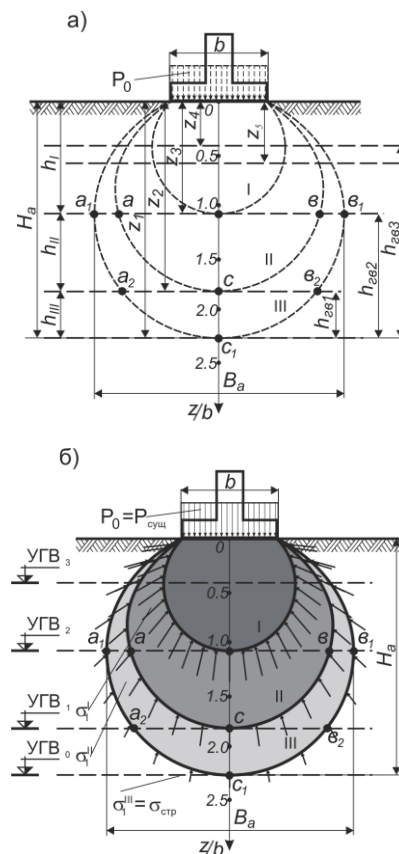
$$S = (S_{ест} + S_{вод}) \leq S_{пред}, \quad (2)$$

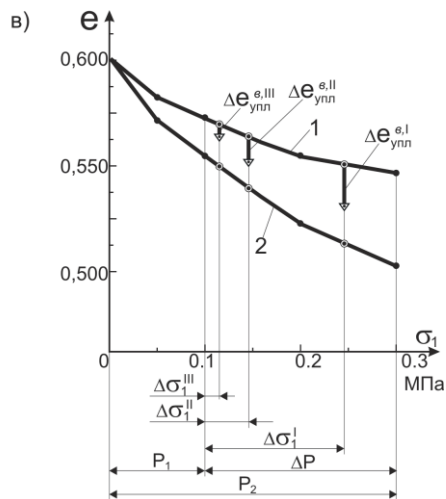
где $S_{ест}$ — осадка части активной зоны основания, расположенной выше уровня грунтовых вод и состоящей из грунтов естественной структуры и влажности;

$S_{вод}$ — осадка ослабленной части активной зоны основания, расположенной ниже уровня грунтовых вод и включающей водонасыщенные грунты естественной структуры;

$S_{пред}$ — предельно допустимая величина осадки фундамента, регламентированная строительными нормами.

Осадки $S_{ест}$ и $S_{вод}$ рекомендуется определять по формуле (1), используя компрессионные кривые 1 и 2 (рис. в), отражающие законы сжатия грунта в различных физических состояниях (с естественной влажностью и водонасыщенного). Для пояснения предлагаемой методики рассмотрим примеры учета при расчете осадок влияния различных положений уровня грунтовых вод относительно толщины сжимаемой зоны основания H_a (см. рис. а).





Оценка сжимаемости грунтов оснований при подтоплении: а и б — расчетные схемы подтопленного основания, соответствующие для случаев 1 и 2; в — компрессионные кривые; 1 и 2 — опытные кривые сжатия грунта с естественной влажностью и в водонасыщенном состоянии; ● — опытные точки; ○ — точки на опытных кривых, используемые при расчете по новой методике; ▽ — предполагаемые опытные точки (принятые условно) для уплотненных грунтов, подвергаемых замачиванию.

Положение 1 ($УГВ_0$) — поверхность зеркала грунтовых вод относительно отметки подошвы фундамента находится на глубине $Z = Z_1$, то есть когда уровень грунтовых вод доходит до нижней границы сжимаемой зоны основания, при котором поднятие уровня грунтовых вод равно нулю: $h_{ГВ0} = 0$. В этом случае грунтовые воды практически не влияют на осадку фундамента, следовательно, она должна определяться как для грунта естественной влажности с использованием компрессионной кривой 1.

Положение 2 ($УГВ_1$) при $Z = Z_2$ соответствует поднятию уровня грунтовых вод от нижней границы, сжимаемой зоны основания, на величину $h_{ГВ1} = [H_a - (h_1 + h_{II})]$. Как видно из рисунка а, при этом положении обводнению подвергается только слой грунта, расположенный в самой малозагруженной зоне III основания. Поэтому при определении $S_{од}$ в расчет вводится изменение объема части активной зоны основания в области $а\gamma c_1 в_2$ с учетом уменьшения коэффициента пористости e (по кривой 2) в соответствии с напряженным состоянием в зоне III (при $\Delta\sigma_1^{III}$).

Положение 3 ($УГВ_2$) при $Z = Z_3$ показывает более общий случай подтопления, когда обводнению подвержена значительная часть активной зоны основания, включающая несколько зон, отличающихся напряженным состоянием (III и II). При определении $S_{од}$ следует дополнительно учитывать изменение объемов зон III и II в областях $а_1 а с а_2 в в_1 в_2 в_3$ и $а с в$ путем введения в расчет измененных значений e (по кривой 2), отвечающих соответствующим напряженным состояниям (при $\Delta\sigma_1^{III}$ и $\Delta\sigma_1^{II}$).

Положение 4 ($УГВ_3$) при $Z = Z_4$. В этом случае подъем уровня грунтовых вод может существенно повлиять на осадку фундамента, так как обводнению подвергается максимально нагруженная область основания. При расчете осадок дополнительно

учитываются изменения объемов грунтов зон I, II и III в условиях водонасыщения в пределах слоя ($h_{УГВ3} - h_{УГВ2}$).

Во втором случае, когда обводнению подвергаются ранее уплотненные грунты оснований существующих зданий, возникает необходимость в оценке дополнительных осадок фундаментов $S_{од}^{a\bar{a}i}$ при подъеме уровня грунтовых вод (рис. б). Однако для определения дополнительных деформаций обжатых грунтов оснований при их замачивании в эксплуатационный период применение закона сжатия водонасыщенного грунта с естественной структурой (компрессионная кривая 2) неправомерно.

Исследованиями ПНИИС [2] установлено, что некоторые грунты, при естественном сложении заметно реагирующие на повышение влажности, после длительного уплотнения под нагрузкой 0,15...0,2 МПа не проявляют при замачивании дополнительных деформаций. По результатам исследований КарагандаГИИЗ, для образцов глинистых грунтов, предварительно уплотненных под нагрузкой 0,3 МПа, при их последующем замачивании, установлено снижение сжимаемости по сравнению с предварительно водонасыщенным грунтом естественного сложения на 32%, 58% и 59%. Это дает основание предположить, что закон сжатия неодинаково уплотненных грунтов в соответствующих напряженных зонах (I, II, III) основания существующего фундамента при обводнении будет совершенно отличным от зависимости по кривой 2.

Если для первого случая главным фактором, служащим причиной развития осадки $S_{од}$ фундамента, являются уплотняющие нагрузки (напряжения), действующие в соответствующих зонах $\Delta\sigma_1^{i3}$, то для второго случая причиной развития дополнительных осадок $S_{од}^{a\bar{a}i}$ основания существующего здания является только лишь фактор подтопления ранее уплотненных грунтов под заданными нагрузками в соответствующих напряженных зонах основания (I, II, III). Очевидно, что в этом случае осадки основания от действия нагрузок уже стабилизированы, а грунты уплотнены и упрочнены, поэтому дополнительная осадка существующего фундамента происходит аналогично явлению просадки вследствие ослабления структуры грунта в процессе подтопления. Поэтому расчет дополнительных осадок $S_{од}^{a\bar{a}i}$ оснований существующих зданий при подъеме уровня грунтовых вод в эксплуатационный период следует осуществлять путем использования результатов специальных компрессионных испытаний, проводимых на образцах грунта, предварительно уплотненных под заданными нагрузками, с последующим замачиванием под этими же нагрузками. Например, применительно для рассматриваемой схемы (рис. б, в) при заданных нагрузках $\Delta\sigma_1^{III}$, $\Delta\sigma_1^{II}$ и $\Delta\sigma_1^I$ по результатам трех параллельных испытаний образцов грунта получим соответствующие значения снижения коэффициента пористости $\Delta e_{\bar{a}\bar{e}}^{a,III}$, $\Delta e_{\bar{a}\bar{e}}^{a,II}$ и $\Delta e_{\bar{a}\bar{e}}^{a,I}$, которые вводят в

расчет. При этом расчет дополнительной осадки существующего фундамента производится по формуле

$$S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}} = S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}I} + S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}II} + S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}III}, \quad (3)$$

где $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}I}$, $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}II}$ и $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}III}$ — дополнительные осадки уплотненных зон основания I, II и III после замачивания, определяемые с учетом соответствующих величин снижения коэффициента пористости грунта ($\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}I}$, $\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}II}$ и $\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}III}$), получаемых путем выполнения испытаний по вышеизложенной методике (см. рис. в).

Для сравнения были выполнены расчеты при следующих исходных данных: грунт основания — супесь, отобранная с глубины 2,6 м и имеющая характеристики: $e = 0,60$; $W = 13,6$; $W_L = 17$; $W_P = 13$; $S_e = 0,62$; $c = 0,019$ МПа; $\varphi = 29^\circ$. Результаты компрессионных испытаний грунта показаны на рис. в. При применении существующей методики в КарагандаГИИЗ получено: $E_{есм.} = 11,8$ МПа; $m_o = 0,14$ МПа⁻¹; $E_{вод.} = 5,9$ МПа; $m_o = 0,27$ МПа⁻¹.

Фундамент ленточный $b = 2$ м; $d = 2,6$ м; $P_o = 0,3$ МПа; $\gamma = 19$ кН/м³; $\sigma_{ср} = 0,081$ МПа; $S_{пред.} = 10$ см (по СНиП).

Сначала определялись осадки фундамента при грунте основания с естественной влажностью $S_{есм.}$ и в водонасыщенном состоянии $S_{вод.}$ с использованием соответствующих компрессионных кривых 1 и 2 (рис. в).

Представляют интерес результаты расчета осадок фундаментов при различных подходах к решению задачи, которые для наглядности записаны в виде матрицы.

1. Результаты расчета осадок основания по зонам:

	I ₃	II ₃	III ₃	Сумма
$S_{есм.}$	3,83	1,82	0,48	6,13 см
$S_{вод.}$	7,25	3,97	0,99	12,21 см

2. Результаты расчета осадок основания по слоям:

	Слой h_I	Слой h_{II}	Слой h_{III}	Сумма
$S_{есм.}$	4,58	1,36	0,19	6,13 см
$S_{вод.}$	8,90	2,96	0,39	12,25 см

Как видно из сравнения, результаты двух способов решения задачи практически совпадают (6,13 и 6,13; 12,21 и 12,25), что дает основание утверждать о точности и достоверности расчета по предложенной методике.

3. Результаты расчета осадок фундамента с учетом подтопляемости грунтов основания по случаю 1 (рис. а).

Положение 1 (УГВ₀), когда уровень грунтовых вод находится от отметки подошвы фундамента на

глубине $Z = Z_1 = H_a = 2,25 \cdot b = 2,25 \cdot 2$ м = 4,5 м. При этом осадка фундамента составляет: $S = S_{есм.} = 6,13$ см < $S_{пред.} = 10$ см.

Положение 2 (УГВ₁) характеризуется залеганием грунтовых вод на глубине $Z = Z_2 = 1,88 \cdot b = 1,88 \cdot 2$ м = 3,76 м. Суммарная осадка равна: $S = S_{есм.} + S_{вод.} = (4,58 + 1,36) + 0,39 = 6,33$ см < $S_{пред.} = 10$ см.

Положение 3 (УГВ₂) соответствует поднятию уровня грунтовых вод до глубины $Z = Z_3 = 1,1 \cdot b = 1,1 \cdot 2$ м = 2,2 м. Общая осадка фундамента составит: $S = S_{есм.} + S_{вод.} = 4,58 + (2,96 + 0,39) = 7,93$ см < $S_{пред.} = 10$ см.

Положение 4 (УГВ₃), когда $Z = Z_4 = 0,84$ м. При этом осадка фундамента равна: $S = S_{есм.} + S_{вод.} = 2,07 + 8,64 = 10,71$ см > $S_{пред.} = 10$ см.

Следовательно, как показывают результаты расчета осадок основания, это положение УГВ является критическим, опасным, так как осадка фундамента превышает предельно допустимую величину, регламентируемую СНиП. Поэтому необходимо снизить УГВ до безопасной глубины, $Z = Z_5 = 0,55 \cdot b = 0,55 \cdot 2$ м = 1,1 м. При этом требования СНиП удовлетворяются: $S = 10$ см = $S_{пред.} = 10$ см.

Таким образом, допускаемая величина поднятия УГВ равна $h_{ГВ,пред.} = H_a - Z_5 = 2,25 \cdot b - 0,55 \cdot b = 2,25 \cdot 2$ м - $0,55 \cdot 2$ м = 3,4 м. Оптимальная глубина водопонижения, считая от поверхности земли, составит:

$$h_{в.п.} = d + Z_5 = 2,6 \text{ м} + 1,1 \text{ м} = 3,7 \text{ м},$$

где d — глубина заложения фундамента.

4. Результаты расчета осадок фундамента с учетом подтопляемости грунтов основания по случаю 2 (рис. б).

На основании экспериментальных данных, для примера расчета, условно приняты следующие ориентировочные значения показателя снижения сжимаемости при замачивании уплотненных грунтов в соответствующих напряженных зонах основания: $\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}I} = 0,018$; $\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}II} = 0,012$; $\Delta e_{\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{a}III} = 0,005$ (см. рис. в). При этом величина дополнительной осадки фундамента существующего здания с учетом факторов уплотненности грунтов и последующего подтопления составила для положения 2 (УГВ₁): $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}} = 0,33$ см; для положения 3 (УГВ₂): $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}} = 2,44$ см; для положения 4 (УГВ₃): $S_{\tilde{a}\tilde{a}}^{\tilde{a}\tilde{a}} = 5,14$ см.

Таким образом, предлагаемая методика, по сравнению с существующими методами расчета осадок, позволяет более точно и достоверно определять опасные осадки фундаментов, вызванные подтоплением грунтов территории не только для оснований вновь возводимых объектов, но и существующих зданий с учетом фактора уплотненности. Новая методика позволяет расчетным путем устанавливать допускаемую величину поднятия уровня грунтовых вод, что является обоснованием оптимальной глубины водопонижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утепов Е.С. К методу расчета объемных осадок оснований фундаментов с учетом реальных свойств грунтов // Труды университета. Караганда, 2001. Вып. 2. С.85-88.
2. Рекомендации по методике прогноза изменения строительных свойств структурно-неустойчивых грунтов при

УДК 666.943

А. ШАЙКЕЖАН

Получение клинкера майенито-белитового состава

В настоящее время наблюдается тенденция к повсеместному переводу сырьевой базы строительной индустрии на использование вторичных ресурсов. К числу таких сырьевых ресурсов относятся шлаки производства фосфора.

Фосфорные шлаки почти на 90% состоят из оксида кальция и кремнекислоты, молярное отношение которых близко к единице, что могло бы служить основанием для испытания фосфорных шлаков в качестве сырья для получения цементов, состоящих преимущественно из силикатов кальция, в том числе высокоалитовых и белитовых. Низкая температура размягчения (1050-1100 °С) и наличие до 6% фтористого кальция обеспечивают высокую реакционную способность гранулированных электротермофосфорных (ЭТФ) шлаков.

Известняково-шлаковая шихта белитового состава заинтересовала Соколовско-Сарбайский горно-обогатительный комбинат (ССГОК) с точки зрения получения вяжущего для закладочных растворов. При этом учитывалась легкая спекаемость шихты.

С целью получения клинкера с КН=0,80 из материалов (табл.1) составили смесь: известняк 56,6; ЭТФ шлаки 38,9; колчеданные огарки 3,5 и бентонитовая глина 1,0%, которую добавили для предохранения гранул от разрушения при транспортировке. Смесь при влажности 12,3% гранулировали в лабораторном барабанном грануляторе D=600 мм, l=200 мм со скоростью вращения 27 об/мин. Сырые гранулы фракции +12 мм и +15 мм характеризовались прочностью на сжатие 1,617 и 1,855 кгс/гран, числом сбрасываний с высоты 300 мм более 10 и 8 раз. Насыпная плотность 1310 и 1250 кг/м³, соответственно. При обжиге использовали гранулы +12 и +15 мм в соотношении 1:1.

Таблица 1

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИНГРЕДИЕНТОВ ШИХТЫ, МАС.%

Сырье	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	R ₂ O	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₂	CaF ₂	ППП
известняк	3,51	53,30	1,09	0,62	0,13						42,10
шлак	38,46	42,15	3,50	1,54	3,97		0,24	1,91	0,31	5,33	2,33
огарки	9,10	2,46	2,00	78,00	1,45				2,52		
глина	46,00	9,26	15,32	5,94	1,87	3,24		0,14	0,63		17,66

В лабораторной печи гранулы обжигали монослоем, предварительно высушенные при 105°С, так как температурный «шок» влажных гранул меньше 500°С.

Из данных табл. 2 следует, что для обжига клинкера приемлема температура в зоне обжига 1250-1300°С при продолжительности не менее 20 мин. С целью предотвращения разрушения гранул в зоне сушки, а также для достаточного усвоения оксида кальция в зоне обжига скорость нагревания должна быть не более 60-70 град/мин.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЖИГА КЛИНКЕРНЫХ ГРАНУЛ
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Скорость нагрева и охлаждения, град/мин	Температура, °С	Длительность выдержки, мин	Прочность, кгс/гран	Потеря массы, %	CaO _{св.}
200 60-70	1300	6	73	25	1,9
	1300	6	108	25	1,1
	1250	6	75	25	3,1
	1250	6	82	25	2,3
	1300	10	54	29	1,5
	1300	20	53	25	0,7
	1300	30	72	25	0,6
	1250	10	29	25	2,1
	1250	20	36	25	1,1
	1250	30	44	25	1,0
	1100	10	9	25	7,2
	500	10	нет	1,3	нет

В промышленных условиях клинкерные гранулы обжигали в пробниках D=100, L=270 мм, которые устанавливали на обжиговую тележку в слой сырых железорудных окатышей после роликового укладчика.

Режимы и результаты обжига на конвейерной машине приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНКЕРА

Режим обжига	Показатель	Слой		
		верхний	средний	нижний
I	CaO _{своб.} , %	6,1	8,5	9,2
II	Прочность, кгс/гран	89	174	123
	CaO _{своб.} , %	1,7	1,9	1,9
III	Прочность, кгс/гран	211	187	184
	CaO _{своб.} , %	1,0	1,3	1,6

Таблица 4

РЕЖИМ ОБЖИГА КЛИНКЕРНЫХ ОКАТЫШЕЙ НА МАШИНАХ ОК-108 ССГОК (СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ)

Дата, номер режима обжига	Производительность по сырым окатышам, т/ч	Высота слоя окатышей, мм	Скорость машины м/мин	Расход газа,		Сушка, °С		Подогрев, °С		Обжиг, °С		Рекуперация, °С	Охлаждение, °С	Температура под палетами, °С	Общая продолжительность обжига, мин
				общий на машине	на 1 т. сырых окатышей	тепловой	точка	точка	точка	точка	точка				
7.07 I реж. общ.	112	352	1,30	2430	21,7	332	50	423	902	1136	1295	1298	984	916	45
II реж. 8.07	57	353	0,60	2700	47,4	337	109	415	880	1103	1264	1307	951	675	97
III реж.	41	353	0,55	1790	43,6	280	64	443	929	1077	1273	1250	1190	783	98

Обычная скорость тележек (1,5 м/мин), принятая для железорудных окатышей, не обеспечивает полного обжига клинкера: гранулы имеют высокое (9-6%) содержание свободного оксида кальция и низкую прочность. Наиболее полный и равномерный по высоте слоя обжиг клинкерных гранул на конвейерной машине происходит при минимальной скорости движения тележек и температуре в зоне обжига не ниже 1250°С, причем на машине №1 (режим III) были созданы лучшие условия термообработки, о чем свидетельствуют сравнительно низкие содержания СаО_{св.} и более высокая прочность на раздавливание 184-211 кгс/гран.

При обжиге клинкера происходит значительная усадка, приблизительно на 1/3 высоты слоя, из-за потери массы (около 35%), обусловленной удалением влаги и разложением известняка. Насыпная плотность обожженных клинкерных гранул составила 1130 г/л.

Следует отметить наличие разрушенных клинкерных гранул в пробнике в количестве 14% при обжиге на машине №1; мелочь содержала 1,3% СаО_{св.}

Таким образом, на основе выполненных работ доказана принципиальная возможность обжига белитового клинкера с КН=0,80 на обжиговой машине конвейерного типа из известняково-шлаковой смеси. Выявлено, что для получения клинкера на конвейерной машине ОК-108 скорость тележек необходимо выдерживать 0,5-0,6 м/мин, а температура в зонах обжига должна составлять не

ниже 1250°С. В процессе обжига гранул в пробниках имеет место значительная усадка слоя (на 1/3 высоты).

Для окончательной оценки возможности производства белитового клинкера было решено провести промышленные испытания на одной из обжиговых машин ССГОКа с целью определения оптимальных режимов окомкования сырьевой смеси и режима термообработки сырьевых гранул.

В результате опытно-промышленных испытаний сделан вывод о необходимости внедрения в производство способа получения цементного клинкера из трехкомпонентной смеси: ЭТФ шлаки + известняк + боксит. В ходе опытно-промышленных испытаний было выпущено около 400 т клинкера, вяжущее из которого в смеси с заводскими портландцементом и шлакопортландцементом было применено при изготовлении фундаментных подушек и блоков, использованных в строительстве гаражей.

Вяжущее из клинкеров состава $C_3S - 33$, $C_2S - 40$, $C_{12}A_7 - 8$ и $C_4AF - 12\%$ схватывается мгновенно; причем сроки схватывания не поддаются регулированию с помощью гипса. Поэтому в дальнейшем сырьевую смесь необходимо составить таким образом, чтобы клинкер содержал мало майенита. За этот счет следует увеличить содержание четырехвалентного алумоферрита.

УДК 624.131

А.С. ЖАКУЛИН

Расчёт осадок водонасыщенных оснований с учётом реологических свойств грунтов

В настоящее время можно констатировать, что все города Республики Казахстан являются подтопленными подземными водами, в особенности Караганда, Астана, Павлодар, Шымкент, Атырау.

Подъем уровня подземных вод приводит к изменению физико-механических свойств грунтов и начального напряженно-деформированного состояния оснований. Изменение начального напряженно-деформированного состояния водонасыщенного основания влияет на развитие осадок фундаментов во времени. Осадки фундаментов на водонасыщенных основаниях, обладающих свойствами ползучести, протекают длительно во времени, что сказывается на

длительной устойчивости и прочности зданий и сооружений.

Расчет осадок фундаментов во времени основан на теории фильтрационной консолидации К. Терцаги, который соответствует одному из частных, мало встречающихся в природе случаев. Поэтому при решении задач уплотнения водонасыщенных глинистых грунтов учет ползучести является обязательным.

Длительность уплотнения слоя водонасыщенного глинистого грунта обусловлена, в основном, двумя факторами: фильтрацией поровой воды и структурно-адсорбционными деформациями (по Н.Я. Денисову),

названными Д.Тейлором и В. Мерчантом вторичной консолидацией, а В.А. Флориным — ползучестью скелета. Эксперименты показывают, что факторы фильтрации и ползучести скелета водонасыщенного глинистого грунта действуют совместно с самого начала процесса его уплотнения, т.е. деление процесса консолидации на первичную и вторичную не вполне соответствует ее природе. Учитывая, однако, что на начальном этапе процесса превалирует фильтрационный механизм уплотнения, а в последующем — вязкий и что разделять процесс удобно, для обработки опытных данных такое допущение может быть оправдано для одномерной задачи.

Таким образом, при расчете осадок фундаментов во времени расчетными параметрами являются коэффициенты фильтрации и консолидации, а с учетом реологических свойств грунтов оснований — параметры ползучести. Коэффициенты фильтрации и консолидации, а также параметры ползучести грунтов определяются экспериментальным путем. В нормативных документах определение коэффициентов фильтрации, консолидации и параметров ползучести не регламентируются, поэтому вопросы их достоверного определения до настоящего времени остаются актуальными.

Экспериментальные исследования релаксации напряжений порового давления в лабораторных испытаниях позволяют моделировать природное напряженное состояние образцов водонасыщенного грунта при заданных граничных условиях.

Образцы грунта нарушенной и ненарушенной структуры с заданными начальными плотностями испытывались в двух режимах: релаксации и ползучести.

Режим ползучести является классическим методом испытания образцов. Через рычажную систему на образец грунта передавалась постоянная нагрузка — $\sigma = 0,05; 0,1; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3$ МПа с регистрацией деформации и порового давления во времени. При этом напряжения фиксировались по верхнему и нижнему торцу образца с помощью месдоз, установленных соответственно на верхнем и нижнем штампах прибора. Опыты проводились до полного рассеивания порового давления и стабилизации деформации образца водонасыщенного грунта. За критерий стабилизации деформации грунта принята осадка штампа $0,01$ мм за 16 часов.

Режим релаксации — образцы водонасыщенного грунта заданной плотности и пористости принудительно, с помощью винтового пресса, деформировали на заданную величину деформации, которую поддерживали постоянной в процессе исследования. Величины задаваемых деформаций составляли $\varepsilon = 0,02; 0,04; 0,06$. При этом регистрировались изменения напряжений по верхнему и нижнему торцам образца с одновременным измерением порового давления. Опыты проводились до полного рассеивания порового давления и напряжений. Опыты в режиме релаксации проводились по открытой и закрытой схемам выпуска поровой жидкости из образца водонасыщенного грунта. При испытании образцов грунта показания

датчиков порового давления и месдоз фиксировались автоматически с помощью осциллографа со скоростью записи 10 мм/с.

Для разработки методики определения коэффициента фильтрации, консолидации и параметров ползучести водонасыщенных грунтов по результатам испытаний, при строго контролируемых напряженно-деформированных состояниях образцов необходимо было:

- установить закономерности изменения напряжений, деформаций, порового давления в режимах ползучести и релаксации;
- на основе установленных закономерностей изменения порового давления получить расчетные формулы для определения коэффициентов фильтрации и консолидации грунтов;
- отработать методические вопросы для определения параметров ползучести.

Для реализации метода исследования и оценки фильтрационных и реологических свойств грунтов оснований разработано устройство для компрессионных релаксационных испытаний водонасыщенных грунтов.

Устройство для компрессионных релаксационных испытаний представляет собой совместную комбинацию известных компрессионного и релаксационного приборов. Это достигается тем, что в приборе установлены две месдозы: нижняя месдоза типа М-70/11 — для измерения общих напряжений по нижнему торцу образца и верхняя — для измерения общих напряжений по верхнему торцу образца. Конструктивно решен вопрос об одновременном измерении порового давления и общих напряжений по нижнему торцу образца. Нижняя месдоза посажена в специальный кондуктор в нижней обойме прибора. Штамп, имеющий два отверстия (для подключения ДПД и для подачи воды), установлен на нижней месдозе, а зазор между ними полностью изолирован от попадания жидкости из образца в грунт тонкими фольговыми листами. На штампе также предусмотрены пазы для установки съемных пористых фильтров, являющихся приемным элементом ДПД.

Пористые фильтры установлены в середине образца и тем самым исключают возможность влияния фильтрации по боковой поверхности (между образцом и кольцом прибора). Они изготовлены из керамических камней, имеющих различные коэффициенты фильтрации, а также жесткость на порядок выше, чем образец грунта. Выбор таких фильтров обусловлен тем, что абсолютно жесткие фильтры позволяют исключить погрешности, связанные с дополнительным деформированием пористого фильтра.

На верхний торец образца водонасыщенного грунта, покрытый слоем фильтровальной бумаги, установлен штамп с керамическим пористым камнем, плотно прилегающий к стенке кольца прибора за счет наклеенных фторопластовых прокладок. Из известных материалов фторопласт обладает самым низким коэффициентом трения. Фторопластовая прокладка обеспечивает также фильтрацию жидкости из образца только через пористый камень, при этом исключает

фильтрацию жидкости через стенки кольца и боковой поверхности верхнего штампа.

Нагружение образцов производится через рычажную систему для передачи вертикальной нагрузки с плечом 1:10, а также винтовой пресс для принудительного деформирования на заданную величину.

Для измерения деформаций образцов грунта использованы индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

В качестве вторичной (регистрирующей) аппаратуры при выполнении лабораторных испытаний использованы автоматические самописцы и осциллографы, позволяющие вести одновременный непрерывный опрос с преобразователей напряжений и порового давления.

В результате проведенных исследований установлены следующие закономерности. В режиме релаксации максимальные значения порового давления и напряжений во времени после приложения мгновенной деформации на образец водонасыщенного грунта совпадают. Опыты, проведенные по открытой схеме, показывают, что после достижения максимального значения поровое давление и напряжение начинают релаксировать во времени практически до нуля. При этом интенсивная релаксация происходит первые 11÷22 минуты после приложения мгновенной деформации, что соответствует 80% полного рассеивания порового давления и напряжений. Во всех опытах нагрузка воспринимается одновременно твердыми частицами грунта и поровой жидкостью испытываемого образца.

Параметр порового давления β определяли из известного выражения:

$$\beta = \frac{P_w^H}{\sigma^H}, \quad (1)$$

где P_w^H — начальное значение порового давления,

МПа;

σ^H — начальное значение напряжения, МПа;

Эффективные напряжения $\sigma_{эф}$ определялись из формулы Терцаги:

$$\sigma_{y\delta} = \sigma - P_w. \quad (2)$$

Проведенные опыты с различными видами грунта позволили установить параметры порового давления: для песков 0,1÷0,2; для супесей 0,2÷0,35; для суглинков 0,35÷0,55; для глин 0,55÷0,8.

Следует также отметить, что параметр порового давления в неявной форме зависит от коэффициента пористости грунта.

Режим ползучести. После приложения постоянной нагрузки измеренные напряжения полностью соответствуют нагрузке, передаваемой образцу водонасыщенного грунта. Поровое давление достигает максимального значения через 10-25 минут после приложения постоянной нагрузки, после чего начинает рассеиваться. Полное рассеивание порового давления происходит за 3-5 часов, а в режиме релаксации за 45-60 минут. Это объясняется тем, что при постоянной нагрузке происходит переуплотнение

скелета грунта, препятствующее отжатию поровой жидкости и завершающееся в момент достижения поровым давлением пикового значения. Спад порового давления сопровождается возрастанием эффективного напряжения.

Закономерности, установленные при исследованиях напряжений и порового давления, позволили разработать методы определения параметров консолидации и ползучести глинистых грунтов в режиме релаксации.

Для установления связи между поровым давлением и коэффициентом фильтрации используем решение З.Г. Тер-Мартirosяна:

$$m_w e_{cp} \frac{\partial P_w}{\partial t} = \frac{1 + e_{cp}}{\gamma_w} K_\delta \frac{\partial^2 P_w}{\partial Z^2}. \quad (3)$$

Последовательность и сущность вывода формулы для определения коэффициента фильтрации в режимах релаксации рассмотрены автором, и окончательный вид представляется выражением:

$$\hat{E}_\delta = \frac{\Delta h_i h_i \gamma_w}{100 t_k P_w^{\max}}, \text{ см/с}, \quad (4)$$

где h_i — высота образца грунта, м;

Δh_i — путь фильтрации жидкости, м;

t_k — время фильтрационной консолидации, определяемое из графика « P_w-t », по методу Тейлора, с;

$P_w^{\max}$ — поровое давление после приложения мгновенной деформации, МПа.

Коэффициент консолидации, учитывающий неполную передачу давления на поровую воду, определяется по формуле:

$$c_w = \left[\frac{K_\delta}{m_w \gamma_w} \right] \beta. \quad (5)$$

Наиболее просто характеристики ползучести при сжатии определяются при испытаниях грунтов в релаксационном режиме. Релаксация эффективных напряжений в исследованных грунтах можно описать зависимостью вида [1]

$$\sigma(t) = \sigma_\infty \left[1 + \left(\frac{1}{K_p} - 1 \right) \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-\delta} \right], \quad (6)$$

где $K_p = \frac{\sigma_\infty}{\sigma_0}$ — коэффициент релаксации;

$\delta = \frac{\delta_1}{\ln 10}$ — коэффициент пропорциональности,

характеризующий релаксацию эффективных напряжений; с ее возрастанием возрастает скорость релаксации.

Зависимость между релаксацией эффективных напряжений $\alpha(t)$ при $\varepsilon = \text{const}$ и деформацией вторичной консолидации $\varepsilon(t)$ при постоянном давлении можно представить в следующей эмпирической форме:

$$\alpha(t) \cdot \varepsilon(t) = \sigma_\infty \cdot \varepsilon_\infty \quad (7)$$

Подставляя (1) в (2), получим:

$$\varepsilon(\dot{\sigma}) = \frac{\varepsilon_{\infty}}{1 + \left(\frac{1}{\dot{E}_{\delta}} - 1\right)\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-\delta}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) выражает развитие деформаций вторичной консолидации образца грунта под действием $q = \text{const}$, при котором конечная деформация образца грунта составляет ε_{∞} .

Процессы релаксации эффективных напряжений и процессы вторичной консолидации в интервале изменения относительной деформации образца грунта от 0 до 20% можно описать на основе расчетных зависимостей с одними и теми же реологическими параметрами.

Итак, для определения расчетных характеристик (в заданном диапазоне уплотняющих давлений) необходимо:

- по результатам релаксационных опытов определить $t_0 = t_{P_w} = 0$;
- из спрямления графика релаксации эффективных напряжений определить параметры δ и K_p .

Окончательно осадку водонасыщенных оснований с учетом реологических свойств грунтов можно представить в виде:

$$S_f = h \cdot m_w \left[1 + \left(\frac{1}{\dot{E}_{\delta}} - 1 \right) \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-\delta} \right]. \quad (9)$$

На основе вышеизложенного можно сделать сле-

дующие выводы.

Разработан прибор, позволяющий проводить опыты на образцах водонасыщенного грунта в режимах релаксации и ползучести при заданных граничных условиях.

На основе экспериментальных исследований в режиме релаксации установлена зависимость между поровым давлением и коэффициентом фильтрации.

Выведена эмпирическая формула для определения коэффициентов фильтрации и консолидации.

Разработана методика определения параметров ползучести по графикам релаксации напряжений.

Предложена формула для определения осадок водонасыщенных оснований с учётом реологических свойств грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абелев М.Ю., Цой А.В. Методика определения характеристик ползучести при сжатии водонасыщенных глин в лабораторных условиях // Труды Третьего Всесоюзного симпозиума по реологии грунтов. Ленинград, 3-8 сентября 1979.
2. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Т. Основы прикладной геомеханики в строительстве. М.: ВШ, 1981.
3. Zaretsky Yu.K. Theory of soil consolidation Publishing house «science» Moscow, 1967.
4. Donald W. Taylor. Fundamentals of soil mechanics. New-York-London, 1954 Seventh printing.
5. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985.

Раздел 5

Транспорт

УДК 625.971.3

А.Д. ОМАРОВ
С.М. БИТТИБАЕВ
Б.Р. КАНГОЖИН

Особенности ремонта и восстановления бесстыкового пути

Путевые ремонтные работы против выброса пути, связанные с временным ослаблением устойчивости рельсошпальной решетки (рихтовка, выправка в продольном профиле и по уровню и т.п.) или с нарушением целостности рельсовых плетей (смена накладок, дефектных рельсов), разрешается производить с соблюдением особых требований при текущем содержании бесстыкового пути, если отклонение температуры рельсовых плетей от температуры их закрепления в течение всего периода не превышает допускаемых изменений температуры рельсовых плетей.

В исключительных случаях, если необходимо производить неотложные работы, связанные с безопасностью движения поездов, при отклонениях температуры рельсовых плетей, превышающих допускаемые значения, то до их начала нужно выполнить разрядку температурных напряжений.

Разрядка температурных напряжений выполняется в следующих случаях:

- для перезакрепления плетей на постоянный режим эксплуатации после их закрепления во время укладки при температуре, отличающейся от оптимальной, или, в необходимых случаях, перед сваркой их в длинные плети;

- для выполнения работ по содержанию и ремонту пути, при которых временно ослаблена его устойчивость, в том числе при исправлении образовавшегося в пути резкого угла в плети;

- после окончательного восстановления целостности рельсовой плети, если ее сваривали за пределами расчетного температурного интервала.

При необходимости выполнение работы, требующей полного снятия напряжений по нормам ТУ-2000, длинные плети следует разрезать на короткие и выполнить разрядку.

В «Технических указаниях ...» [1] возможность укладки бесстыкового пути и способ его эксплуатации в данном климатическом районе определяется сравнением допустимой годовой температурной амплитуды рельса $|T|$ с фактически наблюдавшейся в данной местности амплитудой колебаний температуры T_A .

Величина T_A определяется как алгебраическая разность между наивысшей $t_{\max \max}$ и наименьшей $t_{\min \min}$ температурами рельсов, наблюдавшимися ряд лет:

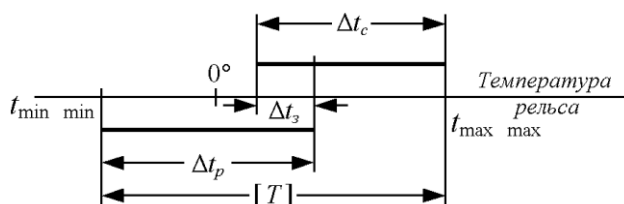
$$T_A = t_{\max \max} - t_{\min \min} \quad (1)$$

Допустимая температурная амплитуда определяется по формуле

$$T = \Delta t_p + \Delta t_c - \Delta t_3, \quad (2)$$

где Δt_p — допустимое изменение температуры рельсов в сторону понижения по сравнению с температурой их при закреплении;
 Δt_c — допустимое изменение температуры рельсов в сторону повышения по сравнению с температурой их при закреплении;

Δt_3 — интервал температуры, в пределах которого можно окончательно закреплять плиты (устанавливается по условиям производства работ, обычно принимается наименьший интервал $\Delta t_3 = 10^\circ$).



Температурная диаграмма бесстыкового пути температурно-напряженного типа

Если по расчету получается $T_A \leq |T|$ и, следовательно, бесстыковой путь можно эксплуатировать без сезонных разрядок напряжений, то расчетный интервал закрепления определяется по формуле

$$\Delta t_3 = \Delta t_p + t_c - T_A. \quad (3)$$

Нижняя температура интервала $\min t_3$ и верхняя его граница $\max t_3$ определяются по формулам (см. рисунок):

$$\min t_3 = t_{\max \max} - \Delta t_c; \max t_3 = \Delta t_p + t_{\min \min}. \quad (4)$$

При этом необходимо, чтобы суммарное напряжение, возникающее в рельсе от воздействия подвижного состава σ_k с учетом коэффициента запаса прочности и температурных напряжений σ_t , возникающих в результате изменения температуры рельсов, по сравнению с температурой закрепления плиты, не превосходило допустимого напряжения $[\sigma]$:

$$K_n \sigma_k + \sigma_t \leq [\sigma]. \quad (5)$$

Отсюда:

$$\sigma_{tc} \leq [\sigma] - K_n \sigma_k, \quad (6)$$

$$\sigma_{tp} \leq [\sigma] - K_n \sigma_n, \quad (7)$$

где σ_k и σ_n — нормальные напряжения в кромках соответственно головки и подошвы рельса от изгиба и кручения его под нагрузкой от колес подвижного состава, кГ/см^2 ; рельса соответственно

от действия продольных сжимающих и растягивающих температурных сил, кГ/см^2 ; σ_{tc} и σ_{tp} — температурные напряжения в поперечном сечении рельса соответственно от действия продольных сжимающих и растягивающих температурных сил, кГ/см^2 ; $[\sigma]$ — допустимое напряжение, принимаемое равным условному нормальному пределу текучести рельсовой стали $[\sigma] = \sigma_m = 3500 \text{ кГ/см}^2$; K_n — коэффициент запаса прочности, принятый равным 1,3.

Температурные напряжения σ_t , возникающие в рельсовых плетях в связи с несостоявшимся изменением их длины при изменении температуры, определяются по формуле [1, 2]:

$$\sigma_t = E \alpha \Delta t, \quad (8)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали, равный $2,1 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$;

α — коэффициент линейного расширения, равный $11,8 \cdot 10^{-6}$;

Δt — разность между температурой, при которой определяются напряжения и температурой закрепления плиты в градусах.

При изменении температуры на 1°C $\sigma_t = E \alpha 1 = 25 \text{ кГ/см}^2$ наибольшее допустимое, по условию прочности, изменение температуры рельсовой плиты по сравнению с температурой ее при закрепления составляет:

в сторону понижения (по прочности подошвы)

$$\Delta t_{I \cdot I} = \frac{\sigma - K_I \sigma_I}{\alpha E} = \frac{3500 - 1,3 \sigma_I}{25}, \quad (9)$$

в сторону повышения (по прочности головки)

$$\Delta t_{I \cdot A} = \frac{\sigma - K_I \sigma_A}{\alpha E} = \frac{3500 - 1,3 \sigma_A}{25}. \quad (10)$$

При определении допустимого изменения температуры рельсовой плиты в сторону понижения достаточно расчета только по прочности подошвы, а при расчете допустимого изменения температуры плиты в сторону повышения необходим еще и расчет на устойчивость против выброса сжатой плиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические указания по устройству, укладке и содержанию бесстыкового пути. М.: Транспорт, 1992. 72с.
2. Бромберг Е.М. Устойчивость бесстыкового пути. М.: Транспорт, 1966. 172с.

УДК 621.879.3

Р.А. КАБАШЕВ
М.С. КУЛЬГИЛЬДИНОВ

Влияние параметров одноковшовых экскаваторов на показатель их технического уровня

Для проведения эффективных исследований в области технического уровня изделий машиностроения, и в частности землеройных машин (ЗМ), необходимо не только качественно сопоставлять

их технический уровень, но и производить точную количественную его оценку. При этом под оценкой технического уровня продукции понимается совокупность операций, включающая выбор

номенклатуры показателей и сопоставление их с базовыми, «свертку» единичных показателей в комплексный по определенной модели. Под показателями продукции — параметрами ЗМ понимают такие их признаки, которые количественно характеризуют любые их свойства и состояния.

Подавляющее большинство рассмотренных моделей базируется на принципе относительной оценки технического уровня двух образцов техники, один из которых является испытываемым, второй — базовым или аналогом, без учета грунтовых условий эксплуатации. Многие модели предусматривают использование относительных величин единичных параметров с применением весовых коэффициентов.

Выполненные исследования позволили рекомендовать использование созданных баз данных для отбора аналогов [1]. Показано, что оценку технического уровня машин целесообразно проводить путем сопоставления параметров единичных показателей и их объединения по определенной модели в комплексный показатель [2].

Нами обоснованы и доведены до машинной программы модели для практической оценки технического уровня ЗМ с использованием баз данных [3]. Оценка технического уровня была произведена на примере одноковшовых экскаваторов (ОЭ), выпускаемых отечественными заводами и зарубежными фирмами.

Для определения перспективности параметров вновь проектируемых одноковшовых экскаваторов необходимо установить закономерности изменения технического уровня по комплексному показателю в зависимости от изменения технического уровня по единичным показателям. Зависимости $K_{TY}=f(k)$ и $k=f(K_{TY})$ были аппроксимированы линейной и полиномиальной функциями. На рисунке представлены

зависимости между комплексным показателем технического уровня и единичными показателями.

Как следует из приведенных данных, наблюдается тесная связь между комплексными и единичными показателями, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции. В табл. 1 и 2 приведены уравнения регрессии этих зависимостей.

Таблица 1

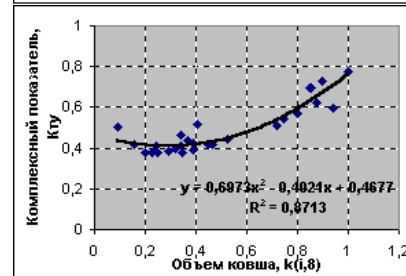
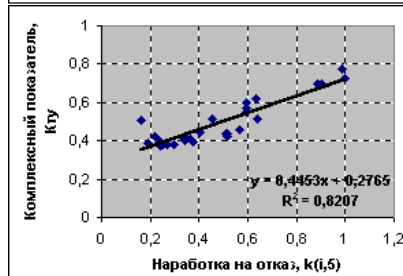
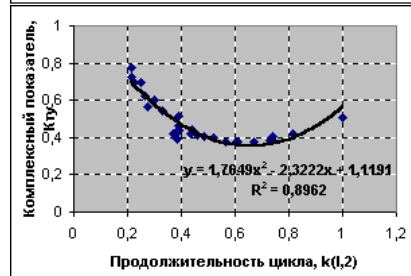
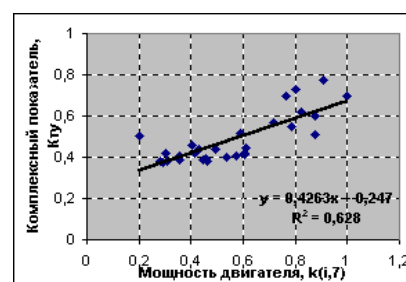
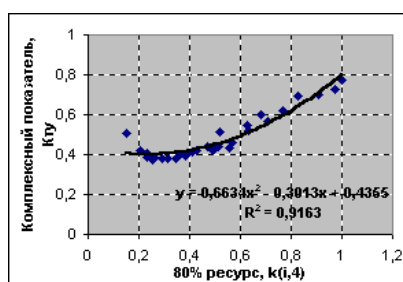
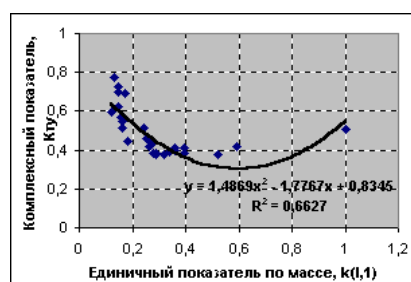
УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ЗАВИСИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ K_{TY} ОТ ЕДИНИЧНЫХ K_i

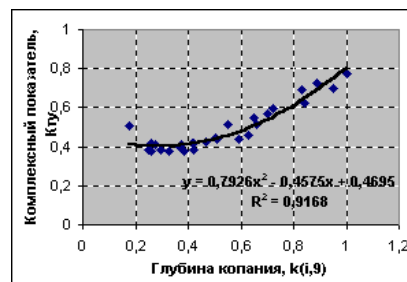
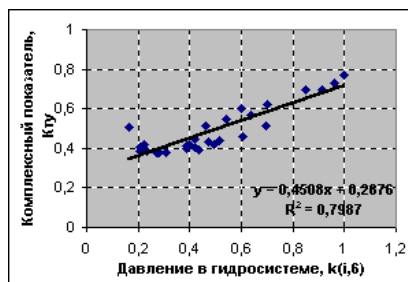
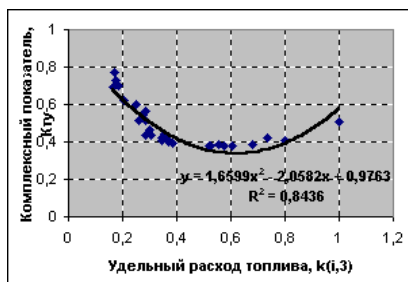
№ п/п	Наименование единичного показателя	Уравнения регрессии	Коэф. корр.
1	Масса ОЭ	$K_{TY} = 1,487 * k(1)^3 - 1,777 * k(1) + 0,835$	0,663
2	Продолжительность рабочего цикла	$K_{TY} = 1,765 * k(2)^3 - 2,322 * k(2) + 1,119$	0,896
3	Уд. расход топлива	$K_{TY} = 1,660 * k(3)^3 - 2,058 * k(3) + 0,976$	0,844
4	80% ресурс до капремонта	$K_{TY} = 0,452 * k(4) + 0,261$	0,814
5	Наработка на отказ	$K_{TY} = 0,445 * k(5) + 0,277$	0,821
6	Давление в гидроприводе	$K_{TY} = 0,451 * k(6) + 0,268$	0,799
7	Мощность двигателя	$K_{TY} = -2,529 * k(7)^3 + 5,769 * k(7)^2 - 3,822 * k(7) + 1,179$	0,588
8	Объем ковша	$K_{TY} = 0,382 * k(8) + 0,301$	0,765
9	Глубина копания	$K_{TY} = 0,463 * k(9) + 0,245$	0,803

Параметры прямой $K_{TY}=f(k)$ и обратной $k=f(K_{TY})$ зависимостей находились методом регрессионного анализа исходя из обеспечения минимальной ошибки искомой величины, т.е.

$$SS = \sum (K_{TY} - K_{TYpac})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$SS_i = \sum (k(i,j) - k(i,j)_{pac})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$





Зависимость комплексного показателя технического уровня K_{TY} от единичных $k(i)$

где K_{TY} — фактическое значение технического уровня по комплексному показателю;
 $K_{TYрас}$ — расчетное значение технического уровня по комплексному показателю;
 $k(i,j)$ — фактическое значение технического уровня по j -му единичному показателю;
 $k(i,j)рас$ — расчетное значение технического уровня по j -му единичному показателю.

Определение параметров уравнений регрессий, а также других статистических характеристик, необходимых для принятия обоснованных решений о наличии таких зависимостей, проводилось по разработанной программе для ПЭВМ.

Наличие зависимостей, приведенных в таблице 2, позволяет определить значение технического уровня по j -му единичному показателю в зависимости от требуемой величины по комплексному показателю K_{TY} .

При решении задачи определения параметров машин на стадии проектирования вместо значения K_{TY} необходимо подставить его прогнозное значение показателя $K_{TYрас}$.

Тесная корреляционная связь, небольшая ошибка в определении значения технического уровня по j -му единичному показателю обеспечивают достаточную точность прогноза значений параметров машин при определении технического уровня по комплексному показателю.

УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ЗАВИСИМОСТИ ЕДИНИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ K_U ОТ КОМПЛЕКСНОГО K_{TY}

№ п/п	Наименование единичного показателя	Уравнения регрессии	Коэф. корр.
1	Масса ОЭ	$k(1) = 1,487 K_{TY}^2 - 1,777 K_{TY} + 0,835$	0,663
2	Продолжительность рабочего цикла	$k(2) = 1,765 K_{TY}^2 - 2,322 K_{TY} + 1,119$	0,896
3	Уд. расход топлива	$k(3) = 1,660 K_{TY}^2 - 2,058 K_{TY} + 0,976$	0,844
4	80% ресурс до капремонта	$k(4) = 0,663 K_{TY}^2 - 0,301 K_{TY} + 0,436$	0,916
5	Наработка на отказ	$k(5) = 0,424 K_{TY}^2 - 0,036 K_{TY} + 0,385$	0,866
6	Давление в гидроприводе	$k(6) = 0,553 K_{TY}^2 - 0,176 K_{TY} + 0,412$	0,871
7	Мощность двигателя	$k(7) = 0,819 K_{TY}^2 - 0,548 K_{TY} + 0,498$	0,724
8	Объем ковша	$k(8) = 0,697 K_{TY}^2 - 0,402 K_{TY} + 0,468$	0,871
9	Глубина копания	$k(9) = 0,793 K_{TY}^2 - 0,458 K_{TY} + 0,470$	0,917

Таким образом, в результате выполненных исследований: разработана методика оценки технического уровня землеройных машин на основе системного анализа их технических параметров; усовершенствованы модели оценки технического уровня машин; создана система автоматизированной оценки технического уровня с использованием баз данных.

Таблица 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабашев Р.А., Кульгильдинов М.С. Определение параметров строительных и дорожных машин статистическими методами. Алматы: Эверо, 1998. 136с.
2. Кабашев Р.А., Кульгильдинов М.С. Проблемы установления технического уровня и качества землеройных машин с учетом условий эксплуатации // Проблемы автомобильных дорог России и Казахстана. 2001. С.109-113.
3. Кабашев Р.А., Кульгильдинов М.С. Оценка эффективности землеройных машин // Вестник КазАТК. 2002. №6. С.29-33.

УДК 622.647
И.И. ТАЗАБЕКОВ

Разработка структурной схемы межприводного участка цепных конвейеров

Для вывода полного уравнения изменения относительного удлинения тягово-несущего органа многоприводного пластинчатого конвейера в зоне деформации в дифференциальной форме при изменении скорости второго промпривода принимаются следующие допущения [1,2]: тягово-несущий орган конвейера однородный по длине и ширине, деформация в тяговом органе распространяется мгновенно, скорость первого

промпривода при деформации тягового органа остается неизменной, и вводим следующие обозначения:

$$1 + \varepsilon_1 = 1 + \alpha \sqrt{S_1} = \lambda_1, \quad 1 + \varepsilon_2 = 1 + \alpha \sqrt{S_2} = \lambda_2 \quad \text{и} \\ 1 + \varepsilon_{yc} = 1 + \alpha \sqrt{S_{yc}} = \lambda_3.$$

Тогда уравнение изменения относительного удлинения тягово-несущего органа имеет вид:

$$\ell_2 \lambda_2^{-1} p \varepsilon_2 = v_2 - v_1 \lambda_1 \lambda_3^{-1}, \quad (1)$$

где p — оператор дифференцирования.

Интегрируя уравнение (1) и определяя постоянную интегрирования из условия $\varepsilon_2 = \varepsilon_{нач}$ при $t = 0$, получаем:

$$\varepsilon_2 = \nu_2 \left[1 + \varepsilon_{2i\dot{\alpha}^{\dagger}} \left\{ \frac{\nu_1}{\lambda_1 \lambda_3} \left[1 + \varepsilon_{2i\dot{\alpha}^{\dagger}} \left[\frac{\nu_1}{\lambda_1 \lambda_3} \left[1 + \varepsilon_{2i\dot{\alpha}^{\dagger}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) + \nu_2 \exp -tT_{\theta}^{-1} \right]^{-1} - 1, \right. \right. \right. \right. \quad (2)$$

где $T_u = \ell_2 - v_2^{-1}$ — постоянная времени тягово-

несущего органа конвейера, с;

 ℓ_2 — длина участка зоны деформации, м.

С учетом (1) и (2) получаем выражение для натяжения тягово-несущего органа конвейера на втором межприводном участке:

$$S_2 = E_2 \nu_2 \varepsilon_{2i\dot{\alpha}^+} + 1 \left[\frac{\nu_1 \varepsilon_{2i\dot{\alpha}^+} + 1}{S_1 E_1^{-1} + 1} \lambda_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \right) + \nu_2 \exp \left(-\frac{t}{T_{\ddot{O}}} \right) \right]^{-1} - E_2. \quad (3)$$

Выражение (3) учитывает натяжение тягово-несущего органа в предыдущем межприводном участке, изменение жесткости и усадку его в зоне деформации.

С учетом вязкого трения тягово-несущего органа конвейера при определенных допущениях уравнение (1) примет вид:

$$\delta S = E_2 \lambda_2 - v_1 \lambda_2 \lambda_1^{-1} \lambda_3^{-1} - v_2 + \mu (\delta v_1 + \delta v_2) , \quad (4)$$

где μ — приведенный коэффициент вязкого трения тягово-несущего органа.

Часто принимается допущение, что усилие, необходимое для преодоления вязкого трения тягового органа, $S_B = \mu(v_1 - v_2)$. Если принять $v_2 = v_{2нач} + \Delta v_2$ и $\varepsilon_2 = \varepsilon_{нач} + \Delta \varepsilon_2$, то уравнение (2) в приращениях примет вид:

$$\Delta \varepsilon_2 = \nu_{2i\dot{a}\dot{z}} \lambda_3 \lambda_1 \Delta \nu_2 \nu_1^{-1} \left[\nu_{2i\dot{a}\dot{z}} + \Delta \nu_{2i\dot{a}\dot{z}} + \exp -tT_{\dot{o}}^{-1} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Так как $\Delta v_2 \exp -tT_{\ddot{\theta}}^{-1} \ll v_{2i\dot{\alpha}+}$, то

$$\Delta \varepsilon_2 = \lambda_3 \lambda_1 \Delta \nu_2 \nu_1^{-1} \left[1 - \exp -t T_{\ddot{o}}^{-1} \right]^{-1} \quad (6)$$

ИЛИ

$$\Delta S_2 = \lambda_3 \Delta v_2 E_2 \quad E_1 + S_1 \left[1 - \exp -t T_{\ddot{o}}^{-1} \right] E_1^{-1} v_1^{-1}. \quad (7)$$

Выражение (5) является решением дифференциального уравнения:

$$T_{\tilde{\sigma}}P(\Delta\varepsilon_2)+\Delta\varepsilon_2=\lambda_1\lambda_3\Delta v_2v_1^{-1}. \quad (8)$$

Следует иметь в виду, что при $v_{2нач} = v_1$, $\Delta v_2 = \Delta v$.

Таким образом, передаточная функция для относительного удлинения тягово-несущего органа конвейера в зоне деформации примет вид:

$$W_{\tilde{o}}(P) = \frac{\Delta \varepsilon_2}{\Delta \nu} = \lambda_1 \lambda_3 \nu_1^{-1} \frac{1}{T_{\tilde{o}} P + 1} \quad (9)$$

или для натяжения:

$$W_S(P) = \frac{\Delta S_2}{\Delta \nu} = \lambda_3 \ E_1 + S_1 \ E_2 E_1^{-1} \nu_1^{-1} \frac{1}{\tilde{O}_z \mathcal{D} + 1}. \quad (10)$$

При изменении скорости тягово-несущего органа МЦК значение E_2 не остается постоянным.

При $v_1 = \text{const}$ передаточную функцию упругого тягово-несущего органа конвейера как объекта регулирования с учетом (10) можем записать в следующем виде:

$$\frac{S}{\nu_2 - \nu_1}(P) = \frac{S}{\Delta\nu}(P) = \frac{E}{\nu_1 T_{\text{P}} + 1}, \quad (11)$$

где $S = \varepsilon E_0$ — натяжение тягово-несущего органа;

$$T_v = T_{v_1} = \ell v_1^{-1}; E_0 \text{ — жесткость тягово-несущего}$$

органа.

Таким образом, тягово-несущий орган многоприводного пластинчатого конвейера при его функционировании можно рассматривать как апериодическое (инерционное) звено, коэффициент усиления и постоянная времени которого зависят от скорости базового промпривода. Соотношение этих параметров во всем диапазоне регулирования скорости остается постоянным. Динамические свойства тягово-несущего органа могут быть определены по его переходной функции и функции веса.

Переходная функция, или переходная характеристика, $h(t)$ представляет собой переходной процесс на выходе звена, возникающий при подаче на его вход скачкообразного воздействия при величине скачка, равной единице. Такое входное воздействие называется единичной ступенчатой функцией и обозначается $x_1(t)=1(t)$, что соответствует $x_1=0$ при $t \leq 0$ и $x_1=1$ при $t > 0$. Функция веса $\alpha(t)$ представляет собой реакцию звена на единичную импульсную функцию, поданную на его вход. Единичная импульсная функция, или дельта-функция, представляет собой производную от единичной ступенчатой функции: $\delta(t)=1'(t)$. Поскольку $E = 2\sqrt{S}\alpha^{-1}$, то переходная функция тягово-несущего органа имеет вид [3]:

$$h(t) = \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_v}} \right) 1(t). \quad (12)$$

График переходной функции изображен на рисунке 1,а. Методами аналитической геометрии нетрудно убедиться в том, что касательная к кривой $h(t)$ в точке $t=0$ отсекает на горизонтальной прямой $h = 2\sqrt{S} \alpha \nu_1^{-1}$ отрезок, равный постоянной времени T_v . Переходная функция при $t=T$ равна $1,274\sqrt{S} \alpha \nu_1^{-1}$, а при $t=3T$ функция $h(t)$ достигает значения $1,9\sqrt{S} \alpha \nu_1^{-1}$. В приближенных расчетах обычно считают, что при $t=3T$ переходный процесс практически закончился.

Функцию веса (импульсную переходную функцию) тягово-несущего органа конвейера получим как производную от переходной функции:

$$\omega(t) = h(t)' = \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1 T_v} e^{-\frac{t}{T_v}} 1(t). \quad (13)$$

График функции веса приведен на рисунке 1, б.

Уравнение амплитудно-фазовой характеристики тягово-несущего органа конвейера получим, заменив в передаточной функции p на $j\omega$.

$$W(j\omega) = \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1 T_v j\omega + 1}. \quad (14)$$

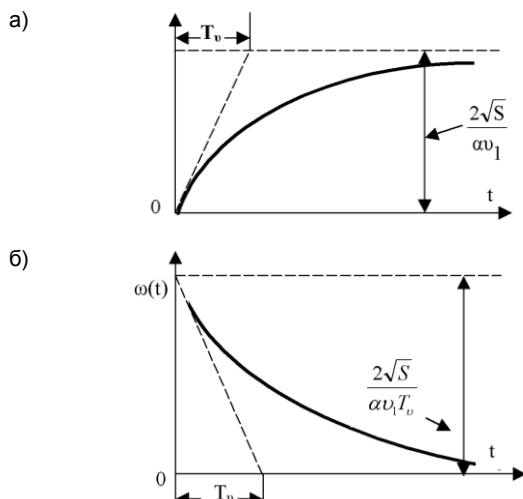


Рис. 1. Характеристики тягово-несущего органа пластинчатого конвейера

Умножая и числитель, и знаменатель функции (14) на сопряженное комплексное число, определим вещественную и мнимую части:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{-T_v j\omega + 1}{-T_v j\omega + 1} = \\ &= \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{1}{T_v^2 \omega^2 + 1} - j \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{T_v \omega}{T_v^2 \omega^2 + 1} \end{aligned} \quad (15)$$

и получим уравнения вещественной и мнимой частотных характеристик:

$$\left. \begin{aligned} P(\omega) &= \operatorname{Re} W(j\omega) = \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{1}{T_v^2 \omega^2 + 1}; \\ Q(\omega) &= \operatorname{Im} W(j\omega) = -\frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{T_v \omega}{T_v^2 \omega^2 + 1}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\text{Тогда } W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega). \quad (17)$$

Выражение (16) можно рассматривать как уравнение амплитудно-фазовой характеристики $W(j\omega)$, заданное в параметрической форме в системе координат $P(\omega)$ и $jQ(\omega)$. Роль третьей переменной (параметра) играет частота ω .

Если выразить мнимую составляющую $Q(\omega)$ через действительную $P(\omega)$, то можно убедиться, что амплитудно-фазовая характеристика тягово-несущего органа конвейера представляет собой полуокружность

с центром в точке $\left(\frac{\sqrt{S}}{\alpha v_1}, j0\right)$ и с диаметром равным

$$\frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \quad (\text{рис. 2}).$$

Распределение точек, соответствующих различным значениям ω , вдоль кривой $W(j\omega)$ зависит от величины постоянной времени T_v . На графике показаны характерные точки $\omega=0$, $\omega=\infty$ и $\omega_c = \frac{1}{T_v}$.

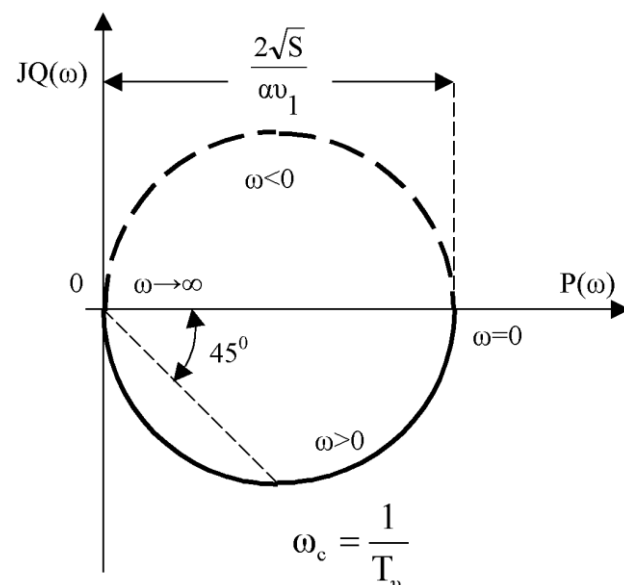


Рис. 2. Амплитудно-фазовая характеристика тягово-несущего органа

Уравнение амплитудной и фазовой частотных характеристик тягово-несущего органа конвейера имеет вид:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} = \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{1}{\sqrt{T_v^2 \omega^2 + 1}} = \\ &= \frac{2\sqrt{S}}{\alpha v_1} \frac{1}{T_v^2 \sqrt{\omega^2 + \frac{1}{T_v^2}}}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\psi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = -\arctg T_v \omega. \quad (19)$$

График функции $A(\omega)$ изображен на рис. 3. По графику видно, что гармонические сигналы малой частоты ($\omega < \omega_c$) пропускаются тягово-несущим органом с отношением амплитуд выходной и входной величин, близким к передаточному коэффициенту $2\sqrt{S} \alpha v_1^{-1}$.

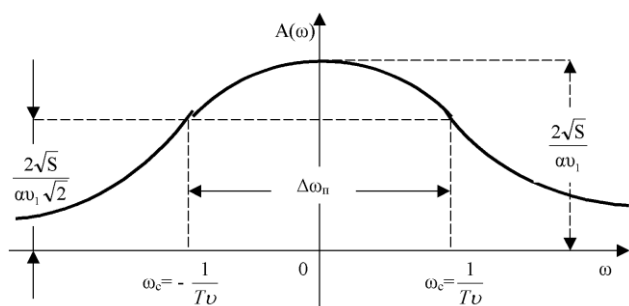


Рис. 3. Амплитудная частотная характеристика тягово-несущего органа пластинчатого конвейера

Сигналы большой частоты ($\omega > \omega_c$) плохо пропускаются звеном: отношение амплитуд существенно меньше коэффициента $2\sqrt{S} \alpha v_1^{-1}$. Чем больше постоянная величина T_v , т.е. чем больше инерционность тягового органа, тем меньше характеристика $A(\omega)$ вытянута вдоль оси частот, или как принято в автоматике, тем уже полоса пропускания частот. В практических расчетах ширину полосы пропускания ω_n звеньев и систем определяют

по ординате $A(\omega_n)$, равной $(0,05 \div 0,1) 2\sqrt{S} \alpha v_1^{-1}$. Для тягово-несущего органа конвейера $\omega_n = (20 \div 10) \omega_c$.

На рис. 4 представлена структурная схема межприводного участка. В схеме приняты следующие параметры в относительных единицах: $r = R_y R_{ii}^{-1}$; $v = v_2 v_{ii}^{-1}$; $S_2' = S_2 S_{ii}^{-1}$.

При синтезе системы управления электроприводами многоприводных пластинчатых конвейеров на межприводном участке зоны деформации за базовую скорость тягово-несущего органа целесообразно принимать скорость, развиваемую первым промприводом, второй промпривод использовать для создания требуемого натяжения по ходу движения. В этом случае базовый промежуточный электропривод необходимо выполнить с системой автоматического регулирования скорости промпривода, а тянущий промежуточный электропривод — с системой автоматического управления вытяжки или натяжения, снабженными датчиками прямого или косвенного измерения вытяжки или натяжения тягово-несущего органа [4].

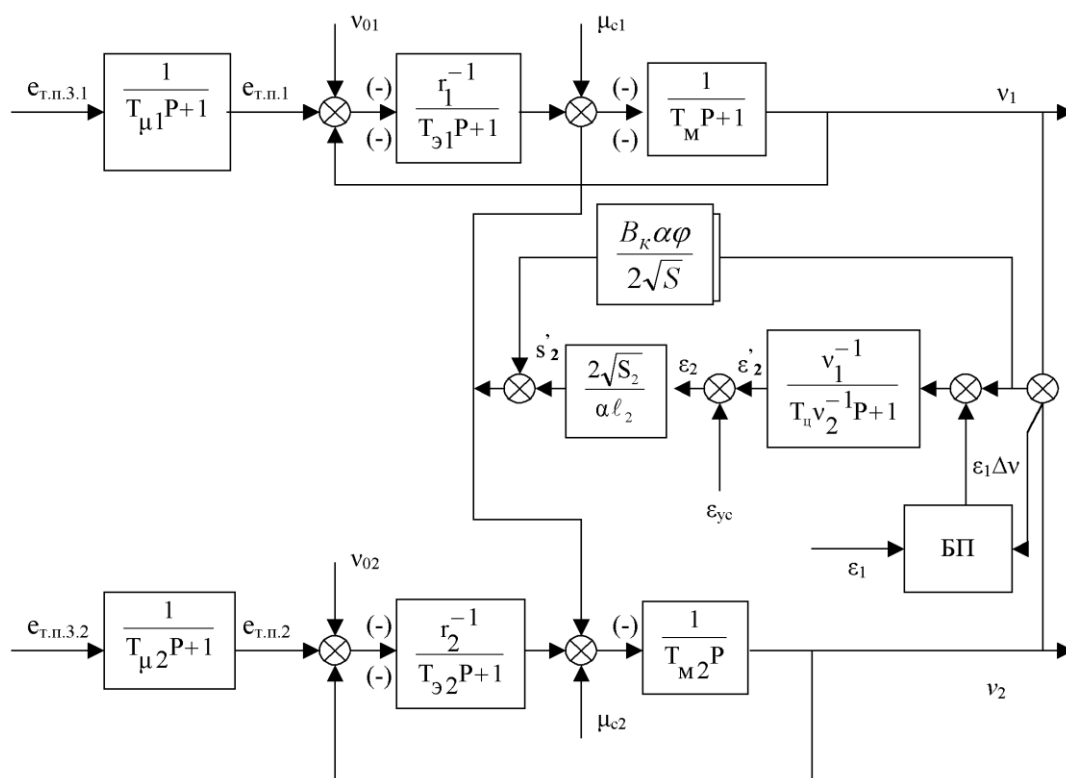


Рис. 4. Структурная схема межприводного участка: БП — блок переумножения; $\mu_{с1}, \mu_{с2}$ — моменты статического сопротивления; $T_{э1}, T_{э2}$ и $T_{μ1}, T_{μ2}$ — электромагнитные и электромеханические постоянные времени соответствующего промежуточных электроприводов; $2\sqrt{S} \alpha l_2^{-1}$ — жесткость тягово-несущего органа на межприводном участке; e_n, e_{m3} — фактическая и заданная ЭДС тиристорного преобразователя; $T_u = l_2 v_2^{-1}$ — постоянная времени тягово-несущего органа; B_{em} — сопротивление вязкого трения; $(T_{μ}P+1)^{-1}$ — передаточная функция тиристорного преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сагинов А.С., Данияров А.Н., Акашев З.Т. Основы проектирования и расчета карьерных пластинчатых конвейеров. Алма-Ата: Наука, 1984. 328с.
2. Иванов Г.М., Бучева И.Л. Системы регулирования автоматизированных электроприводов с упругими звеньями

механической части. М.: Информэлектро, 1977.

3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 767с.

4. Иванов Г.М. Разработка, исследование и промышленное внедрение многосвязанных систем электроприводов технологических линий: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МЭИ, 1980. 40с.

УДК 622.684.001.25

А.К. АКИМБЕКОВ

М.К. ИБАТОВ

Р.М. ПОПОВИЧЕНКО

Эмпирические зависимости основных рабочих параметров термического нейтрализатора отработавших газов дизельных двигателей

Метод пламенного дожигания (термическая нейтрализация) основан на способности горючих токсичных компонентов отработавших газов (окиси углерода, альдегидов, углеводородов и др.) окисляться при высокой температуре и наличии свободного кислорода в газовой смеси. Окислы азота пламенными дожигателями не нейтрализуются. Для интенсивного течения реакции окисления альдегидов необходима минимальная температура 823 К, окиси углерода и углеводородов — порядка 973 К.

Для дизельных двигателей дожигание несгоревших компонентов отработавших газов возможно только при пропускании их через созданный для этого очаг открытого пламени. При правильной автоматической регулировке систем пламенного нейтрализатора и удачной конструкции узлов можно добиться устойчивого дожигания альдегидов, окиси углерода и углеводородов. Однако эта задача не из легких. Решение ее требует использования сложных малоинерционных автоматических систем, обеспечивающих устойчивое горение дополнительного топлива в пульсирующем потоке отработавших газов при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_B > 1$ на всех режимах работы двигателя.

Основными недостатками термических нейтрализаторов для дизельных двигателей являются: нечувствительность к окислам азота; наличие дополнительного очага пламени иногда создает и дополнительный очаг образования окислов азота; плохая нейтрализация сажи; увеличение в отработавших газах содержания всех токсичных продуктов неполного сгорания при отклонении режима работы горелки от номинального; дополнительный расход топлива; высокие температуры деталей и узлов термического нейтрализатора, предопределяющие изготовление их из жаростойких сталей и исключающие возможность применения термических нейтрализаторов во взрывоопасных помещениях; неустойчивость работы при изменении нагрузки на двигатель из-за срывов пламени.

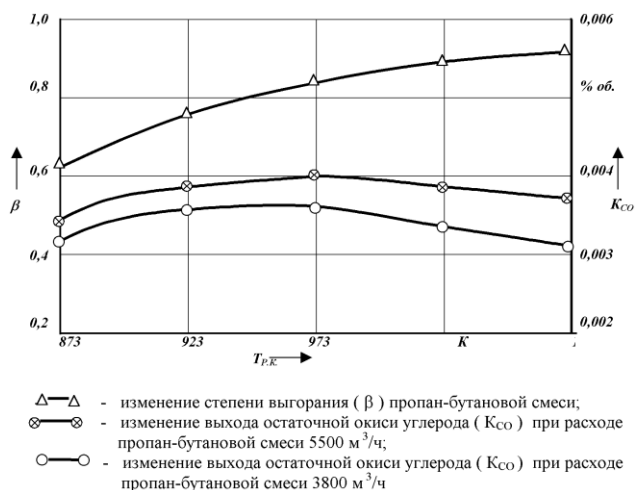
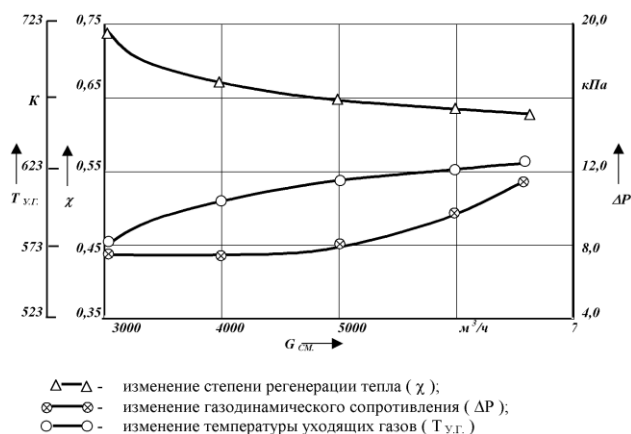
Особенности рабочего процесса и технико-экономический анализ показывают, что к термическому нейтрализатору предъявляется ряд конкретных требований. Основными из этих требований являются: необходимость быстро, полно и равномерно смешивать продукты сгорания дополнительного топлива с потоком нейтрализуемого газа; максимальное ограничение потерь тепла в среду и обеспечение высоких степеней регенерации тепла.

Разумеется, при этом всегда сохраняют свою актуальность задачи достижения высоких степеней нейтрализации, снижения стоимости оборудования, обеспечения надежности, компактности, удобства регулирования и т.д.

Нами и сотрудниками Казахского научно-исследовательского института энергетики (КазНИИЭ) в рамках договора о творческом сотрудничестве проводились исследования по термическому обезвреживанию газовых выбросов с концентрациями токсичных горючих веществ, много меньшими нижнего предела воспламенения. Проведенные стендовые исследования свидетельствуют о возможности достижения высокой степени регенерации тепла за счет применения вращающегося регенеративного теплообменника. Опытные данные позволили получить зависимости основных рабочих параметров термического нейтрализатора. Основные результаты исследования приведены на рис. 1 и 2.

Для регенерации тепла могут быть использованы рекуперативные теплообменники с максимальной степенью регенерации $\chi = 0,5$. Но в современных условиях, обуславливающих необходимость всемерной экономии топлива, более целесообразно и оправданно применение термических нейтрализаторов со степенью регенерации тепла $\chi = 0,7$. Такие высокие пределы степени регенерации обеспечиваются лишь с помощью регенеративных теплообменников.

При исследованиях, проведенных в лаборатории КазНИИЭ, концентрация окиси углерода CO определялась одноступенчатым газоанализатором ОА-5501 с пределами измерения $0 \div 0,2\%$ по объему. При определении содержания нейтрализуемой пропан-бутановой смеси использовался хроматограф «Газохром-3101». Изменение расхода пропан-бутановой смеси было в пределах $2450 \div 6500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Рис. 1. Изменение параметров в зависимости от температуры в реакционной камере $T_{p,k}$.Рис. 2. Изменение параметров в зависимости от расхода нейтрализуемой смеси $G_{см}$.

Степень выгорания пропан-бутановой смеси при обеспечении температуры 973 К достигла значения 0,8, а в условиях более высокой температуры 1073 К она составляла 0,9 (рис. 1). Результаты испытаний по выходу остаточной окиси углерода CO в зависимости от температуры в реакционной камере представлены также на рис. 1. Изменение газодинамического сопротивления (рис. 2) обусловлено увеличением расхода нейтрализуемой смеси и имеет достаточно приемлемые максимальные значения. Снижение степени регенерации тепла при увеличении расхода смеси (рис. 2) обуславливает необходимость подбора частоты вращения теплообменника и других рабочих параметров газоочистителя для определенного расхода нейтрализуемой смеси с целью получения оптимального значения степени регенерации.

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют о существующих потенциальных возможностях в области создания термических нейтрализаторов. Реализация этих возможностей будет способствовать дальнейшему совершенствованию подобных аппаратов.

УДК 622.233.29

А.Т. ФИЛИМОНОВ
Н.А. ДАНИЯРОВ
А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ

Система контроля погрузочных машин фирмы «Катерпиллар»

Повышение надежности самоходного горного оборудования (СГО) обеспечивается системой планово-предупредительного ремонта (ППР). Однако непрерывное увеличение объемов добычи полезных ископаемых, типоразмеров горных машин и повышение напряженности их работы вызвало значительный рост финансовых затрат и трудоемкости в сфере технической эксплуатации СГО. Это обусловило необходимость существенного повышения эффективности технического обслуживания и ремонта СГО на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан.

В настоящее время крупнейшие подземные рудники ведут добычу с использованием высокопроизводительного СГО. Большинство машин имеет дизельный привод и шарнирносочлененную раму. Например, на Жезказганском месторождении бурение осуществляется буровыми установками Параматик Н-205 Т, УБШ-532 Д, на погрузке работают ковшовые погрузчики фирмы

«Катерпиллар» CAT-980; для транспортирования руды и породы применяются большегрузные автосамосвалы TORO-40 D, MOA3-7405.

Длительность простоев СГО колеблется от 12 до 30 % от общего времени работы технологического оборудования. В ремонте постоянно находится 20-30% всего парка машин, годовой расход запасных частей составляет 15-20%, а материалов 8-10% от общей численности машин; число ремонтников составляет 20-25% от общей численности подземных рабочих. Система ППР подменяется ремонтом по потребности. Работы технического обслуживания подменяются текущим ремонтом (ТР), на выполнение которого отвлекается до 90% всего персонала ремонтных рабочих и материальных средств, а объем обязательных работ по сервисному обслуживанию выполняется лишь на 30-40%.

Одним из важнейших средств решения указанной проблемы является внедрение в технологические процессы ППР технической

диагностики СГО. Исследования зарубежных фирм, производящих СГО, показали, что полную автоматизацию процессов диагностики можно реализовать с применением компьютерной системы, которая обрабатывает данные, получаемые в виде электрических сигналов с автоматических датчиков. Примером может служить система контроля погрузчиков Cat-980G, которая производит самодиагностику при пуске двигателя. Эта проверка позволяет удостовериться, что индикаторы, сигнальные лампы и звуковые сигналы работают исправно. Далее система контроля переходит в нормальный режим работы.

Предупредительные сигналы разделены на три категории:

- требует повышенного внимания оператора;
- требует действий оператора;
- требует немедленной остановки систем машины.

К первой категории относятся сигнальные индикаторы:

- стояночного тормоза — стояночный тормоз включен, а коробка передач находится в нейтральном положении;
- электрической системы — указывает на то, что напряжение в системе слишком повышено или слишком понижено для нормальной работы машины;
- уровня топлива — в баке осталось 10% топлива;
- вспомогательное рулевое управление (при наличии) — вспомогательная система рулевого управления не работает.

Ко второй категории относятся сигнальные индикаторы:

- температуры охлаждающей жидкости — указывает на повышение температуры охлаждающей жидкости, если этот приборный указатель в красной зоне, остановите машину в удобном месте и выясните причину;
- температуры масла в коробке передач — указывает на повышение температуры масла в гидротрансформаторе и коробке передач, если этот приборный указатель вошел в красную зону, следует уменьшить нагрузку машины;
- температуры масла в гидросистеме — указывает на повышение температуры масла в гидросистеме, если этот приборный указатель вошел в красную зону, следует уменьшить нагрузку машины.

Включаются предупредительный и световой сигналы. Следует изменить режим работы машины для снижения температуры в системах, а если предупредительный сигнал и световой сигнал продолжают мигать, следует прекратить работу машины до выяснения причины.

К третьей категории относятся сигнальные индикаторы:

- давления моторного масла — указывает на пониженное давление масла;
- стояночный тормоз — предупредительный сигнал указывает на включенное состояние стояночного тормоза;
- давления масла в системе тормозов — указывает на

пониженное давление масла в системе гидропривода тормозов;

- электрической системы — указывает на серьезную неисправность в электрической системе;
- основного рулевого управления — указывает на отказ основной системы рулевого управления и автоматическое включение вспомогательной системы управления;
- давления масляного фильтра коробки передач — указывает на засорение масляного фильтра коробки передач и открытии перепускного клапана.

В третьей категории включаются сигналы: предупредительный, световой и звуковой. В этом случае для предотвращения отказа следует немедленно прекратить эксплуатацию машины.

В машинах фирмы «Катерпиллар» возможен вывод моточасов, скорости (тахометр), пробега машины (одометр) или диагностических кодов в окно индикации. При включении указатели проходят самодиагностику, затем на панели управления выводятся следующие показатели:

- температура охлаждающей жидкости двигателя, красная зона соответствует повышенной температуре жидкости;
- температура масла в гидротрансформаторе, красная зона соответствует повышенной температуре масла;
- температура гидравлического масла, красная зона соответствует повышенной температуре масла;
- уровень топлива в баке;
- счетчик моточасов указывает полную наработку двигателя в моточасах для определения сроков обслуживания;
- одометр показывает пробег;
- тахометр показывает обороты двигателя в минуту во время работы;
- спидометр показывает скорость движения машины в милях в час или в км/ч;
- показание передачи показывает включенную передачу и направление движения;
- служебный код, индикатор служебного кода показывает обнаруженный диагностический код.

Неисправности деталей и систем сохраняются в электронном блоке управления (ЭБУ) в виде кодов, которые при необходимости считываются через диагностические разъемы посредством специальных устройств. Существует три различных вида служебных кодов:

- обозначения деталей (CID), представляют собой диагностический код, указывающий неисправную деталь или систему.
- блока (MID), представляют собой диагностический код, указывающий отказавший электронный блок.
- вида отказа (FMI), представляет собой диагностический код, указывающий вид отказа

CID указывает на неисправность следующих деталей и систем:

- Датчики: уровня топлива; температур охлаждающей жидкости двигателя, масла гидротрансформатора и гидросистемы; оборотов двигателя и коробки передач; положения рычажного механизма

подъема; положения стрелы; положения рычага наклона; положения рычагов переключения передач.

- Электромагниты: плавного хода; заднего и переднего хода всех передач; подъема, опускания, разгрузки, наклона ковша; давления контура управления; ограничения подъема и опускания стрелы; ограничения наклона ковша; 3-го рычага переднего и заднего хода; фиксатора 3-го рычага переднего хода.
- Переключатели: плавного хода; стояночного тормоза; АВТО/РУЧ; понижения и повышения передачи; реверса; регулировки ограничителя ковша; режима рычага рабочего оборудования.
- Каналы данных индикатора, управлений рабочим оборудованием и коробкой передач; главный световой сигнал; напряжение электрической системы; пусковое реле.

MID указывает на отказавший электронный блок:

- Система контроля Caterpillar.
- Управление коробкой передач.
- Управление рабочим оборудованием

FMI указывает вид отказа:

- Данные действительны, но выше или ниже нормального рабочего диапазона, хаотичные,

прерывистые или неправильные.

- Напряжение выше или ниже нормы, низкое или высокое при КЗ.
- Ток ниже нормы или обрыв цепи, выше нормы или заземление цепи.
- Неисправная работа механической системы.
- Ненормальная частота, ширина импульса или период.
- Неправильные изменение или скорость изменения.
- Неопознанный вид отказа.
- Неисправный прибор или деталь.
- Сбой регулировки.

Система контроля погрузчика 980G выполняет диагностические функции, позволяя техническим специалистам анализировать работу машины и быстро устранять выявленные недостатки. Система через диагностический разъем отображает рабочие параметры, диагностические коды и показания приборов, выходящие за допустимые пределы. Кроме того, для облегчения проверок гидравлической системы в погрузчике 980G предусмотрены штуцеры для измерения давления. Система контроля обеспечивает постоянный контроль важнейших параметров двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обслуживание двигателей фирмы «Катерпиллар». HRDP7101-01 (0796) ps.
2. Руководство по эксплуатации и обслуживанию. Дизельные двигатели 3408 и 3412 промышленного назначения и для генераторных установок. SRBU5415-04. Март 1993.
3. Руководство по обслуживанию. Система контроля фирмы Caterpillar. SENR6717.

УДК 622.232.075

Т.Е. ЕРМЕКОВ
Е.А. ТОКЕНОВ
Т.У. САРСЕМБАЕВ
Г.М. ДЖУМАГУЛОВ

Обоснование параметров и разработка конструкции гидродомкратной системы подачи очистных машин

Нагрузка на рабочий орган большинства горных машин носит случайный характер, что определяет случайный режим приводов и соответственно неравномерности параметров.

Движение выемочной машины является возмущенным, вызванным действием обобщенных сил взаимодействия исполнительного органа с углем. При этом обобщенные силы имеют сложную зависимость, проявляющуюся в виде наложения случайных и периодических составляющих. Наибольшая дисперсия сил приходится на случайную составляющую сил сопротивления угля разрушению (60-80%). Из числа периодических составляющих наибольшей плотностью распределения дисперсий обладает составляющие с частотами, равными частотам, вырабатываемым резцами (20-40%). И на эти дисперсии значительно влияет пульсация скорости подачи. Поскольку динамика нагрузки привода исполнительного органа оказывает существенное влияние на технический ресурс и производительность очистного комбайна, снижение неравномерности

нагрузки является первостепенной и остается актуальной задачей.

Эта задача решается различными путями, наиболее распространенными из которых являются: изменение конструкции отбойного органа (расстановки резцов), увеличение жесткости системы подачи и увеличение скорости перемещения [1]. Изменение конструкции отбойного органа мало эффективно, в процентном отношении от общей доли снижения неравномерности нагрузки привода исполнительного органа.

По результатам ряда исследований, наибольший эффект достигается увеличением жесткости систем перемещения и скорости подачи. При этом [2] увеличение скорости подачи очистных комбайнов (при $V_n > 0,16$ м/с) приводит к срыву автоколебаний по фактору трения, а амплитуда пульсации значительно уменьшится, то есть уменьшится принудительная синхронизация автоколебаний, которая может значительно увеличить как амплитуду колебаний, так и граничную скорость $V_n > 0,16$ м/с. Для выемочных машин типа ВМФ увеличение

скорости подачи ограничено энергетическим ресурсом, а увеличение энерговооруженности приводит к увеличению веса габаритных размеров, что ухудшает возможность применения ВМФ-4КН для отработки крутонаклонных пластов [4].

Анализ конструкции и исследований бесцепных систем подачи показывает, что для выемочных машин типа ВМФ более приемлема гидродомкратная система подачи, которая позволяет достичь упрощения конструкции, уменьшения веса и габаритных размеров. Это способствует проектированию более компактных машин ВМФ, обеспечивающих высокие силовые характеристики и устраняющих присущие другим системам недостатки. Одним из факторов, влияющих на параметры перемещения, является угол атаки α_a (угол установки рабочего органа в горизонтальной плоскости).

На рис.1 показан график зависимости движения выемочной машины на пологом участке стенда, где $\alpha_n = 0^\circ$ (угол установки стрелы $\varphi = 42^\circ$). При постоянном среднем значении усилий подачи F_n с увеличением угла атаки α_a увеличивается скорость подачи V_n . Среднее значение усилий подачи поддерживается автоматически по потребляемой мощности на двигателе рабочего органа, изменение которой приводит к изменению расхода рабочей жидкости, подаваемой в гидроцилиндры подачи управляемым насосом НП120. Таким образом, поддерживая потребляемую мощность двигателя рабочего органа в пределах номинального ($N_p = 32\text{--}35$ кВт), могут быть установлены оптимальные значения F_n и V_n при различных углах атаки α_a . Согласно данной диаграмме (рис. 2), скорость подачи V_n с углом атаки имеет параболическую зависимость.

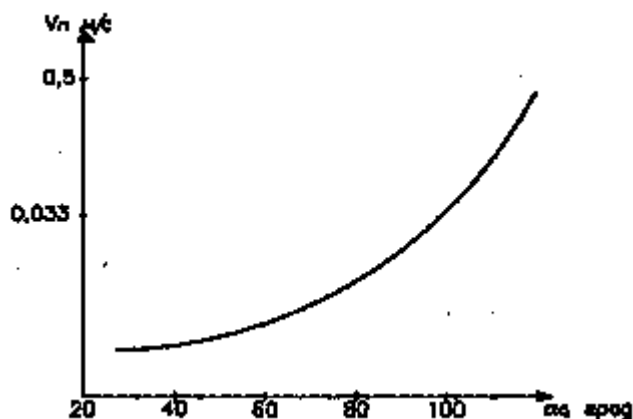


Рис. 1.

На рис. 2 показан график изменения усилий подачи F_n в зависимости от угла атаки α_a при постоянных значениях скорости подачи V_n . На графике наблюдаются худшие значения параметров перемещения при углах атаки $\alpha_a = 25^\circ$, что связано с наихудшими условиями работы отбойной коронки, но обеспечивающей рациональную ширину захвата $l_z = 0,63$ м, по условию отжима угольного массива.

Анализ работы выемочных машин в различных условиях работы и различных способах отбойки показал, что основным показателем оценки $F_n = f(V_n)$

является мощность двигателя рабочего органа N_p . Это обстоятельство обусловило выводы зависимости N_p от параметров перемещения. Наиболее характерным при этом является скорость подачи V_n [5].

Зависимость $F_n = f(V_n, R_c, h_m, \alpha_a)$ и $F_n = f(V_n, \bar{A}, m, \varphi, \alpha_n)$ взаимосвязана между параметрами перемещения и параметрами конструктивными с учетом бесприводной транспортирующей направляющей системы типа НСБ-1.

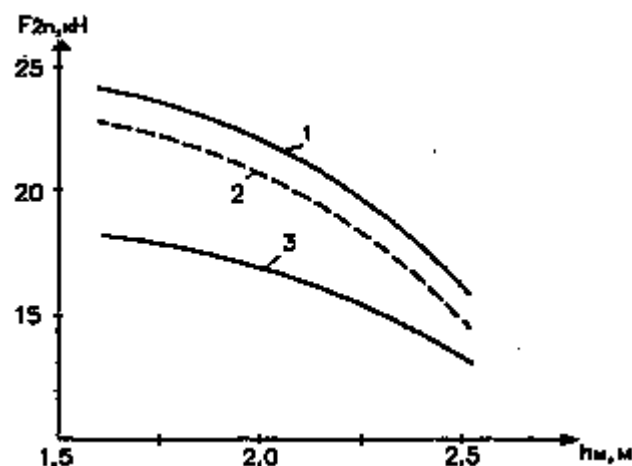


Рис. 2.

Выбор рационального значения F_n и V_n от множества этих зависимостей должен осуществляться по определенному значению. В качестве такого значения взят крутящий момент на отбойной коронке M_k или потребляемая мощность двигателя рабочего органа N_p , рациональные значения которых установлены спектральным анализом амплитудно-частотных характеристик по записям стендовых испытаний [5].

Связь момента M_k с мощностью N_p имеет вид:

$$N_p = \frac{M_k \cdot n_{ia}}{160 \cdot \eta_d}; \text{ кВт}, \quad (1)$$

где n_{ob} — частота вращения отбойной коронки, с^{-1} ;
 η_p — коэффициент полезного действия привода рабочего органа.

На выемочной машине ВМФ-4КН рабочий орган заимствован от проходческого комбайна типа ГПК, и КПД $\eta_p = 0,82$ и оборотами вращения коронки соответственно $n_k = 73$ об/мин и $n_k = 108$ об/мин. При использовании рабочего органа ГПК математическое ожидание $M_k = 2000 \dots 2060$ Нм, $N_p = 30 \dots 33$ кВт, а при использовании рабочего органа ГПК-1 $M_k = 2200 \dots 2260$ Нм, $N_p = 32 \dots 35$ кВт.

Таким образом, при наличии установленного значения M_k и N_p можно судить и об рациональных значениях V_n исходя из зависимостей $M_k = f(V_n) \cdot N_p = f(V_n)$ для конкретных инструкций и параметров ВМФ-4КН.

Параметры перемещения выемочной машины — скорость подачи V_n и усилие подачи F_n при рабочем ходе ограничены моментом на отбойной коронке M_k , связанных с мощностью электродвигателя рабочего органа N_p . В свою очередь, V_n и F_n взаимосвязаны

между собой и приведенными факторами, что может быть определено как

$$F_n = f \bar{A}, \alpha_n, m_n, \varphi, N_p, R_c, h_i, \sigma_M, V_n, l_\zeta, \quad (2)$$

где $\bar{A}$ — сопротивляемость угля резанию, кН/м;
 α_n — угол падения пласта, град.;
 m_n — вынимаемая мощность пласта, м;
 φ — угол установки стрелы по мощности пласта, град;
 N_p — мощность двигателя рабочего органа, кВт;
 R_c — длина рабочего органа, м;
 h_i — высота выемочной машины от почвы до оси крепления рабочего органа, м;
 σ_M — вес выемочной машины, т;
 V_n — скорость подачи машины, м/с;
 l_ζ — ширина захвата, т.

В общем случае усилие подачи может состоять из трех слагаемых:

$$F_n = F_1 + F_2, \quad (3)$$

где F_1 — усилие подачи машины, кН;
 F_2 — усилие подачи рабочего органа при отбойке, кН.

Влияние этих факторов (1,2) в основном взаимосвязаны как между отдельными факторами, так и группой факторов между собой. При рассмотрении связи между ними необходимо учитывать и способ отбойки массива. Выемочной машиной типа ВМФ отбойку можно вести тремя основными способами.

Рассмотрим формирование усилий подачи в зависимости от соответствующих факторов при отбойке. На графике 1 (рис. 2) отбойка ведется внедрением коронки на длину l_k ($V_n^I = V_{n,c,p,i}$, $V_k^I = 0$) с последующим качением стрелы по мощности пласта ($V_k^I = V_{k,c,p,i}$, $V_n^I = 0$). В этом случае параметры F_n^I и V_n^I определяются только при внедрении коронки ($\varphi = const$) и выемка угля осуществляется с цикличной выемочной подачей выемочной машины. Усилия подачи, приведенные в (2), могут определяться из следующих условий:

$$F_{1n}^I = f \alpha_n, l_\zeta, f_T, \sigma_M, V_n^I, \quad (4)$$

где l_ζ — длина забоя (влияние за счет длины кабелеукладчика);
 f_m — коэффициент трения металла о металл (влияние состояния забоя: сухой, влажный и т.д.).
 При этом учитывается, что вес выемочной машины постоянный.

$$F_{2n}^I = f \bar{A} \alpha_n, l_\zeta, f_T, \sigma_M, \varphi, h_i, R_n, N_\delta, V_n^I. \quad (5)$$

На графике 2 (рис. 2) подача машины осуществляется непрерывно, с постоянной средней скоростью ($V_n^II = V_{n,до}$, $V_k^II = 0$) с постоянным углом установки рабочего органа ($\varphi = \varphi_i = const$).

Этот способ отбойки может применяться для раздельной выемки угля и породы.

$$F_{1n}^II = f \alpha_n, l_\zeta, f_T, \sigma_M, V_n^II. \quad (6)$$

$$F_{2n}^II = f \bar{A} \alpha_n, l_\zeta, \varphi, h_i, R_n, N_\delta, V_n^II. \quad (7)$$

$$F_{3n}^II = f \alpha_n, l_\zeta, V_n. \quad (8)$$

Как видно из зависимостей, при втором способе отбойки вынимаемая мощность пласта m не участвует при определении F_{1n}^II . По третьему способу (рис. 2) отбойка ведется непрерывно согласовано со значениями скорости подачи машины ($V_n = V_{n,c,p,i}$) со скоростью качания рабочего органа ($V_k = V_{k,c,p,i}$) по мощности пласта m .

$$F_{1n}^III = f \alpha_n, l_\zeta, f_T, \sigma_M, V_n^III. \quad (9)$$

$$F_{2n}^III = f \bar{A} \alpha_n, l_\zeta, m, \varphi, h_i, R_n, N_\delta, V_n^III. \quad (10)$$

$$F_{3n}^III = f \alpha_n, l_\zeta, m, \gamma, V_n. \quad (11)$$

Несмотря на участие одинаковых параметров в некоторых зависимостях значения F_{ni} могут быть разными в зависимости от способа отбойки. При холостом перемещении выемочной машины на усилие подачи в основном влияют угол падения пласта α_n и длина очистного забоя l_ζ , в зависимости от веса кабелеукладчика. Исходя из этого, F_{1n}^I определяется из следующей зависимости:

$$F_{1n}^I = f \alpha_n, l_\zeta, f_T, \sigma_M, V_n. \quad (12)$$

Одним из основных факторов, влияющих на значение параметров перемещения, является направление движения машины по наклону, в зависимости от которого значения F_{ni} и V_{ni} рассматриваются отдельно при движении выемочной машины вверх и вниз. Таким образом, с учетом направления движения выемочной машины, параметры F_n и V_n могут определяться восемнадцатью различными зависимостями и при изменении конструктивных параметров выемочных машин количество зависимостей увеличивается.

Увеличение высоты машины h_m приведет к уменьшению усилий подачи (при $R_c = const$) при внедрении коронки в почву, так как увеличивается угол установленной стрелы [4]. Но при этих изменениях h_m внедрение коронки по кровле сопровождается значительными увеличениями усилий подачи, так как значение $\varphi \rightarrow 0$. Из приведенных зависимостей следует, что высота от почвы до оси качания стрелы h_m может быть рекомендована в пределах $h_i \approx \frac{m}{2}$, что позволяет увеличить скорость подачи, а отсюда и производительность выемочной машины.

Влияние угла падения пластов на параметры перемещения исследовались при аналитических, стендовых и шахтных испытаниях [6]. Для определения зависимости $F_n = f(V_n, \bar{A}, m, \varphi)$ использовались результаты всего комплекса исследований. При этом влияние каждого варианта определено отдельно, что дает возможность выбрать необходимые параметры перемещения при проектировании выемочных машин типа ВМФ-4КН.

Следующим параметром, оказывающим существенное влияние на параметры перемещения, является вынимаемая мощность пласта m .

Вынимаемая мощность пласта m влияет на параметры перемещения при третьем способе отбойки, это связано скоростью подачи V_{ncp} , определяемой из выражения:

$$V_{ncp} = \frac{l_e}{\frac{2m}{V_{0m1} + V_0} + \frac{2m}{V_{0m2} + V_0}}, \quad (13)$$

где V_{0m1} — скорость отбойки вверх, м/с;
 V_{0m2} — скорость отбойки вниз, м/с;
 V_0 — начальная скорость отбойки, м/с;
 l_k — длина отбойной коронки, м;
 m — вынимаемая мощность пласта, м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукиненко В.Г., Бабокин В.Г., Гавриков А.С. Выборы величины жесткости тягового звена системы подачи угольного комбайна // Изв. вузов. Горный журнал, 1977. №12. С.68-72.
2. Самков В.М. Исследование динамической нагруженности малозахватной угледобывающей машины с бесцепным приводом подачи: Автореф. дис... канд.техн.наук. М., 1975. 20с.
3. Солод В.И., Зайков В.И., Первов К.М. Горные машины и автоматизированные комплексы. М.: Недра, 1981. С.113-126.
4. Программа и методика проведения стендовых испытаний выемочной машины флангово-фронтально-избирательного действия ВМФ-4КН для отработки наклонных угольных пластов / А.С. Сагинов, А.Г. Лазуткин, Т.Е. Ермеков и др. Караганда: КарПТИ, 1980. 38с.
5. Флангово-фронтальная выемка пластовых месторождений / Сагинов А.С., Квон С.С., Лазуткин А.Г., Ермеков Т.Е. Алма-Ата: Наука, 1983. 280с.

Раздел 6

Автоматика. Энергетика

УДК 62-83.621.679

*И.В. БРЕЙДО
В.В. КАВЕРИН
Л.И. ДАЙЧ*

Генераторные режимы регулируемых по скорости тиристорных электроприводов постоянного тока

Двигательные режимы работы, статические и динамические характеристики регулируемых по скорости тиристорных электроприводов исследованы довольно глубоко и подробно. В то же время, аналогичные свойства тиристорных электроприводов в генераторных режимах работы недостаточно изучены.

Существуют классы машин и механизмов, скоростью которых необходимо управлять как в двигательных, так и в генераторных режимах. К ним относятся различные грузоподъемные механизмы, лебедки, горные машины.

В СНГ налажено серийное производство тиристорных электроприводов механизмов подачи угледобывающих комбайнов. Разработаны экспериментальные и опытные образцы регулируемых электроприводов подземных напочвенных канатных дорог, очистных комбайнов и скребковых конвейеров. Основным оборудованием угольных разрезов являются экскаваторы и буровые станки, оснащенные регулируемым электроприводом постоянного тока. Тиристорные электроприводы для горных машин широко применяются и в других странах.

Основные требования к генераторным режимам регулируемого электропривода горных машин и механизмов обусловлены положениями техники безопасности и технологическими особенностями [1].

Повышенную опасность представляют аварийные ситуации, связанные с несанкционированным

отключением электроэнергии, возникающие в процессе эксплуатации.

После отключения энергии рабочие органы продолжают совершать поступательное движение за счет накопленной кинетической энергии, что недопустимо в ограниченном пространстве горных выработок. Для повышения безопасности эксплуатации машины и механизмы необходимо комплектовать устройствами, сокращающими тормозной путь, причем они должны обеспечивать торможение во всем диапазоне угловой скорости после отключения электроэнергии. Так как кинетическая энергия, запасенная в маховых массах электропривода, с уменьшением скорости вращения убывает в квадратичной зависимости, то при снижении скорости вращения в 10 раз, кинетическая энергия уменьшается в 100 раз и составляет менее 1% от величины, соответствующей максимальной скорости вращения электропривода. Поэтому обеспечение устойчивого торможения в диапазоне изменения угловой скорости 1:10 вполне удовлетворяет нормативам безопасности и требованиям, предъявляемым к горным машинам, оснащенным регулируемым электроприводом.

Для снижения динамических перегрузок, возникающих в машинах и механизмах при торможении, необходимо ограничить электромагнитный и динамический моменты электропривода, что ведет к увеличению тормозного пути. С другой стороны, тормозной путь должен быть

ограничен по требованиям правил безопасности [1]. Так, для рабочего органа конвейеров и механизмов подачи очистных комбайнов он не должен превышать 0,5 м [1].

Известные способы предохранительного торможения, при несанкционированных отключениях электроэнергии, основаны на использовании режимов самовозбуждения и применяются в электроприводах постоянного тока с электродвигателями последовательного и смешанного возбуждения [2]. Эти способы эффективны в небольшом диапазоне начальной скорости торможения, так как для ограничения тока в цепь якоря необходимо включать дополнительный резистор, а наличие резистора существенно сужает диапазоны торможения.

В процессе эксплуатации напочвенных канатных дорог и механизмов подачи угледобывающих комбайнов, предназначенных для работы на крутонаклонных пластах, требуется дополнительно регулировать и стабилизировать скорость во всех 4-х квадрантах. Основные требования к таким электроприводам можно сформулировать в следующем виде:

- стабилизация частоты вращения независимо от знака момента нагрузки;
- автоматический плавный переход от двигательного режима в генераторный и обратно при смене знака момента нагрузки;
- исключение колебаний скорости и электромагнитного момента при изменении в широком диапазоне и с различной интенсивностью задающих и возмущающих воздействий;
- однозначность идентификации факта перехода из режима в режим.

Проведённые исследования показали, что к перспективным способам аварийного торможения в тиристорных электроприводах постоянного тока

относится модифицированное динамическое торможение по схеме независимого возбуждения. Сущность этого способа заключается в том, что цепь якоря при переходе в режим динамического торможения замыкается накоротко с выдержкой времени, величина которой зависит от начальной скорости электропривода и от его нагрузки [3]. Причем предлагаемое техническое решение применимо в двигателях с различными типами возбуждения. Стабилизировать скорость во 2-м и 4-м квадрантах продолжительное время и в широком диапазоне можно используя генераторные режимы рекуперации энергии в сеть и противовключения.

На основании вышеизложенных требований и с учетом предложенных технических решений разработан 4-квадрантный электропривод, функциональная схема которого приведена на рис. 1.

Силовая часть электропривода содержит двигатель независимого возбуждения (М, ОВМ), непереворачиваемые управляемые выпрямители в цепи якоря (ТПЯ) и обмотки возбуждения (ТПОВ), реверсор в цепи обмотки возбуждения (К1.1).

Параллельно обмотке возбуждения подключена R-C цепь, обеспечивающая форсировку переходного процесса при реверсе, а также диод VI, предназначенный для поддержания плавного разряда электромагнитной энергии, запасенной в обмотке возбуждения в режимах управляемого аварийного торможения.

Система автоматического управления включает три подсистемы: подчиненного регулирования скорости и тока по цепи якоря; стабилизации тока возбуждения; подсистемы управления электроприводом в режимах торможения.

Подсистема стабилизации тока возбуждения состоит из задатчика R2 и регулятора тока возбуждения (РТОВ).

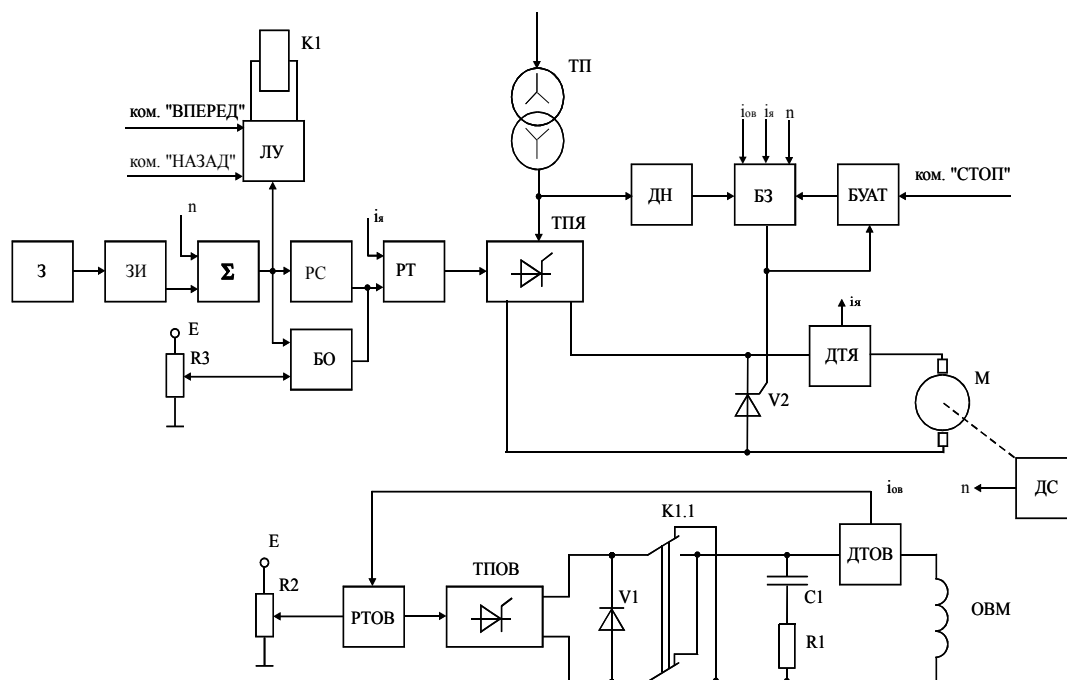


Рис. 1. Функциональная схема электропривода

Подсистема подчиненного регулирования, содержащая задатчик (З), задатчик интенсивности (ЗИ), сумматор (Σ), регулятор скорости (РС), блок токоограничения (БО) и регулятор тока (РТ), обеспечивает стабилизацию скорости в двигательном и генераторном режимах.

Выбор соответствующего режима работы производится автоматически логическим устройством (ЛУ). ЛУ осуществляет реверсирование электропривода по цепи обмотки возбуждения:

- при поступлении команды «реверс» с пульта управления;
- при изменении знака ошибки заданного и действительного значения скорости.

При изменении знака ошибки привод переходит из двигательного режима в генераторный режим или обратно. Для подавления колебаний в процессе перехода при переходе из двигательного режима в генераторный система автоматически увеличивает заданное значение скорости на небольшую величину, а при возврате возвращает на исходное задание. Это приводит к статической ошибке по скорости в генераторном режиме, но полностью устраняет колебательные процессы при переходе из режима в режим. В системе возможно регулирование тормозного момента в широком диапазоне скорости и даже при скорости, равной нулю.

Особенностью электропривода является автоматический выбор генераторных режимов в зависимости от ЭДС. При малых значениях ЭДС стабилизация скорости во 2-м или 4-м квадрантах производится в режиме противовключения, при увеличении ЭДС — в режиме рекуперации энергии в сеть. Подсистема управления электроприводом в режимах аварийного торможения содержит нуль-датчик напряжения (ДН), блок задержки (БЗ) и блок управления аварийным торможением (БУАТ).

В двигательном режиме БЗ обеспечивает вычисление сигнала, пропорционального величине задержки на закорачивание цепи якоря в функции магнитного потока, тока нагрузки и угловой скорости электродвигателя. Перевод привода в режим торможения производится по одному из двух каналов: с пульта управления (команда «стоп») и с выхода ДН, который контролирует наличие напряжения питания. По команде «стоп» осуществляется технологическое торможение, а при срабатывании ДН — аварийное. В режиме технологического торможения взаимодействуют подсистемы управления электроприводом в режимах торможения и стабилизации тока возбуждения.

При формировании команды на перевод в режим торможения закорачивание цепи якоря производится с необходимой задержкой, величина которой вычислена в БЗ. Изменением задержки осуществляется управление интенсивностью торможения электропривода при несанкционированном отключении электроэнергии. Предложенный алгоритм управления позволяет обеспечить требуемый тормозной момент в широком диапазоне изменения начальной скорости и его ограничение на допустимом уровне при скоростях, близких к номинальным.

Экспериментальные исследования электропривода проводились на лабораторном стенде.

На рис. 2 представлены переходные процессы электропривода с компенсированным электродвигателем независимого возбуждения 4ПФ132S в режиме несанкционированного отключения электроэнергии при двух начальных значениях угловой скорости. Установлено, что система аварийного торможения обеспечивает эффективное торможение в диапазоне угловой скорости 1:10 при ограничении тока якоря и тормозного момента на уровне допустимых значений при соблюдении требуемых условий коммутации в коллекторно-щеточном узле.

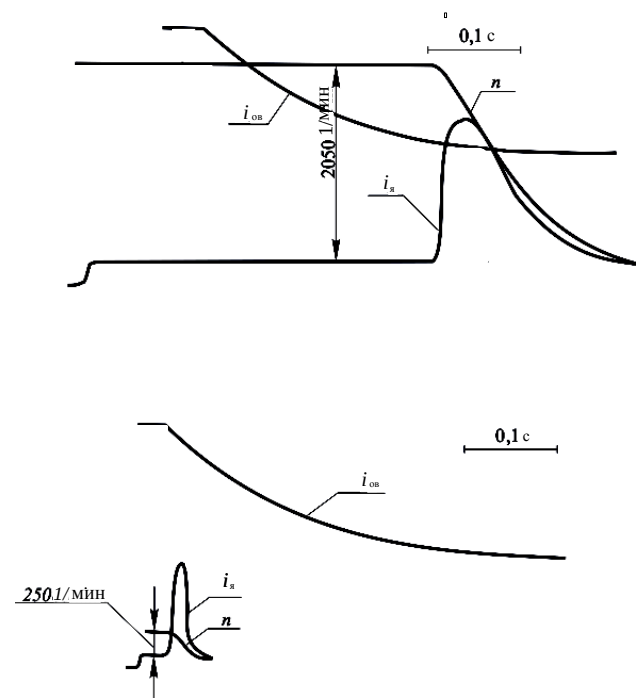


Рис. 2. Переходные процессы электропривода в режиме несанкционированного отключения электроэнергии

На рисунке 3 приведены осциллограммы электропривода в режимах стабилизации скорости, а также при переходе из 1-го квадранта во 2-й и обратно. Из анализа осциллограмм следует, что электропривод обеспечивает:

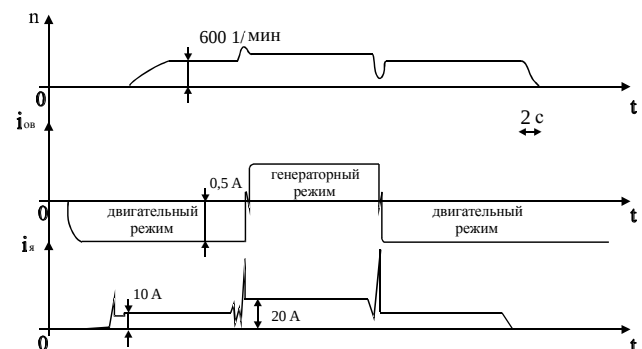


Рис. 3. Переходные процессы электропривода в двигательном и генераторном режимах работы

- заданные показатели качества регулирования скорости в двигательном и генераторном режимах работы;

- плавный переход без колебаний скорости из двигательного режима в генераторный и назад.

В генераторном режиме имеется статическая ошибка, происхождение которой объяснено выше.

Длительность перехода из режима в режим не превышает 1,5с, а переходной процесс носит аperiodический характер.

Время полного реверса тока возбуждения не превышает 0,6 с.

Таким образом, предложенный электропривод обеспечивает регулирование и стабилизацию скорости во всех четырех квадрантах и реализует режимы регулируемого аварийного и технологического торможения во втором и четвертом квадрантах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормативы по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов. М., 1990. 102с.
2. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. М.: Недра, 1981. 389с.
3. А.С. №1198719. СССР. Устройство для аварийного торможения электропривода постоянного тока / Брейдо И.В., Каверин В.В. Оpubл. 15.08.85. Бюл. №46 // Открытия. Изобретения. 1985.

УДК 621.343

В.М. СИН

О тенденциях применения методов машинного проектирования в образовательных технологиях электроэнергетических специальностей

Развитие современного общества связано с неуклонным ростом производства и потребления энергии всех видов. Во всех странах мира энергетика выделилась в отдельную самостоятельную отрасль со своим существенным сегментом на национальном рынке, в задачу которой входит решение комплекса сложнейших технико-экономических, научных, социальных задач, связанных с надежным и эффективным удовлетворением энергетических потребностей производства и общества в целом.

Характерной особенностью современных промышленных предприятий является непрерывный рост потребления электроэнергии. В то же время в условиях рыночной экономики энергоемкость производства единицы продукции является одним из наиболее важных параметров, определяющих в конечном итоге цену и конкурентоспособность продукции. Ограниченные объемы невозможности запасов природных источников энергии (нефть, газ, уголь) и растущая себестоимость их добычи, повсеместно принимаемые большинством стран мира законодательные акты по защите окружающей среды также стимулируют внедрение энергосберегающих технологий. Кроме того, необходимо учитывать, что за последние десять лет в Республике Казахстан кардинально изменилась структура отрасли. Производство, распределение, потребление всех видов энергии рассредоточено в руках хозяйствующих субъектов всех форм собственности, и стало коммерческим предприятием со всеми последствиями, вытекающими из экономической системы продавец — покупатель.

Продавец (субъект, предоставляющий услуги на энергетическом рынке), неся объективные потери, связанные с растущими производственными издержками, пытается решить свои проблемы, чтобы получить необходимую норму прибыли как залога успешного воспроизводства своей деятельности на рынке. Он делает это по объективным экономическим

законам, наиболее простыми и эффективными, с его точки зрения, способами: путем поднятия тарифов.

Покупатель — законопослушный субъект, потребляющий продукты и услуги на энергетическом рынке, стремится снизить свои затраты. Однако, делать это он вынужден более «тонкими» способами: путем установки более точных и совершенных средств учета, внедрением энергосберегающих технологий, покупкой услуг у другого продавца, если такая возможность существует и т.п.

Эти факторы ставят перед энергетикой ряд сложнейших задач, для успешного решения которых необходимо находить нетривиальные и эффективные решения. Поэтому перед системами электроснабжения как доминирующими средствами предоставления товарных услуг на энергетическом рынке настоящей социально-экономической реальностью ставятся следующие задачи:

- а) обеспечение бесперебойной работы;
- б) высокое качество электроэнергии;
- в) минимальные электрические потери;
- г) минимизация капитальных и эксплуатационных затрат.

Как показывает практика развитых стран мира, успешное решение поставленных задач возможно, исключительно, теми же «тонкими» способами, которыми энергетики вынуждают пользоваться покупателя:

а) повсеместным стимулированием «равномерного» потребления электроэнергии, снижающим пиковые нагрузки на энергосистему, путем внедрения гибких тарифных планов;

б) внедрением «интеллектуальных» средств учета, автоматически отключающих потребителя в случае нарушения регламентированных параметров нагрузки, но в то же время дающих ему возможность предъявлять обоснованные претензии услугодателю, в случае отклонения параметров электроснабжения от регламентированных;

в) внедрением новейших технологий на всех стадиях производства и отпуска единицы кВт/ч, начиная с проектирования и/или модернизации СЭС и заканчивая ее эксплуатацией и управлением.

Ключевым условием успешной реализации этих мероприятий является соответствующая подготовка персонала, что в свою очередь, ставит новые задачи перед системой подготовки кадров всех уровней, включая и вузовскую подготовку инженеров-электриков по электроэнергетическим специальностям.

Системы подготовки в целом идентичны во всех развитых странах и, за исключением незначительных моментов, включают в себя:

а) изучение фундаментальных естественно-научных дисциплин;

б) изучение специальных дисциплин;

в) получение практических навыков в области специальных дисциплин как в части проектирования, так и в части квалифицированной эксплуатации объектов энергетики.

Относительно первых двух пунктов — наработанная десятилетиями существующая учебно-методическая база имеет необходимый запас прочности для обеспечения необходимого уровня подготовки. Что касается третьего пункта, то имеется существенный разрыв между тем, что знает, чему научили специалиста, и тем, что от него требуется на современном производстве, когда новейшая техника перестает быть таковой уже после считанных лет эксплуатации.

Каким бы ни был потенциал учебного заведения в части оснащения лабораторными стендами, его трудно сопоставить с возможностями энергокомпаний, работающих на рынке электроэнергетики. Кроме того, большинство энергообъектов (ЛЭП, КРУ, ГПП и т.п.) приходится изучать либо теоретически, либо на их модельных малогабаритных макетах.

Традиционный подход к проектированию линейных электрических цепей заключается в том, что проектировщик, вооруженный знаниями и опытом, полагаясь в значительной степени на свою интуицию, составляет приближенный макет схемы. При макетировании результаты предварительного проектирования улучшаются путем подбора элементов методом проб.

Такой подход становится непригодным для систем электроснабжения, потому что в принципе некорректно замещать систему с распределенными параметрами и содержащую нелинейные элементы дискретными компонентами. Очевидно, что путем макетирования с помощью дискретных элементов невозможно точно воспроизвести эффекты и характеристики согласования элементов, входящих в реальную систему.

До настоящего времени традиционная методика расчета систем электроснабжения строилась по следующим принципам:

а) большая часть этапов расчета производилась вручную, ЭВМ использовалась для автоматизации вспомогательных операций некоторых режимов работы системы;

б) большинство параметров систем ввиду объективных трудностей определялось с помощью номограмм и таблиц;

в) для стационарных и переходных режимов работы необходимо использовать различные методики расчетов и эквивалентные схемы;

г) реализация альтернативности формальна (2...3 варианта);

д) макетирование системы в нескольких вариантах зачастую встречало непреодолимые трудности, вследствие невозможности обеспечить гарантированной адекватности уменьшенного макета реальной системе, по причине неоднозначности критериев подобия [1].

Персональные ЭВМ занимают свое место в арсенале средств проектирования, с их помощью удалось решить многие трудные задачи. Но внедрение в инженерное проектирование ЭВМ происходит недостаточно быстро. Одна из основных причин — это малочисленность инженеров-разработчиков, овладевших идеологией, методологией и техникой автоматизированного проектирования.

Названная малочисленность обусловлена рядом объективных причин, прежде всего связанных с необходимостью преодоления психологического барьера. Данная проблема затрагивает и нынешнее поколение студентов неинформационных специальностей, которые, убеждены в том, что компьютерные технологии касаются исключительно обучающихся на информационных факультетах. Однако современные САПР также прошли соответствующие эволюционные этапы и в них уже успешно реализуется концепция — «программирование без программистов».

Сущность данной концепции заключается в том, что любой программный продукт, ориентированный на неискушенного пользователя, должен использовать форму взаимодействия, традиционную для данной предметной области (механика, химия, электроника и т.д.), и позволять эффективно решать предметные задачи.

Все современные САПР, несмотря на их многообразие, имеют весьма схожую структуру, ставшую, по существу, промышленным стандартом. До середины 90-х годов XX столетия произошла «кристаллизация» иерархии систем САПР на два основных вида.

САПР нижнего уровня («легкие» САПР) — предназначены, как правило, для решения общинженерных задач по разработке пространственной геометрической модели объекта проектирования с автоматической генерацией конструкторской документации (AutoCAD, PiCad, ArhiCAD и т.д.). При этом в спроектированной модели, как правило, не учитываются реальные физические свойства материалов, из которых созданы составляющие ее компоненты, условия их взаимодействия и свойства среды функционирования (поля различной природы, явления тепломассопереноса, газодинамические процессы и т.д.). Данные САПР занимают лидирующее положение по объему продаж на рынке в силу относительно низкой стоимости, нетребовательности

к аппаратным ресурсам, устанавливаются и устойчиво работают практически на всех вычислительных платформах и в любых операционных средах.

САПР верхнего уровня («тяжелые» САПР) — специализированные системы для получения законченных проектных решений в конкретных предметных областях (авиация, автомобилестроение, судостроение, энергетика и т.д.). При этом зачастую предусматривается возможность непосредственного запуска в производство, минуя стадию получения твердых копий проектной документации («бесбумажное» проектирование и изготовление). К характерным особенностям тяжелых САПР можно отнести:

1) высокую надежность (валидность) полученных проектных решений, позволяющую в принципе исключить стадии изготовления и испытаний опытно-промышленных образцов;

2) значительную стоимость программного обеспечения САПР, как правило, сочетающуюся с необходимостью использования уникальных вычислительных платформ на базе суперкомпьютеров;

3) корпоративный или ведомственный характер владения и использования, т.е. отсутствие на общедоступном рынке программных продуктов как по коммерческим соображениям, так и по соображениям национальной безопасности.

Типичная «тяжелая» САПР имеет следующую структуру.

Препроцессор: программная среда, позволяющая задать структуру и параметры проектируемой и/или исследуемой системы. Препроцессор позволяет работать с моделью как с помощью относительно несложного языка программирования (или командной строки), так и, минуя его, буквально «нарисовать» модель с помощью компьютерной «мыши» на мониторе, используя «дружелюбный» графический интерфейс.

Процессор («solver» — решатель): программный модуль, реализующий тот или иной численный алгоритм решения систем матричных дифференциальных уравнений методами конечных элементов (МКЭ), к которым сводится построенная в препроцессоре модель системы. Результат анализа запоминается в специальных файлах, организованных в виде массивов, структур и баз данных.

Постпроцессор: программный модуль, служащий для удобной и наглядной визуализации полученных решений путем построения графиков, диаграмм, анимационных фильмов, зачастую со встроенными возможностями различных видов анализа (статистического, спектрального, оптимизационного и т.д.).

Именно «тяжелые» САПР, ориентированные на практическое использование в области энергетики, представляют наибольший интерес для внедрения в учебный процесс. Однако у вуза нет возможности приобрести данное программное обеспечение (ПО) по указанным причинам. А у энергокомпаний и фирм, производящих ПО в области энергетики, не хватает дальновидности предоставить преференции вузам в

установке этих программ для обучения их будущих работников.

Технический прогресс позволяет найти приемлемый выход из создавшейся ситуации. Во-первых, со второй половины 90-х годов прошлого столетия на рынке стали появляться САПР среднего уровня, с одной стороны, весьма нетребовательные к аппаратным ресурсам (могут устанавливаться на PC с процессором i486), с другой стороны, вобравшие в себя всю мощь тяжелых САПР. Наибольшее распространение в СНГ получили САПР, ориентированные на решение задач в области технической механики, машиностроения: ANSYS, FEMAP, SolidWorks, COSMOS/NASTRAN, ADAMS. Все «средние» САПР прекрасно взаимодействуют с «легкими» САПР (AutoCAD), предусматривают распределенную (сетевую) установку, взаимодействие с модулями, написанными на скалярных языках программирования C, C++, Delphi, Fortran и т.д. Некоторые из них, например SolidWorks, позволяют создавать самостоятельные программные продукты, ориентированные на решение более узкого класса задач, т.е. представляют из себя мощную «креативную» среду. Относительная открытость данных систем уже подвигла многих специалистов в области технической механики осуществить собственные коммерческие проекты [2].

Необходимо отметить тот положительный факт, что КарГТУ является партнером одного из законодателей в области САПР компании SASI и имеет возможность эффективно использовать в научных и учебных задачах один из мощнейших пакетов ANSYS, предоставляющий возможность эффективно и надежно решать задачи в области технической механики, исследовать взаимодействие полей (электромагнитных и тепловых), газодинамические процессы и т.п.

Перечисленные классы задач очень важны в системе подготовки будущих специалистов в области электроэнергетики, так как любая электрическая машина или аппарат, представляет из себя электромеханический комплекс, подверженный воздействию физических полей сложной и изменяющейся геометрии.

Однако адаптация использования данного пакета для решения задач энергетики, скорее, полезна в концепции демонстрационного ознакомления для «среднего» студента и, возможно, более глубокого изучения сильными студентами, а также аспирантами и магистрантами в их научной деятельности.

Для будущего инженера-эксплуатационника гораздо актуальней задача получения практических навыков в синтезе реальных сетей электроснабжения, умения их анализировать.

В последнее десятилетие на рынке программных продуктов появилось множество пакетов прикладных программ (ППП), в которых предусмотрены многие аспекты методов машинного анализа и проектирования технических объектов в более доступной для массового пользователя форме. Особенно широк выбор среди PPP в области электроники: B2 Spice AD, Electronic Workbench 5.12, Leonardo Spectrum, Tanner T-Spice и т.д.

Например, программный пакет Electronic Workbench позволяет разрабатывать электротехнические и электронные схемы, исследовать протекающие в них процессы. К неоспоримым преимуществам данного ПО можно отнести:

- а) удобный графический интерфейс, позволяющий оперативно создавать схемы любой сложности;
- б) минимальные затраты времени на освоение;
- в) реальную возможность снятия «психологического барьера новичка» перед компьютерной техникой;
- г) прекрасную сходимость получаемых расчетных данных «виртуальных» схем с данными при проведении реальных физических экспериментов.

Однако, если теоретический уровень пользователя достаточно вырос, у данного ППП имеется ряд недостатков, которые ограничивают его исследовательские возможности. К этим недостаткам следует отнести прежде всего:

- а) отсутствие встроенных средств анализа систем с распределенными параметрами;
- б) отсутствие возможности взаимодействия моделируемых систем с объектами иной физической природы (механических, теплотехнических и т.д.).

Решить обозначенную проблему, то есть предоставить пользователю возможность более глубокого теоретического изучения предметных задач, могут универсальные пакеты математических вычислений и научных исследований. В качестве примера можно привести программные комплексы MATLAB, MATHECAD, MATHEMATICA, которые позволяют эффективно анализировать сложные природные и технические системы на более высоком фундаментальном уровне, в терминах матричных дифференциальных уравнений, теории множеств, аналитической механики и т.п.

Весьма перспективным в плане внедрения в образовательные и научно-исследовательские технологии, по мнению автора, является программный продукт MATLAB (фирма MATHWORK Inc.), а также предметные ППП третьих производителей, разработанных в одноименной операционной среде.

Структура пакета позволяет эффективно сочетать два основных подхода к созданию модели реального объекта: аналитический и имитационный.

Особое место занимает система визуального моделирования SIMULINK [3], работающая в составе и с «ядром» MATLAB. Разработка моделей средствами SIMULINK основана на технологии «drag-and-drop» («перетаски и брось»). В качестве «кирпичиков» для построения S-моделей используются модули или блоки, хранящиеся в библиотеке SIMULINK. Библиотека SIMULINK хороша тем, что, с одной стороны, обеспечивает пользователю доступ ко всем возможностям языка MATLAB, а с другой — является достаточно самостоятельной в том смысле, что при работе с ней не обязательно иметь навыки в использовании других инструментов, входящих в состав пакета.

Необходимо отметить, что в версиях пакета, начиная с 5.0, устанавливается набор инструментов PowerSys BlockSet, специально разработанный для специалистов, работающих в области электроэнергетики. Данный инструментарий дает принципиально более широкие возможности эффективно моделировать и изучать такие специфические процессы, как режимы работы нейтрали, длинноволновые эффекты в линиях, проектирование систем компенсации реактивной мощности и т.д. При этом процесс проектирования систем электроснабжения средствами PowerSys практически идентичен формату работы реальной САПР. Постпроцессорная обработка результатов синтеза систем и объектов электроэнергетики позволяет эффективно применять оптимизационные процедуры по различным, в том числе и технико-экономическим критериям.

Таким образом, правильно поставленный и управляемый процесс освоения методов и средств машинного проектирования студентами и аспирантами стимулирует их интерес к более глубокому и творческому изучению фундаментальных и специальных дисциплин, что в итоге позволит поднять на более высокий уровень их образовательный и профессиональный рейтинг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабузов П.М. и др. Теории подобия и размерностей. М.: Высшая школа, 1968. 208с.
2. Журнал «САПР и графика». 2000. №4, 9.
3. Гуляев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс. СПб: Питер, 2000. 432с.

УДК 621.311.016.628.12004.3

Т.А. САДЫКБЕК
Б.Т. ТАНАГУЗОВ

Моделирование режимов системы электроснабжения магистрального трубопровода

Качество моделирования систем электроснабжения (СЭС) в значительной степени определяется способом моделирования режимов. Расчеты режима составляют существенную долю общего времени расчетов переходных процессов, поскольку осуществляются несколько раз на каждом шаге интегрирования. Следует также отметить, что за счет работы релейной защиты и автоматики (РЗА) в СЭС

происходят многократные изменения в схеме, приводящие к существенным изменениям режимов (нормальный режим, короткие замыкания, отключения, восстановление электроснабжения). Способ моделирования режимов должен позволять отображать все многообразие возможных состояний СЭС при оптимальных затратах машинного времени и ресурсов ЭВМ на расчеты.

Обобщенные параметры режима для разных иерархических уровней СЭС. Для упрощения и оптимизации расчетов режимов в СЭС целесообразно выделить три иерархических уровня:

- первый — от ЭДС электрической системы до узлов промышленной нагрузки;

- второй — от узлов промышленной нагрузки до выводов двигателей;

- третий — двигатели нагрузки.

Структурная схема первого иерархического уровня СЭС представлена на рис. 14 [1]. Параметры режима СЭС на этом уровне определяются уравнением

$$\underline{U}_y = \underline{E}_c - \underline{Z}_y \cdot \underline{I}_y, \quad (1)$$

где $\underline{U}_y (\underline{I}_y)$ — матрицы узловых напряжений (токов), соответствующих секциям распределительного устройства (РУ) в СЭС, т.е. узлам промышленной нагрузки;

$\underline{Z}_y$ — матрица узловых сопротивлений.

Входными параметрами первого уровня являются узловые токи $\underline{I}_y$, которые отражают влияние второго и третьего уровней; выходными параметрами — узловые напряжения $\underline{U}_y$, характеризующие влияние первого уровня на остальные.

Для второго иерархического уровня СЭС (рис. 13 [1]) можно записать следующие уравнения:

$$\underline{U}_{b\bar{A}} = \underline{U}_y - \underline{Z}_{b\bar{A}} \cdot \underline{I}_{\bar{A}}; \quad (2)$$

$$\underline{I}_y = \underline{I}_{i\delta} + \underline{I}_{\bar{A}} \cdot \underline{I}_{\bar{A}}, \quad (3)$$

где $\underline{U}_{b\bar{A}}$ — матрица напряжений на выводах двигателей;

$\underline{Z}_{b\bar{A}}$ — матрица сопротивлений элементов

электрической сети (ЭС) в цепи от узла нагрузки до выводов двигателей;

$\underline{M}_D$ — матрица подключения двигателей к узлам нагрузки;

$\underline{I}_{\bar{A}}$ — матрица токов двигателей.

Входными параметрами второго уровня по отношению к первому являются узловые напряжения $\underline{U}_y$; по отношению к третьему — напряжения на выводах двигателей $\underline{U}_{b\bar{A}}$. На третьем иерархическом уровне СЭС параметры режима определяются системой уравнений электромагнитных и электромагнитных переходных процессов [1].

При этом входными параметрами для синхронного двигателя (СД) будут напряжения на выводах двигателя $\underline{U}_{b\bar{A}}$ и обмотке возбуждения U_f и момент сопротивления механизма $M_{мех}$. Выходными параметрами СД и асинхронного двигателя (АД), через которые проявляется влияние двигателей на режим остальных уровней СЭС, являются токи двигателей $\underline{I}_{\bar{N}\bar{A}}$ и $\underline{I}_{\bar{A}\bar{A}}$.

Для оптимизации расчетов режима системы СД может быть представлен схемой замещения (рис. 15,а

[1]), содержащей ветвь с комплексным сопротивлением

$$\underline{Z}_{\bar{N}\bar{A}} = \underline{R}_{CT} + jx_d'' \quad (4)$$

и ЭДС

$$\underline{E}_{CA}'' = \underline{E}_{\bar{A}}'' + jE_q'' e^{-i(\frac{\pi}{2} + \delta)}, \quad (5)$$

где R_{CT} — активное сопротивление статорной обмотки;

x_d'' — сверхпереходное сопротивление по продольной оси;

E_q'' — сверхпереходная ЭДС по поперечной оси;

$E_{\bar{A}}''$ — эквивалентное сверхпереходное ЭДС по продольной оси, связанная с ЭДС E_q'' —

следующими соотношениями:

$$E_{\bar{A}}'' = E_d'' - I_q (x_d'' - x_q'');$$

$$E_{\bar{A}}'' = E_d'' \frac{x_d''}{x_q''} - U_d (1 - \frac{x_d''}{x_q''}). \quad (6)$$

В единой для СЭС синхронной комплексной системе координат Re, Im , действительная ось которой совпадает с вектором ЭДС электрической системы $\underline{E}_c$ (рис. 15,б [1]), составляющие ЭДС E_{CA}'' :

$$\begin{aligned} Re(E_{CA}'') &= E_{\bar{A}}'' \sin \delta + E_q'' \cos \delta, \\ Im(E_{CA}'') &= E_{\bar{A}}'' \cos \delta - E_q'' \sin \delta, \end{aligned} \quad (7)$$

где δ — угол, характеризующий положение поперечной оси q ротора СД в синхронной системе координат.

Параметры E_q'' , E_d'' , δ являются основными в математической модели СД, основанной на упрощенных уравнениях Парка-Горева, т.е. определяются уравнениями электромагнитных и электромагнитных переходных процессов в СД. Эти параметры обладают свойством непрерывности, т.е. сохраняют свои значения в начальные моменты изменения режима. Поскольку несимметрия сверхпереходных параметров СД x_d'' и x_q'' невелика ($x_d'' = 1,1 x_q''$), ЭДС $E_{\bar{N}\bar{A}}''$ также обладает свойством непрерывности.

В математической модели СД, основанной на полных уравнениях Парка-Горева, ЭДС E_d'' и E_q'' можно выразить через основные параметры режима соотношениями:

$$\begin{aligned} E_d'' &= -\psi_q'' + \frac{d\psi_d''}{dt}; \\ E_q'' &= -\psi_d'' + \frac{d\psi_q''}{dt}. \end{aligned} \quad (8)$$

Ток статорной обмотки СД, согласно схемам замещения узла нагрузки (рис. 13 [1]) и СД (рис. 15,а [1]) может быть вычислен по формуле

$$\underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_y - \underline{E}_{\bar{N}\bar{A}}''}{\underline{Z}_{c\bar{N}\bar{A}} + \underline{Z}_{\bar{N}\bar{A}}}. \quad (9)$$

Представление СД на третьем иерархическом уровне схемой замещения (рис. 15,а [1]) имеет ряд достоинств.

Параметры модели определяются параметрами сверхпереходных схем замещения СД, которые рассчитываются на каждом шаге интегрирования дифференциальных уравнений переходных процессов. Модель хорошо согласуется с уравнениями Парка-Горева.

При итерационных расчетах режима СЭС $E''_{\tilde{N}\tilde{A}}$ остается практически постоянной, что стабилизирует и существенно ускоряет процесс сходимости решения;

ЭДС $E''_{\tilde{N}\tilde{A}}$ обладает свойством непрерывности, что существенно ускоряет процесс сходимости решения при расчетах режима СЭС после его внезапного изменения.

Схема замещения АД по отношению к остальным уровням СЭС (рис. 16,а [1]) содержит ветвь с комплексным сопротивлением:

$$Z_{\tilde{A}\tilde{A}} = R_{\tilde{N}Ta} + jx''_a \quad (10)$$

и ЭДС

$$E''_{\tilde{A}\tilde{A}} = E''_a (\cos \delta_a - j \sin \delta_a) = E''_a e^{-j\delta_a}, \quad (11)$$

где $R_{\tilde{C}Ta}$ — активное сопротивление статорной обмотки;
 x''_a — сверхпереходное индуктивное сопротивление;

E''_a — сверхпереходная ЭДС;

δ_a — угол, характеризующий положение вектора;

$E''_{\tilde{A}\tilde{A}}$ — относительно действительной оси

синхронной системы координат.

В соответствии с векторной диаграммой (рис. 16,б [1])

$$\delta_a = \gamma_a + \theta_a, \quad (12)$$

где γ_a — фаза вектора $\underline{U}_{\tilde{C}\tilde{A}\tilde{A}}$ относительно действительной оси;

θ_a — угол между векторами $E''_{\tilde{A}\tilde{A}}$ и $\underline{U}_{\tilde{C}\tilde{A}\tilde{A}}$.

В установленном режиме АД

$$\theta_a = \arctg(T'_{2a} S_a). \quad (13)$$

Для математической модели АД, основанной на упрощенных уравнениях Парка-Горева, параметры E''_a и S_a являются основными параметрами режима, т.е. определяются уравнениями электромагнитных и электромеханических переходных процессов в АД. Эти параметры обладают свойством непрерывности, поэтому и $E''_{\tilde{A}\tilde{A}}$ обладает этим свойством.

Ток статорной обмотки АД, согласно схемам замещения узла нагрузки (рис. 15,а [1]) и АД (рис. 16,а [1]), может быть вычислен по формуле

$$I_{\tilde{A}\tilde{A}} = \frac{\underline{U}_y - E''_{\tilde{A}\tilde{A}}}{\underline{Z}_{B\tilde{A}\tilde{A}} + \underline{Z}_{\tilde{A}\tilde{A}}}. \quad (14)$$

Представление АД схемой замещения (рис. 16,а [1]) при расчетах режима СЭС имеет те же преимущества, которые отмечались для представления СД схемой замещения (рис. 17,а [1]). Главное из них в том, что при итерационных расчетах режима СЭС $E''_{\tilde{A}\tilde{A}}$ остается постоянной, что стабилизирует и ускоряет процесс сходимости решения.

С учетом предлагаемых схем замещения СД и АД (рис. 15,16 [1]) узел промышленной комплексной нагрузки (рис. 17,а [1]) может быть представлен эквивалентной схемой замещения, содержащей ветвь с эквивалентной узловой проводимостью $\underline{Y}_{\tilde{y}\tilde{o}}$ и эквивалентной ЭДС $E''_{\tilde{y}\tilde{o}}$ (рис. 17,б [1]).

В общем случае к углу нагрузки может быть подключено n СД, m АД и прочая нагрузка. Эквивалентная проводимость ветви относительно узла нагрузки

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{\tilde{N}\tilde{A}} &= 1/(\underline{Z}_{bCC} + \underline{Z}_{CA}); \\ \underline{Y}_{\tilde{A}\tilde{A}} &= 1/(\underline{Z}_{b\tilde{A}\tilde{A}} + \underline{Z}_{\tilde{A}\tilde{A}}). \end{aligned} \quad (15)$$

Прочая нагрузка узла может быть представлена ветвью с комплексной проводимостью

$$\underline{Y}_{i\delta} = \frac{\hat{S}_{i\delta}}{|U_y|^2}. \quad (16)$$

Таким образом, параметры эквивалентной схемы замещения узла промышленной нагрузки (рис. 17,б [1]) определяются выражениями

$$\underline{Y}_{\tilde{y}\tilde{o}} = \sum \underline{Y}_{\tilde{N}\tilde{A}} + \sum \underline{Y}_{\tilde{A}\tilde{A}} + \underline{Y}_{i\delta}; \quad (17)$$

$$E''_{\tilde{y}\tilde{o}} = \frac{\sum E''_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \underline{Y}_{\tilde{N}\tilde{A}} + \sum E''_{\tilde{A}\tilde{A}} \cdot \underline{Y}_{\tilde{A}\tilde{A}}}{\underline{Y}_{\tilde{y}\tilde{o}}}, \quad (18)$$

в которых суммирование осуществляется по всем СД и АД, подключенным к узлу. Узловой ток в соответствии с эквивалентной схемой замещения узла нагрузки

$$I_y = (\underline{U}_y - E''_{\tilde{y}\tilde{o}}) \cdot \underline{Y}_{\tilde{y}\tilde{o}}. \quad (19)$$

Оценивая предлагаемую эквивалентную схему замещения узла промышленной комплексной нагрузки, следует отметить следующие преимущества:

- параметры эквивалентной схемы замещения узла относительно просто выражаются через параметры схем замещения подключенных к узлу АД и СД;

- эквивалентные параметры $E''_{\tilde{y}\tilde{o}}$ и $\underline{Y}_{\tilde{y}\tilde{o}}$ практически остаются постоянными, что стабилизирует и ускоряет итерационный процесс расчета режима СЭС;

- при внезапных изменениях режима СЭС параметры эквивалентной схемы замещения остаются практически постоянными, что существенно ускоряет процесс сходимости итерационных расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыхбек Т.А., Танагузов Б.Т. Моделирование режимов системы электроснабжения с электромеханической нагрузкой.

- Алматы: Гылым, 2003. 160с.
2. Вишневский К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. М.: Агропромиздат, 1986. 135с.
 3. Садыкбек Т.А. Проблемы повышения эксплуатационной надежности магистрального трубопровода «Астрахань — Мангышлак» // Известия Евразийского университета имени Л.П. Гумилева. Серия технических наук. 2000. №1. С.90-93.

РЕЗЮМЕ

УДК 378.1:378.622(574). Г.Г. ПИВЕНЬ, Ю.Н. ПАК.
Модернизация университетского инженерного образования и Болонский процесс.

Рассмотрены основные целевые установки Болонской декларации и проблемные вопросы инженерного образования.

УДК 378.02:372.8:004.9. М.Р. НУРГУЖИН.
Основы инновационной системы подготовки научно-инженерных кадров.

Модель специалиста, выпускника исследовательского технического университета, основывается на имеющихся в вузовской практике достижениях и поиске качественно нового соотношения общего, профессионального и гражданского развития; выпускник должен соответствовать трединой задаче: исследователь (ученый) — управленец (менеджер) — практик (инженер).

УДК 378.018:001.891. И.В. БРЕЙДО, Н.И. КАРАСЕВ, Б.Н. ФЕШИН.
Принципы подготовки инженеров электротехнического профиля в области проблемно ориентированных информационных технологий.

Изложены основные принципы подготовки инженеров электротехнического профиля в области информационных технологий, базирующиеся на непрерывности, системности, ранней профессиональной ориентации и использовании виртуальных образовательных сред.

УДК 681.3.06. К.Б. КЫЗЫРОВ, В.В. ЯВОРСКИЙ, Л.И. ЛЕЙЗЕР.
От заочного обучения к дистанционному.

Рассмотрены проблемы перехода от заочного обучения к дистанционному.

УДК 621.9-529. М.Р. СИХИМБАЕВ.
Рекомендации по проектированию и применению управляемой технологической оснастки.

Предложена методика проектирования и эффективного использования управляемой технологической оснастки в зависимости от основных факторов процесса механической обработки.

УДК 622.7(6). Св.С. КВОН, Б.А. ЖАУТИКОВ.
Разработка способов повышения срока эксплуатации армировки шахтных стволов.

Рассмотрены основные причины износа армировки скиповых стволов шахт. Приведены анализ и классификация. На основании исследований предложены способы повышения износостойкости и долговечности элементов армировки шахтных стволов.

УДК 621.791:658.386.06. Т.Г. ШИГАЕВ, Н.А. МЕДЕУБАЕВ.
Тренажеры для подготовки сварщиков.

Рассмотрено применение тренажеров в период обучения сварщиков.

УДК 622.28.004.12. Г.С. ЖЕТЕСОВА, А.Ш. ЖУНУСОВА.
Технический уровень механизированных крепей.

Установлены оптимальные параметры механизированных крепей, их конструктивных схем, направления

ЭОЖ 378.1:378.622(574). Г.Г. ПИВЕНЬ, Ю.Н. ПАК.
Университеттін инженерлік білімінің модернизациясы және Болонский процесс.

Болонский декларациясының негізгі мақсатты қондырғылары және инженерлік білімінің модернизациясының проблемалы мәселелері қаралды.

ЭОЖ 378.02:372.8:004.9. М.Р. НУРГУЖИН.
Ғылыми-инженерлік кадрларды дайындаудың инновациялық жүйесінің негіздері.

Техникалық зерттеу университеті түлегінің, маманның моделі, ЖОО практикасындағы жетістіктерге және жалпы, кәсіптік және азаматтық дамудың жаңа сапалы ара қатынасын іздеуге негізделеді; бітіруші бірыңғай үш міндетке: зерттеуші (ғалым) — басқарушы (менеджер) — практик (инженерге) сәйкес болу керек.

ЭОЖ 378.018:001.891. И.В. БРЕЙДО, Н.И. КАРАСЕВ, Б.Н. ФЕШИН.
Проблемалық бағдарланған ақпараттық технологиялар облысында электр техникалық бейінді инженерлерді даярлау принциптері.

Ақпараттық технологиялар облысында электр техникалық бейінді инженерлерді даярлаудың үздіксіздікте, жүйелілікте, ерте кәсіптік бағдар алуға және виртуальды білім беру орталарын пайдалануда бааланатын негізгі принциптері баяндалған.

ЭОЖ 681.3.06. К.Б. КЫЗЫРОВ, В.В. ЯВОРСКИЙ, Л.И. ЛЕЙЗЕР.
Сырттай оқытудан — аралық оқытуға.

Сырттай оқытудан аралық оқытуға өту проблемалары қарастырылған.

ЭОЖ 621.9-529. М.Р. СИХИМБАЕВ.
Басқарылатын технологиялық әбзелді жобалау және қолдану бойынша ұсыныстар.

Механикалық өңдеу процесінің негізгі факторларына байланысты басқарылатын технологиялық әбзелді жобалау және тиімді пайдалану әдістемесі ұсынылған.

ЭОЖ 622.7(6). Св.С. КВОН, Б.А. ЖАУТИКОВ.
Шахта оқпандарын арқаулауды пайдалану мерзімін жоғарылату тәсілдерін әзірлеу.

Шахталардың скиптік оқпандарын арқаулаудың тозуының негізгі себептері қарастырылған. Талдау мен жіктеу жұмыстары келтірілген. Зерттеулер негізінде шахта оқпандарын арқаулау элементтерінің тозуға төзімділігі мен ұзақ мерзімділігін жоғарылату тәсілдері ұсынылған.

ЭОЖ 621.791:658.386.06. Т.Г. ШИГАЕВ, Н.А. МЕДЕУБАЕВ.
Дәнекерлеушілерді дайындауға арналған жаттықтырыштар.

Дәнекерлеушілерді оқыту кезеңінде жаттықтырыштарды қолдану қарастырылған.

ЭОЖ 622.28.004.12. Г.С. ЖЕТЕСОВА, А.Ш. ЖУНУСОВА.
Механикаландырылған бекітпелердің техникалық деңгейі.

Механикаландырылған бекітпелердің, олардың конструкциялық сұлбаларының оңтайлы параметрлері, тау-кен геологиялық жағдай-

UDC 378.1:378.622(574). G.G. PIVEN, Yu.N. PAK.
Modernization of University Engineering Education and Bologna Process.

The main aims of the Bologna declaration and the problems of engineering education have been considered.

UDC 378.02:372.8:004.9. M.R. NURGUZHIN.
Fundamentals of Innovation System of Training Scientific Engineering Personnel.

A model of a specialist, a graduate from a research technical university, is based on the advantages available in the university practice and on the search for a new qualitative relation of general, vocational and civic development; a graduate should meet the threefold task: a researcher (a scientist) — a manager — a practician (an engineer).

UDC 378.018:001.891. I.V. BREYDO, N.I. KARASYEV, B.N. FESHIN.
Principles of Training Engineers of Electrical-and-Engineering Character in Field of Problem Oriented Information Technologies.

The main principles of training engineers of electrical-and-engineering character in the field of information technologies have been stated which are based on the continuity, the system, the early vocational orientation and the use of virtual educational media.

UDC 681.3.06. K.B. KIZIROV, V.V. YAVORSKY, L.I. LEIZER.
From Correspondence Education to Distance One.

The problems of transition from the correspondence education to the distance one have been considered.

UDC 621.9-529. M.R. SYKHIMBAYEV.
Recommendations on Designing and Applying Controlled Machining Attachments.

The methods of designing and effective applying controlled machining attachments depending on the basic factors of the machining process have been suggested.

UDC 622.7(6). Sv.S. KVON, B.A. ZHAUTIKOV.
Developing Ways of Increasing Service Life of Mine Shafts Equipment.

The basic causes of wearing mine skip shafts equipment have been considered. The analysis and the classification have been given. On the basis of the investigations the ways of increasing the wear resistance and the durability of elements of mine shafts equipment have been suggested.

UDC 621.791:658.386.06. T.G. SHIGAYEV, N.A. MEDEUBAYEV.
Trainers for Training Welders.

Applying trainers during training welders has been considered.

UDC 622.28.004.12. G.S. ZHETESOVA, A.Sh. ZHUNUSOVA.
Technical Level of Powered Supports.

Optimal parameters of powered supports and of their structural schemes, directions of improving commercial powered supports have been stated

совершенствования механизированных крепей с учетом горно-геологических условий, приведены разработки ряда рекомендаций, обеспечивающих их применение на пластах с труднообрушающимися кровлями.

УДК 669.168. М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ, С.О. БАЙСАНОВ, С.Т. ГАБДУЛЛИН, Л.В. ОСИПОВА, Т.Д. ТАКЕНОВ. **Выбор электрических и геометрических параметров рудно-термической печи РПО-60 МВА для выплавки углеродистого ферромарганца.**

Установлены оптимальные электрические и геометрические параметры открытой прямоугольной рудно-термической печи РПО-60 МВА для выплавки углеродистого ферромарганца. По результатам исследований рекомендовано провести реконструкцию печи с изменением геометрических параметров печи. Выбрана 22-я ступень трансформатора как соответствующая для выплавки углеродистого ферромарганца.

УДК 620.179.14. Л.А. ДАХНО, В.И. ШАРЫЙ, А.А. ДАХНО. **Контроль качества поверхности деталей после сульфационирования.**

Разработан экспрессный способ неразрушающего контроля качества процесса химико-термической обработки деталей из стали марки 65Г. Предложена номограмма для контроля качества сульфационирования деталей в условиях производства.

УДК 621.744.362. А.З. ИСАГУЛОВ. **Перспективы развития импульсных методов изготовления отливок.**

Приведены результаты исследований процесса уплотнения пакета смеси с эффектом поверхностного упрочнения форм и воздушно-импульсного метода формообразования.

УДК 69.002.51.001.24. Д.З. МУХАМЕДЯРОВ. **Прогнозирование надежности и эффективности оборудования на этапе проектирования.**

Предлагается методика прогнозирования степени снижения массы оборудования в результате применения новых материалов. Методика строится в расчете на наличие в оборудовании как элементов, у которых изменяются все линейные размеры с введением нового материала, так и элементов, у которых изменяется лишь часть размеров.

УДК 550.835. Ю.Н. ПАК, М.В. ПОНОМАРЕВА. **Определение содержания серы в углях рентгенорадиометрическим методом.**

Предлагается методика рентгенорадиометрического контроля угля на сернистость, основанная на применении в качестве функции отклика аналитической линии кальция. Построены градуировочные зависимости, рассчитаны их статистические характеристики.

УДК 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ. **Методика измерения магнитной восприимчивости в разведочных скважинах.**

Разработана методика градуирования приборов каротажа магнитной восприимчивости в моделях и контрольно-градуировочных скважинах. Установлены закономерности изменения магнитной восприимчивости руд Ломоносовского, Качарского месторождений и их участков. Оценены погрешности определения в рудах содержания общего железа и связанного с магнетитом.

УДК 658.512.22.011.56. С.С. КВОН, В.Ф.

ларын есепке алумен сериялық механикаландырылған бекітпелерді жетілдіру бағыттары анықталған, олардың төбелері ауыр опырылатын қаттарда қолданылуын қамтамасыз ететін, бірқатар ұсыныстардың әзірлемелері келтірілген.

ӘОЖ 669.168. М.Ж. ТОЛЫМБЕКОВ, С.О. БАЙСАНОВ, С.Т. ГАБДУЛЛИН, Л.В. ОСИПОВА, Т.Д. ТӘКЕНОВ. **Көміртегілі ферромарганецті қорыту үшін РПО-60 МВА руда-термиялық пешінің электр және геометриялық параметрлерін таңдау.**

Көміртегілі ферромарганецті қорыту үшін ашық тік бұрышты РПО-60 МВА руда-термиялық пешінің оңтайлы электрлік және геометриялық параметрлері анықталған. Зерттеулер нәтижелері бойынша пешің геометриялық параметрлерін өзгерту арқылы пешті қайта салу ұсынылған. Көміртегілі ферромарганецті қорыту үшін сәйкес келетін саты ретінде трансформатордың 22-ші сатысы таңдалған.

ӘОЖ 620.179.14. Л.А. ДАХНО, В.И. ШАРЫЙ, А.А. ДАХНО. **Сульфациондаудан кейін беттіктер бетінің сапасын бақылау.**

65Г маркалы болаттан жасалған тетіктерді химия-термиялық өңдеу процесінің сапасын бұзбай бақылаудың жылдам тәсілі әзірленген. Өндіріс жағдайларында тетіктерді сульфациондаудың сапасын бақылауға арналған номограмма ұсынылған.

ӘОЖ 621.744.362. А.З. ИСАҒҰЛОВ. **Құймаларды жасаудың импульстік әдістерін дамыту перспективалары.**

Қорамаларды беттік беріктендіру әсерімен бірге қоспа пакетін тығыздау процесін және сырт пішін құрудың ауа-импульстік әдісін зерттеу нәтижелері келтірілген.

ӘОЖ 69.002.51.001.24. Д.З. МҰХАМЕДЯРОВ. **Жобалау кезеңінде жабдықтардың сенімділігі мен тиімділігін болжау.**

Жаңа материалдарды қолдану нәтижесінде жабдықтар массасының төмендеу дәрежесін болжау әдісі емісі ұсынылады. Әдістеме жабдықтарда олардың жаңа материалдың енуімен барлық сызықтық мөлшерлері өзгертін элементтердің де, сондай-ақ олардың мөлшерлерінің тек бір бөлігі ғана өзгертін элементтердің бар болуын есептеуден құралады.

УДК 550.835. Ю.Н. ПАК, М.В. ПОНОМАРЕВА. **Көмірде күкірттің болуын рентгенорадиометрикалық әдіспен анықтау.**

Кальцийға талдау жолымен әрекеттік баға беру ретінде қолдануына негізделген, көмірдің күкіртке рентгенорадиометрикалық бақылауының әдістемесіне ұсыныс жасалып отыр. Градуалалған байланыстылық құрылған, олардың статистикалық сипаттамалары шамаланған.

ӘОЖ 550.838.08. В.С. ПОРТНОВ. **Барлау ұңғымаларындағы магниттік қабылдағыштықты өлшеу әдістемесі.**

Модельдердегі және бақылау-градуирлеу ұңғымаларындағы магниттік қабылдағыштық каротажының аспаптарын градуирлеу әдістемесі әзірленген. Ломоносов, Качар кен орындары рудаларының және олардың учаскелерінің магниттік қабылдағыштығының өзгеру заңдылықтары анықталған. Рудалардың құрамында жалпы темірдің және магнетитпен байланысты темірдің бар болуын анықтау қателіктері бағаланған.

ӘОЖ 658.512.22.011.56. С.С. КВОН, В.Ф. ДЕ-

taking into account mining geological conditions; developments of some recommendations have been given which provide their application in seams having roofs caved with difficulty.

UDC 669.168. M.Zh. TOLIMBEKOV, S.O. BAISANOV, S.T. GABDULLIN, L.V. OSIPOVA, T.D. TAKENOV. **Selecting Electric and Geometrical Parameters of RPO-60 MVA Ore-Smelting Furnace to Smelt Carbonic Ferromanganese.**

Optimal electric and geometrical parameters of an RPO-60 MVA open rectangular ore-smelting furnace to smelt carbonic ferromanganese have been stated. On the results of the investigations it has been recommended to fulfil the reconstruction of the furnace along with changing its geometrical parameters. The 22-nd stage of the transformer has been chosen as one corresponding for smelting carbonic ferromanganese.

UDC 620.179.14. L.A. DAKHNO, V.I. SHARY, A.A. DAKHNO. **Quality Control of Part Surface after Sulphocyanidation.**

An express method of non-destructive control of the process of chemical heat treatment of a part made of 65-G type steel has been developed. A nomograph to control the quality of sulphocyaniding parts in working conditions has been suggested.

UDC 621.744.362. A.Z. ISAGULOV. **Prospects of Developing Pulse Methods of Producing Castings.**

The results of investigating the process of compacting a moulding sand package together with the effect of surface hardening of moulds and the air-pulse method of mould forming have been given.

UDC 69.002.51.001.24. D.Z. MUKHAMEDYAROV. **Forecasting Equipment Reliability and Effectiveness on Design Stage.**

The methods of forecasting the degree of decreasing the equipment mass as a result of using new materials are suggested. The methods are built taking into account that in the equipment there are both elements in which all linear dimensions are changed when a new material is introduced and elements in which only a part of dimensions is changed.

UDC 550.835. Yu.N. PAK, M.V. PONOMAREVA. **Evaluating Sulphur Content in Coals by X-Ray Radiometric Method.**

The methods of the X-Ray radiometric monitoring of coal sulphur-content based on using an analytical calcium line as a response function are suggested. Calibration dependences have been constructed, their statistic characteristics have been calculated.

UDC 550.838.08. V.S. PORTNOV. **Methods of Changing Magnetic Susceptibility of Prospecting Hole.**

The methods of calibrating a logging instrument of magnetic susceptibility in models and control calibrating holes have been developed. The mechanism of changing magnetic susceptibility of ores of the Lomonosovsky and Kacharsky deposits and their sections has been stated.

UDC 658.512.22.011.56. S.S. KVON, V.F. DYE-

ДЕМИН, Д.В. СОН, Н.А. ОЛЕКСЕНКО. **Методические положения по анализу и синтезу технологических схем очистных работ.**

Исследованы методы и механизм создания математической модели формирования рациональных вариантов технологических схем очистных работ по глобальному критерию на основе анализа и синтеза элементов схем по локальным критериям.

УДК 22:622.221:622.271. Б.Т. БЕРКАЛИЕВ, Б.Ж. ХАМИМОЛДА, М.Б. БАЙЗБАЕВ. **Открыто-подземный способ разработки сложных рудных месторождений (на примере комплексного месторождения Ушкатын-III).**

Статья посвящена актуальной теме повышения производственного потенциала и разработки принципиальных научно обоснованных технологических решений в горной науке с использованием комбинированного открыто-подземного способа эксплуатации месторождений.

УДК 622.232.32. Ю.М. СМЕРНОВ. **Перспективные направления использования низкочастотных гидравлических импульсных систем.**

На основе анализа результатов комплексных аналитико-экспериментальных и внедренческих работ творческого коллектива КарГТУ совместно с организациями стран СНГ установлены области промышленности и научных исследований, в которых низкочастотные гидравлические импульсные системы значительно превосходят по технико-эксплуатационным показателям существующие системы.

УДК 539.3:534.1. Ж.Б. БАКИРОВ. **Закритические прогибы стержней при случайных изменениях параметров.**

Решается задача об определении вероятностных характеристик стрелы прогиба стержней после потери устойчивости, которая является функцией трех случайных величин: нагрузки, стрелы начального искривления оси, эксцентриситета нагрузки. Плотность распределения прогиба определена преобразованием плотностей вероятностей, и на этой основе получены формулы для оценки надежности, вычисления математического ожидания и дисперсии прогиба.

УДК 666.97. Д.О. БАЙДЖАНОВ, Е.Т. КУЧЕРБАЕВ, М.О. ИМАНОВ. **Реологические параметры цементного теста с комплексной добавкой.**

Рассмотрены влияние гидрофобизирующих добавок на цементное тесто, изменение реологических характеристик, способствующих повышению однородности бетонной смеси и её уплотняемости.

УДК 69.059.7(547). Ж.С. НУГУЖИНОВ. **Деформационная модель расчета железобетонных конструкций в стадии эксплуатации.**

Представлена деформационная модель расчета стержневых железобетонных конструкций на основе нелинейной диаграммы деформирования бетона в виде показательной функции, разработанной под научным руководством автора в институте КазМИРР при КарГТУ. Изложены методика и программа расчета конструкций. Приведен пример расчета балки из опытов. Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало хорошую сходимость предложенной модели расчета.

МИН, Д.В. СОН, Н.А. ОЛЕКСЕНКО. **Тазарту жұмыстарының технологиялық сұлбаларын талдау және синтездеу бойынша әдістемелік ережелер.**

Сұлбалар элементтерін жергілікті критерийлері бойынша талдау және синтездеу негізінде тазарту жұмыстарының технологиялық сұлбаларының ұтымды нұсқаларын ауқымды критерий бойынша қалыптастырудың математикалық моделін жасау әдістері мен механизмі зерттелген.

ӨЖ 22:622.221:622.271. Б.Т. БЕРКАЛИЕВ, Б.Ж. ХАМИМОЛДА, М.Б. БАЙЗБАЕВ. **Күрделі кен орындарын қазудың ашық-жерасты тәсілі (Ушкатын-III кешенді кен орнының мысалында).**

Мақала өндіріс потенциалын жоғарылату және кен орындарын пайдаланудың аралас ашық-жерасты тәсілін пайдалану арқылы тау-кен ғылымында принциптік ғылыми негізделген технологиялық шешімдерді әзірлеу сияқты өзекті тақырыпқа арналған.

ӨЖ 622.232.32. Ю.М. СМЕРНОВ. **Төмен жиілікті гидравликалық импульстік жүйелерді пайдаланудың перспективалық бағыттары.**

КарМТУ-дың шығармашылық ұжымының ТМД елдерінің ұйымдарымен бірлесіп жасаған кешенді аналитикалық-эксперименттік және ендіру жұмыстарының нәтижелерін талдау негізінде өнеркәсіп және ғылыми зерттеулер облыстары анықталған, оларда төмен жиілікті гидравликалық импульстік жүйелер қолданылып жүрген жүйелерден техникалық пайдалану көрсеткіштері бойынша едәуір артық болады.

ӨЖ 539.3:534.1. Ж.Б. БАКИРОВ. **Параметрлердің кездейсоқ өзгерістері кезінде өзекшелердің критерийден артық иілісі.**

Өзекшелер иілісі жебесінің тұрақтылықты жоғалтқаннан кейінгі ықтималдық сипаттамаларын анықтау туралы міндет шешіледі, ол үш кездейсоқ шаманың: жүктеменің, осьтің бастапқы қисаю жебесінің, жүктеме эксцентриситетінің функциясы болып табылады. Иілістің таралу тығыздығы ықтималдықтар тығыздығының түрленуімен анықталған және осы негізде сенімділікті бағалау, математикалық күтуді және иіліс дисперсиясын есептеп шығару үшін формулалар алынған.

ӨЖ 666.97. Д.Ө. БАЙЖАНОВ, Е.Т. КӨШЕРБАЕВ, М.О. ИМАНОВ. **Кешенді қоспасы бар цемент қамырының реологиялық параметрлері.**

Гидрофобты қоспалардың цемент қамырына әсер етуі қарастырылған. Бетон қоспасының біртектілігін арттыруға және оның тығыздалуына мүмкіндік туғызатын реологиялық сипаттамалардың өзгерісі қарастырылған.

ӨЖ 69.059.7 (547). Ж.С. НУГУЖИНОВ. **Пайдалану сатысында темірбетон конструкцияларын есептеудің деформациялық моделі.**

КарМТУ жанындағы ҚазКҚДИ институтында автордың ғылыми жетекшілік етуімен әзірленген, бетонды деформациялаудың сызықтық емес диаграммасы негізінде өзекшелі темір бетон конструкцияларын есептеудің көрсеткіш функция түріндегі деформациялық моделі ұсынылған. Конструкцияларды есептеу әдістемесі және бағдарламасы баяндалған. Тәжірибелерден арқалықты есептеу мысалы келтірілген. Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін салыстыру есептеудің ұсынылған моделінің жақсы ұқсастығын көрсетті.

MIN, D.V. SON, N.A. OLEKSENKO. **Methodics Statements of Analysing and Synthesizing Technological Schemes of Cleaning Jobs.**

The methods and mechanisms of creating a mathematical model of forming rational versions of technological schemes of cleaning jobs according to the global criterion on the basis of analysing and synthesizing the scheme elements on the local criteria have been investigated.

UDC 22:622.221:622.271. B.T. BERKALIYEV, B.Zh. KHAMIMOLDA, M.B. BAIZBAYEV. **Surface-Underground Mining Complex Ore Deposits (on Example of Ushkatyn-III Complex Deposit).**

The article is devoted to the topical subject of increasing a production potential and developing scientifically substantiated technological solutions of principle in the mining science using a combined surface-underground mining of deposits.

UDC 622.232.32. Yu.M. SMIRNOV. **Worth-While Trends of Using Low-Frequency Hydraulic Pulse Systems.**

On the basis of analysing results of complex analytical, experimental and introduction jobs of the body of scientists of the KarSTU together with organizations of the CIS countries the ranges of industry and scientific researches have been stated in which low-frequency hydraulic pulse systems exceed considerably existing systems in technical-and-economic indices.

UDC 539.3:534.1. Zh.B. BAKIROV. **Over Critical Deflections of Rods at Random Changes of Parameters.**

The problem is solved to determine probability characteristics of rod sags after the stability loss which is the function of three random quantities: load, a sag initial axis bending, load eccentricity. The deflection distribution density is determined by converting probability densities, and the formulae to evaluate the reliability, to calculate the expectation and the deflection dispersion have been obtained on this basis.

UDC 666.97. D.O. BAIDZHANOV, E.T. KUCHERBAYEV, M.O. IMANOV. **Rheological Parameters of Grout Having Complex Agent.**

Influencing a water-repelling agent on a grout and changing rheological characteristics facilitating the increase of the concrete mix homogeneity and its compactability have been considered.

UDC 69.059.7(547). Zh.S. NUGUZHINOV. **Deformation Model of Calculating Reinforced Concrete Constructions at Stage of Operation.**

A deformation model of calculating rod reinforced concrete constructions on the basis of a nonlinear diagram of concrete deforming is presented as an exponential function worked out under the scientific supervision of the author at the KazMPIRD institute in the KarSTU. The method and program of calculating constructions have been stated. An example of calculating a beam by experiments is given. Comparing the results of theoretical and experimental investigations has shown a good convergence of the calculation model suggested.

УДК 624.15. Е.С. УТЕНОВ. **Методика расчета осадок фундаментов с учетом подтопляемости грунтов оснований.**

Для определения осадок подтопляемых оснований фундаментов как вновь возводимых, так и существующих зданий предложен метод расчета, основанный на законах уплотнения реального грунта (с естественной влажностью и в водонасыщенном состоянии) под действием главных напряжений. Новая методика позволяет определять не только сверхнормативные осадки, вызванные подтоплением грунтов, но и устанавливать допустимую величину поднятия уровня грунтовых вод, обосновывая тем самым оптимальную глубину водопонижения.

УДК 666.943. А.Ш. ШАЙКЕЖАН. **Получение клинкера майенито-белитового состава.**

Для получения цементного клинкера электротермофосфорные шлаки испытаны в качестве сырья. Доказана принципиальная возможность обжига белитового клинкера с $KN=0,80$ на обжиговой машине конвейерного типа из известняково-шлаковой смеси. Выявлено, что для получения клинкера на конвейерной машине ОК-108 скорость тележек необходимо выдерживать 0,5-0,6 м/мин, а температура в зонах обжига должна составлять не ниже 1250°C. Сырьевую смесь необходимо составить таким образом, чтобы клинкер содержал мало майенита.

УДК 624.131. А.С. ЖАКУЛИН. **Расчёт осадок водонасыщенных оснований с учётом реологических свойств грунтов.**

Предложены методика и результаты определения параметров консолидации и ползучести водонасыщенных грунтов для расчёта осадок с учётом реологических свойств оснований.

УДК 625.971.3. А.Д. ОМАРОВ, С.М. БИТТИБАЕВ, Б.Р. КАНГОЖИН. **Особенности ремонта и восстановления бесстыкового пути.**

Приводятся соотношения для определения напряжений в сечениях рельса от действия температурных воздействий.

УДК 621.879.3. Р.А. КАБАШЕВ, М.С. КУЛБГИЛЬДИНОВ. **Влияние параметров одноковшовых экскаваторов на показатель их технического уровня.**

Создана система автоматизированной оценки технического уровня землеройных машин с использованием баз данных, установлены закономерности изменения технического уровня по комплексному показателю в зависимости от изменения технического уровня по единичным показателям.

УДК 622.647. И.И. ТАЗАБЕКОВ. **Разработка структурной схемы межприводного участка цепных конвейеров.**

На основе закона изменения относительного удлинения тягово-несущего органа на межприводном участке определена постановная времени тягово-несущего органа с учетом натяжения. Определены амплитудно-частотные и переходные характеристики. Разработана структурная схема межприводного участка с учетом параметров смежных регулируемых приводов упруговязких свойств в системы.

УДК 622.684.001.25. А.К. АКИМБЕКОВ, М.К. ИБАТОВ, Р.М. ПОПОВИЧЕНКО. **Эмпирические зависимости основных рабочих параметров термического нейтрализатора отработавших газов**

ӨЖ 624.15. Е.С. УТЕНОВ. **Негіздер топырақтарының жібігіштігін есепке алумен іргетастардың шөгін есептеу әдістемесі.**

Жаңадан тұрғызылатын да, сондай-ақ қолданылып жүрген ғимараттардың да іргетастарының жібітілетін негіздерінің тұнбаларын анықтау үшін басты кернеулердің әсер етуімен (табиғи ылғалды және сумен қаныққан күйдегі) нақты топырақты тығыздау заңдарына негізделген есептеу әдісі ұсынылған. Жаңа әдісте топырақтардың жібуімен тудырылған нормативтен артық шөгуді анықтауға ғана емес, сонымен бірге судың төмендеуінің оңтайлы тереңдігін негіздей отырып, топырақ суларының деңгейін көтерудің рауалы шамасын белгілеуге мүмкіндік береді.

ӨЖ 666.943. А.Ш. ШАЙКЕЖАН. **Майенит-белит құрамды клинкерді алу.**

Цементті клинкерді алу үшін электротермофосфор қождары шикізат ретінде сыналған. Конвейерлі типті күйдіру машинасында әтасқож қоспасынан тұратын $KN=0,80$ белит клинкерін күйдірудің принциптік мүмкіндігі дәлелденген. ОК-108 конвейер машинасында клинкерді алу үшін арбалардың жылдамдығын 0,5-0,6 м/мин ұстау қажет, ал күйдіру аймағындағы температура 1250°C төмен болмау керек. Шикізат қоспасын клинкердің құрамында аз майенит болатындай етіп құрастыру қажет.

ӨЖ 624.131. Ә.С. ЖАКУЛИН. **Топырақтардың реологиялық қасиеттерін есепке алумен сумен қаныққан негіздердің шөгін есептеу.**

Негіздердің реологиялық қасиеттерін есепке алумен шөгуді есептеу үшін сумен қаныққан топырақтардың сусымалылығын және нығаю параметрлерін анықтау әдістемесі мен нәтижелері ұсынылған.

ӨЖ 625.971.3. А.Д. ОМАРОВ, С.М. БИТТИБАЕВ, Б.Р. КАНГОЖИН. **Түйіспесіз жолды жөндеу мен қалпына келтірудің ерекшеліктері.**

Рельс қиылыстарындағы температуралық әсер етуден болатын кернеулерді анықтау үшін ара қатынастар келтірілді.

ӨЖ 621.879.3. Р.А. КАБАШЕВ, М.С. КУЛГЕЛДИНОВ. **Бір шөмісті экскаваторлар параметрлерінің олардың техникалық деңгейінің көрсеткішіне әсер етуі.**

Деректер базаларын пайдалану арқылы жер қазғыш машиналардың техникалық деңгейін автоматтандырылған бағалау жүйесі құрылған, жеке көрсеткіштер бойынша техникалық деңгейдің өзгеруінен байланысты кешенді көрсеткіш бойынша техникалық деңгей өзгерісінің заңдылықтары анықталған.

ӨЖ 622.647. И.И. ТАЗАБЕКОВ. **Тізбекті конвейерлердің жетек аралық учаскесінің құрылымдық сұлбасын әзірлеу.**

Тартымдық-көтергіш органды салыстырмалы ұзартуды өзгерту заңының негізінде жетек аралық учаскеде тартылуды есепке алумен тартымдық-көтергіш орган уақытының тұрақтысы анықталған. Амплитудалық-жиіліктік және ауыспалы сипаттамалары анықталған. Жүйенің серпімді-тұтқыр қасиеттерін, шектес реттелетін жетектердің параметрлерін есепке алумен жетек аралық учаскенің құрылымдық сұлбасы әзірленген.

ӨЖ 622.684.001.25. Ә.Қ. ӘКИМБЕКОВ, М.К. ИБАТОВ, Р.М. ПОПОВИЧЕНКО. **Дизельді қозғалғыштардың пайдаланылған газдарын термиялық бейтараптандырыштың негізгі жұмыстық параметрлерінің**

UDC 624.15. E.S. UTENOV. **Methods of Calculating Foundation Settlements Taking into Account Underfloodability of Base Soils.**

To determine settlements of underflooded foundation bases of both newly erected and existing buildings the calculation method based on the laws of compacting a real soil (having a natural moisture and in the water-saturated conditions) under the effect of principal stresses has been suggested. The new methods permit to determine not only supernormative settlements caused by underflooding soils, but to state the allowable value of raising the ground-water level substantiating the optimal depth of water lowering by this.

UDC 666.943. A.Sh. SHAIKEZHAN. **Obtaining Clinker of Mayenit-Bellit Composition.**

Electrothermophosphor slags have been tested as a raw material to obtain a concrete clinker. The principal possibility of burning clinker having $KN=0.80$ from a limestone-slag mixture on a conveyor-type burning machine has been proved. It has been revealed that to obtain clinker on an OK-108 conveyor machine it is necessary to keep the speed of carriages at 0.5-0.6 m/min, and the temperature in the burning zones should be not lower than 1250°C. It is necessary to compose the raw material mixture in such a way that the clinker contains a small amount of mayenit.

UDC 624.131. A.S. ZHAKULIN. **Calculating Settlements of Water-Saturated Bases Taking into Account Rheological Properties of Soils.**

The methods and results of determining parameters of consolidation and creepage of water-saturated soils to calculate a settlement taking into account rheological properties of bases have been suggested.

UDC 625.971.3. A.D. OMAROV, S.M. BITTIBAYEV, B.R. KANGOZHIN. **Peculiarities of Repairing and Restoring Continuous Welded Railway Track.**

The relations are given to determine stresses in rail sections under the influence of temperatures.

UDC 621.879.3. R.A. KABASHEV, M.S. KULGILDINOV. **Influencing Parameters of Shovels on Index of their Technical Level.**

A system of automated evaluating the technical level of earth-moving machines using data bases has been created; the objective laws of changing the technical level over a complex index depending on changing the technical level over single indices.

UDC 622.647. I.I. TAZABEKOV. **Developing Structural Scheme of Interdrive Section of Chain Conveyers.**

The time constant of a pulling-and-carrying element has been determined on the basis of the law of changing the elongation of the pulling-and-carrying element in an interdrive section taking into account the tension. Amplitude-frequency and transient responses have been determined. A structural scheme of an interdrive section has been worked out taking into account parameters of contiguous controlled drives of elastic and viscous properties of a system.

UDC 622.684.001.25. A.K. AKIMBEKOV, M.K. IBATOV, R.M. POPOVICHENKO. **Empirical Dependences of Basic Operation Parameters of Thermal Neutralizer of Exhaust Gases of Diesel Engines.**

дизельных двигателей.

На основе результатов стендовых исследований по термическому обезвреживанию газовых выбросов приводятся эмпирические зависимости основных рабочих параметров, свидетельствующие о потенциальных возможностях в области создания термических нейтрализаторов.

УДК 622.233.29. А.Т. ФИЛИМОНОВ, Н.А. ДАНИЯРОВ, А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ. **Система контроля погрузочных машин фирмы «Катерпиллар».**

Рассматриваются основные элементы функционирования компьютерной системы контроля погрузчиков CAT-980G, широко используемых на Жезказганских рудниках корпорации «Казакхмыс».

УДК 622.232.075. Т.Е. ЕРМЕКОВ, Е.А. ТОКЕНОВ, Т.У. САРСЕМБАЕВ, Г.М. ДЖУМАГУЛОВ. **Обоснование параметров и разработка конструкции гидродомкратной системы подачи очистных машин.**

Движение выемочной машины является возмущенным, поэтому динамика нагрузки привода исполнительного органа оказывает существенное влияние на технический ресурс. Эта задача решается увеличением жесткости системы подачи и скорости перемещения.

УДК 62-83.621.679. И.В. БРЕЙДО, В.В. КАВЕРИН, Л.И. ДАЙЧ. **Генераторные реттелиты регулируемых по скорости тиристорных электроприводов постоянного тока.**

Исследованы генераторные режимы регулируемых четырехквадрантных тиристорных электроприводов горных машин. Предложенный электропривод обеспечивает стабилизацию скорости и реализует режим регулируемого аварийного и технологического торможения.

УДК 621.343. В.М. СИН. **О тенденциях применения методов машинного проектирования в образовательных технологиях электроэнергетических специальностей.**

Рассмотрены вопросы повышения качества подготовки студентов электроэнергетических специальностей путем внедрения прогрессивных информационных технологий для моделирования и проектирования объектов и систем электроэнергетики.

УДК 621.311.016.628.12004.3. Т.А. САДЫКБЕК, Б.Т. ТАНАГУЗОВ. **Моделирование режимов системы электроснабжения магистрального трубопровода.**

Предложены математические модели режимов системы электроснабжения магистрального трубопровода для расчета переходных процессов, обусловленных электромеханической нагрузкой, позволяющие выполнять расчетно-экспериментальные исследования с учетом значительного количества доминирующих факторов, влияющих на переходные процессы.

эмпирикалық тәуелділіктері.

Газ шығарындыларын термиялық зарарсыздандыру бойынша стандарттёртулер нәтижелерінің негізінде термиялық бейтараптандырғыш арды құру облысындағы потенциал мүмкіндіктер туралы куәландыратын, негізгі жұмыстық параметрлердің эмпирикалық тәуелділіктері келтіріледі.

ӨЖ 622.233.29. А.Т. ФИЛИМОНОВ, Н.А. ДАНИЯРОВ, А.З. ЖАЛГАСБЕКОВ. **«Катерпиллар» фирмасының тиеу машиналарын бақылау жүйесі.**

«Қазақмыс» корпорациясының Жезқазған рудниктерінде кеңінен пайдаланылатын, CAT-980G тиегіштерін бақылаудың компьютерлік жүйесінің қызмет етуінің негізгі элементтері қарастырылады.

ӨЖ 622.232.075. Т.Е. ЕРМЕКОВ, Е.А. ТӨКЕНОВ, Т.У. САРСЕМБАЕВ, Ф.М. ЖҰМАҒҰЛОВ. **Тазарту машиналары берілісінің гидродомкраттық жүйесінің параметрлерін негіздеу және конструкциясын әзірлеу.**

Қазып алу машинасының қозғалысы ауытқыған болып табылады, сондықтан атқару органының жетегі жүктемесінің динамикасы техникалық ресурсқа елеулі әсер етеді. Бұл міндет беріліс жүйесінің қаттылығын және орын ауыстыру жылдамдығын арттырумен шешіледі.

ӨЖ 62-83.621.679. И.В. БРЕЙДО, В.В. КАВЕРИН, Л.И. ДАЙЧ. **Жылдамдығы бойынша реттелетін тұрақты токтың тиристорлық электр жетектерінің генераторлық режимдері.**

Тау-кен машиналарының реттелетін төрт квадрантты тиристорлық электр жетектерінің генераторлық режимдері зерттелген. Ұсынылған электр жетегі жылдамдықтың тұрақтануын қамтамасыз етеді және реттелетін апаттық және технологиялық тежелу режиміне асырады.

ӨЖ 621.343. В.М. СИН. **Электр энергетикасы мамандықтарының білім беру технологияларында машиналық жобалау әдістерін қолдануды дамыту бағыттары туралы.**

Электр энергетикасының объектілері мен жүйелерін модельдеу және жобалау үшін ілгері ақпараттық технологияларды ендіру жолымен электр энергетикасы мамандықтарын дайындау сапасын жоғарылату мәселелері қарастырылған.

ӨЖ 621.311.016.628.12004.3. Т.А. САДЫКБЕК, Б.Т. ТАНАГУЗОВ. **Магистральды құбырды электрмен жабдықтау жүйесінің режимдерін модельдеу.**

Өтпелі процестерге әсер ететін басым факторлардың едәуір санын есепке алумен есептік-эксперименттік зерттеулерді орындауға мүмкіндік беретін, электр механикалық жүктемен байланыстырылған өтпелі процестерді есептеу үшін магистральды құбырды электрмен жабдықтау жүйесі режимдерінің математикалық модельдері ұсынылған.

On the basis of test-bed investigations of thermal rendering gas effluents harmless empirical dependences of basic operation parameters are given which affirm potential possibilities in the field of creating thermal neutralizers.

UDC 622.233.29. A.T. FILIMONOV, N.A. DANILAROV, A.Z. ZHALGASBEKOV. **System of Controlling Loading Machines of Firm «Cutterpillar».**

The main elements of functioning a computer system of controlling CAT-980 G loaders widely used in the Zhezkazgan collieries of the corporation «Kazakhmys» are considered.

UDC 622.232.075. T.E. YERMEKOV, E.A. TOKENOV, T.U. SARSEMBAYEV, G.M. DZHUMAGULOV. **Substantiating Parameters and Developing Design of Hydraulic Jack System of Moving Cleaning Machines.**

The movement of an excavating machine is a disturbed one, so the actuator drive load dynamics influences substantially the service life. The problem is solved by increasing the movement system stiffness and the speed of moving.

UDC 62-83.621.679. I.V. BREYDO, V.V. KAVERIN, L.I. DAYCH. **Generating Regimes of D.C. Thyristor Drives Controlled in Speed.**

Generating regimes of controlled four-vane hydraulic motor thyristor drives of mining machines have been investigated. The drive suggested provides stabilizing the speed and realizes the regime of controlled emergency and production braking.

UDC 621.343. V.M. SIN. **About Tendencies of Using Methods of Computer-Aided Design in Educational Technologies of Electroengineering Specialities.**

The problems of raising the quality of training students of electroengineering specialities by introducing progressive information technologies to simulate and design objects and systems of the power industry have been considered.

UDC 621.311.016.628.12004.3. T.A. SADIKBEK, B.T. TANAGUZOV. **Simulating Regimes of System of Electric Power Supply of Main Pipe-Line.**

Mathematical models of regimes of a system of electric power supply of the main pipe-line have been suggested to calculate transient processes, caused by the electromechanical load, which allow to carry out experimental calculation investigations taking into account substantial amount of predominating factors influencing transient processes.

ХРОНИКА

К 80-летию профессора С.С.-Г. Квона

В августе 2003 года исполнилось 80 лет со дня рождения и 55 лет инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности доктора технических наук, профессора С.С.-Г. Квона.

С.С.-Г. Квон родился в 1923 г. в поселке Посыет Приморского края. После окончания Московского горного института в 1948 г. он был направлен в Карагандинский угольный бассейн, где проработал на различных инженерно-технических должностях на шахтах бассейна и в угольном тресте.

В 1957 г. С.С.-Г. Квон переходит на преподавательскую работу в Карагандинский горный, позднее политехнический институт, на кафедру РМПИ.

В 1960 г. он был командирован в институт «Карагандагипрошахт», где проработал до 1967 года, занимая должности главного инженера проектов, начальника горного отдела, заместителя главного инженера.

С.С.-Г. Квон является автором первых «Комплексных проектов реконструкции действующего шахтного фонда освоения и развития Карагандинского бассейна на период 1965-1985 годов». Эти проекты получили высокую оценку и были утверждены бывшим Госкомитетом по топливной промышленности при Госплане СССР как основное техническое направление в дальнейшем развитии Карагандинского бассейна. Осуществление основных решений «Комплексных проектов ...» сыграло большую роль в эффективном освоении Карагандинского бассейна и достижении шахтами высоких технико-экономических показателей. По заданию бывшего ПО «Карагандауголь» под руководством С.С.-Г. Квона выполнена работа «Научно-технические основы комплексного и оптимального развития Карагандинского бассейна на период до 2005г.».

В 1967 г. С.С.-Г. Квон возвращается на научно-педагогическую работу в Карагандинский политехнический институт, ныне КарГТУ.

В 1965 г. он успешно защитил кандидатскую, а в 1971 г. – докторскую диссертации. В 1973 году ему присвоено ученое звание профессора.

С.С.-Г. Квон являлся организатором и научным руководителем отраслевых лабораторий при КарГТУ (кафедра РМПИ) Минхимпрома СССР, Минвуза Казахской ССР, ПО «Карагандауголь».

Научные работы С.С.-Г. Квона характеризуются актуальностью, новизной, практической ценностью и посвящены основным проблемам подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых:

- совершенствованию способов вскрытия и подготовки шахтных полей, методам анализа и синтеза технологических схем угольных шахт, оптимизации их параметров и проектированию угольных шахт;

- совершенствованию технологических схем и средств механизации очистных работ, физико-химическому упрочнению горных пород и закладке выработанных пространств;

- реструктуризации и диверсификации шахтного фонда Карагандинского бассейна;

- автоматизированным системам проектирования горных предприятий.

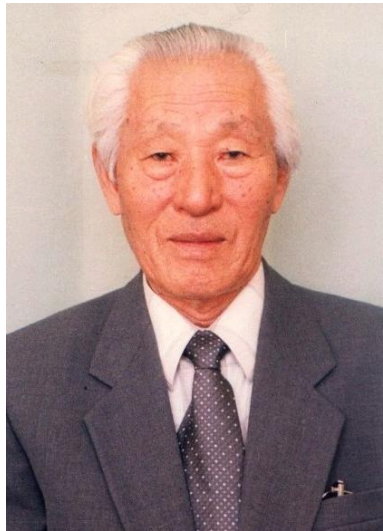
Эти исследования внесли значительный вклад в горную науку и обогатили научные основы проектирования, вскрытия и подготовки шахтных полей новыми, прогрессивными направлениями.

В Карагандинском бассейне достигнуты значительные успехи в концентрации производства, реализации принципа «шахта-лава», совершенствовании способов вскрытия и подготовки шахтных полей, систем разработки, увеличении нагрузки на выемочный участок и др. В разработке и внедрении этих мероприятий и достижении высоких показателей значительную роль сыграли научные исследования, практические проработки и рекомендации С.С.-Г. Квона.

Им опубликовано более 200 научных статей, 17 монографий, получено 65 авторских свидетельств на изобретения.

Результаты научных исследований профессор С.С.-Г. Квон широко использует при подготовке специалистов горного профиля. Под его научным руководством подготовлены и защищены 29 диссертаций, в том числе 5 докторских.

С.С.-Г. Квон принимает активное участие в общественной жизни. Он является членом диссертационных Советов по защите докторских и кандидатских диссертаций, членом Учебно-методического Совета по горному образованию



Министерства образования и науки Республики Казахстан, членом редколлегии горного журнала «Известия вузов». Имеет правительственные и отраслевые награды, лауреат премии Совмина Казахской ССР и Минвуза СССР.

Его высокая эрудиция, педагогическое умение, профессионализм снискали глубокое уважение коллег и студентов.

Ректорат, деканат горного факультета и редакция журнала желают уважаемому юбиляру крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА
2003. №3. 95 с.

№ 1351-ж тіркеу куәлігін 2000 жылдың 4 шілдесінде Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігі берген

Регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 года выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Бас редактор — Главный редактор

Г.Г. Пивень

Жауапты редактор — Ответственный редактор

А.З. Исагулов

Әдеби редакторлар — Литературные редакторы

Т.В. Рустемова, Р.С. Искакова, Б.А. Асылбекова, Қ.Ә. Үйсін

Аудармашылар — Переводчики

А.С. Қордабаева, Л.В. Евдокимова

Компьютерлік ажарлау және беттеу — Компьютерный дизайн и верстка

М.М. Утебаев

Басуға қол қойылды	20.08.2003	Подписано к печати
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	14,8	Объем, п.л.
Таралымы	500	Тираж
Тапсырыс	2769	Заказ
Индексі	75857	Индекс
Келісімді баға		Цена договорная

Редакцияның мекен-жайы — Адрес редакции

470075, г. Караганда, бульвар Мира, 56. Издательство КарГТУ