

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

✻ 4 (21)
2005

2000 жылдан бастап шығарылады
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года
Периодичность 4 раза в год

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

МЕНШІК ИЕСІ

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

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

СОБСТВЕННИК

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

Главный редактор

Г.Г. Пивень

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

Редакционный совет

Пивень Г.Г.

ректор, академик МАН ВШ, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф. (председатель)

Акимбеков А.К.

проректор по научной работе и международным связям, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя)

Ахметжанов Б.А.

зав. кафедрой экономики предприятия, академик МЭАЕ, д-р экон. наук, проф.

Байджанов Д.О.

декан инженерно-строительного факультета, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

Бакиров Ж.Б.

зав. кафедрой прикладной механики, д-р техн. наук, проф.

Брейдо И.В.

зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, академик МАИН, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.

Гращенко Н.Ф.

профессор кафедры рудничной аэрологии и охраны труда, академик МАН ЭБ, д-р техн. наук

Ермеков М.А.

профессор кафедры геофизики и геологии, академик НАН РК, д-р геол.-минер. наук

Жадрасинов Н.Т.

зав. кафедрой теоретической механики, академик МАИН, чл.-кор. НИА РК, д-р техн. наук, проф.

Жумасултанов А.Ж.

профессор кафедры социально-гуманитарных дисциплин, д-р ист. наук

Исагулов А.З.

первый проректор, академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.

Квон С.С.

профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, д-р техн. наук

Климов Ю.И.

зав. кафедрой горных машин и оборудования, академик МАИН, чл.-кор. АЕН РК, д-р техн. наук, проф.

Колесникова Л.И.

зав. кафедрой экономической теории, канд. экон. наук, доц.

Малыбаев С.К.

зав. кафедрой промышленного транспорта, д-р техн. наук, проф.

Низаметдинов Ф.К.

зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, д-р техн. наук, проф.

Нургужин М.Р.

руководитель Аппарата МОН РК, академик МАИН, чл.-кор. АН ВШК, д-р техн. наук, проф.

Пак Ю.Н.

проректор по учебно-методической работе, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф. (ответственный за выпуск)

Палев П.П.

профессор кафедры теоретической механики, д-р техн. наук

Сагинов А.С.

академик НАН РК, академик АЕН РК, д-р техн. наук, проф.

Смирнов Ю.М.

зав. кафедрой физики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

Тутанов С.К.

зав. кафедрой высшей математики, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

Фешин Б.Н.

декан электромеханического факультета, академик МАИН, д-р техн. наук, проф. (ответственный секретарь)

Хамимолда Б.Ж.

проректор по воспитательной работе, чл.-кор. АМР РК, д-р техн. наук, проф.

Яворский В.В.

зав. кафедрой автоматизированных информационных систем, академик МАИН, д-р техн. наук, проф.

СОДЕРЖАНИЕ

АКАДЕМИК А.С. САГИНОВ — УЧЕНЫЙ И СОЗИДАТЕЛЬ	4
РАЗДЕЛ 1. ГЕОТЕХНОЛОГИИ	9
А.С. САГИНОВ, Л.И. ШУЛЯТЬЕВА. Интегральная оценка технико-технологического потенциала угольных шахт	9
Б.Т. БЕРКАЛИЕВ, М.Б. БАИЗБАЕВ. Исследование взаимодействия подземных техногенных пространств с массивом горных пород.....	12
К.К. КУШЕКОВ, Д.В. СОН. Анализ и синтез технологических схем вскрытия и подготовки оставленных на верхних горизонтах запасов.....	14
А.В. ЖИВАЕВА. К вопросу о прогреве вмещающих пород при подземном сжигании угля.....	20
А.В. САДЧИКОВ. Определение оптимального режима каптажа газа из газодобывающих скважин угольной шахты	21
РАЗДЕЛ 2. БЕЗОПАСНОСТЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЭКОЛОГИЯ	23
А.А. ЖАНБАТЫРОВ. Мониторинг, оценка уровня и прогноз загрязнения атмосферы на территории рудника Ушкатын-III.....	23
А.К. АКИМБЕКОВ, Т.В. ДЕМИНА, В.Ф. ДЕМИН. Выбор оптимальных параметров работы высокопроизводительных очистных забоев с обеспечением безопасного выполнения производственных процессов.....	26
Н.Ф. ГРАЩЕНКОВ, Ж.Г. ЛЕВИЦКИЙ. Динамика скопления метана в малых куполах подготовительных выработок	28
Н.К. ЦОЙ. Оценка влияния параметров выбросов вредных веществ на значение максимальной приземной концентрации	30
РАЗДЕЛ 3. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ	32
В.И. ИЛЬКУН, М.И. СИТКИН. О системном подходе к проектированию деталей машин.....	32
Л.А. ДАХНО, А.З. ИСАГУЛОВ, К.И. ЖАРКЕШОВ, А.Н. КЛИМУШКИН, А.А. СМОЛЬКИН. Качество поверхности листового металлопроката.....	34
А.Б. НАЙЗАБЕКОВ, С.Н. ЛЕЖНЕВ, К.А. НОГАЕВ, С.Ю. ГОЛУМБОВСКАЯ. Роль конструктивных параметров кузнечных инструментов при реализации поперечного сдвига заготовок	37
Т.И. ЧЕРНЫШОВА, В.И. ГОВОРОВ. Об экспериментальной методике определения температуры самовоспламенения аэрозвесей пылеугольных топлив.....	39
К.Р. КУРБАНОВ, В.Д. КУЛИКОВ, В.П. МАКАРОВ. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в щелочно-галлоидных кристаллах и оксогалогенидах висмута и сурьмы при возбуждении рентгеновским излучением	41
РАЗДЕЛ 4. СТРОИТЕЛЬСТВО. ТРАНСПОРТ	44
А.З. ИСАГУЛОВ, В.Ю. КУЛИКОВ, С.В. ГАВРИЛОВ, Г.Б. АЛЬСЕНОВА. Оптимизация режима регенерации шамотных кирпичей.....	44
А.С. ЖАКУЛИН. Методы определения параметров деформируемости грунта на компрессионном приборе.....	46
А.Н. ИМАНОВ, Э.Т. АЛДОЖАНОВА, Д.О. БАЙДЖАНОВ. Оптимизация состава бетона для гиперпрессования стеновых материалов	47
А.Е. РАЗАХОВ. Определение значимости факторов, влияющих на безопасность дорожного движения водителей.....	49
К.Б. КЫЗЫРОВ, Г.Г. ТАТКЕЕВА. К вопросу расчета параметров средств виброизоляции при различных кинематических возбуждениях рабочего места на подземных транспортных машинах.....	51
Георг.Г. ПИВЕНЬ. Влияние режимов работы на долговечность дизельных двигателей	52
РАЗДЕЛ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ	57
В.В. ЯВОРСКИЙ, Л.К. СУЛЕЙМЕНОВА. Расчетные методы определения пассажиропотоков.....	57

Р.А. ТОРГАЕВ. К оценкам влияния параметров транспортной системы на эффективность затрат гибкой производственной системы.....	59
РАЗДЕЛ 6. ЭНЕРГЕТИКА. АВТОМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ	61
Л.А. АВДЕЕВ, Ю.Н. БЫРЬКА, Д.С. ТАРАСЕНКО, В.Н. ШАТОХИН. Определение концентрации СО и Н ₂ по показаниям датчиков с перекрестной чувствительностью при контроле признаков эндогенных пожаров.....	61
Г.А. ЭМ. К вопросу о выборе генераторных режимов работы четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока	63
РАЗДЕЛ 7. ВЫСШАЯ ШКОЛА	66
Г.Т. ДАНЕНОВА. Применение программного комплекса ANSYS в решении задач сопротивления материалов.....	66
Н.Т. ЖАДРАСИНОВ, А.Г. ЗАЙКИНА. Методы решения задач оптимизации строительной механики.....	69
А.К. КОЖАХМЕТОВА, У.Л. УМБЕТАЛИЕВА, Т.С. ФИЛИППОВА. Анализ и оценка самостоятельной работы студентов по теоретической механике.....	71
РЕЗЮМЕ	74
Правила оформления и представления статей	78

АКАДЕМИК А.С. САГИНОВ — УЧЕНЫЙ И СОЗИДАТЕЛЬ

Абылкас Сагинович Сагинов родился 27 декабря 1915 г. в с. Баян-Аул Павлодарской области. Детские и юношеские годы были проведены в Баян-Ауле, Каркаралинске, Комиссаровке, Коунрадском и Успенском рудниках, на Спасском заводе — в самом центре Казахстана.

Абылкас Сагинович с ноября 1932г. по август 1933г. учился сначала в Карагандинском горном техникуме, а затем в Днепропетровском горном институте (с 1933 по 1939 гг.). Это было время формирования базы знаний, характера и потенциальных возможностей будущего инженера, приобретения верных друзей и товарищей.

Период инженерной деятельности (1939-1951гг.) Абылкаса Сагиновича совпал с наиболее тяжелыми годами страны и республики. Работа на угольных предприятиях Караганды в предвоенные, военные и первые послевоенные годы в условиях жесткой сталинской системы закалила молодого инженера, последовательно прошедшего путь от начальника добычного участка до руководителя шахт, разрезов и службы Госгортехнадзора. Участие в принятии новых технических решений по подземной разработке угольных месторождений Караганды, во внедрении новой техники (угольного комбайна Макарова С.С., первых вариантов механизированных крепей), общение с опытными инженерами-горняками, руководителями шахт, разрезов, трестов, комбинатов, министерств, партийными и советскими работниками способствовали становлению Абылкаса Сагиновича как инициативного, технически грамотного инженера и ученого, что было подтверждено успешной защитой кандидатской диссертации в 1951 году.

В сентябре 1951 года Сагинов А.С. был назначен директором Карагандинского филиала Всесоюзного научно-исследовательского угольного института (ВУГИ), преобразованного под его руководством в КНИУИ. В этот период проявился яркий талант А.С. Сагинова как крупного организатора и ученого, сформировавшего коллектив исследователей, способных решать сложные проблемы, возникшие перед шахтерами третьей угольной кочегарки. Под руководством Сагинова А.С. в КНИУИ успешно были решены крупные проблемы, связанные с разработкой мощных угольных пластов. При активном участии А.Сагинова были разработаны принципиально новые и эффективные методы дегазации, получившие в последующем широкое применение в других угольных бассейнах.

В марте 1955 года руководство Карагандинской области рекомендовало Сагинова А.С. на должность ректора Карагандинского горного института. В этой должности ярко раскрылись его организаторский талант и незаурядные научные способности. Возглавив институт, профессорско-преподавательский коллектив которого состоял всего-навсего из 28 человек, в числе которых были только шесть кандидатов наук, А.С. Сагинов пришел к выводу, что

успешное развитие института будет зависеть от двух основных факторов — состояния учебно-материальной базы и научно-педагогической квалификации преподавателей. А.С. Сагинов добился закладки и ускоренного строительства крупного учебно-лабораторного корпуса — ныне главного корпуса института. Вскоре началось возведение и ряда других учебных корпусов, общежитий, столовой. Развитие учебно-материальной базы позволило институту увеличить прием студентов на первый курс с 200 человек до 2500, открыть факультеты по вечерней и заочной формам обучения и довести контингент студентов до тринадцати тысяч человек. Карагандинский политехнический институт (КарПТИ) вошел в число крупных вузов не только Казахстана, но и республик Средней Азии.

Первоочередное внимание он уделял вопросам подготовки научно-педагогических кадров. Он создал исключительно благоприятные условия для творческого роста преподавателей и сотрудников института. С первых дней работы на посту ректора он поставил перед собой задачу готовить преподавательские кадры из числа выпускников, окончивших ведущие вузы Москвы, Ленинграда, Киева, Новосибирска, Свердловска, а также КарПТИ, направляя их в целевую аспирантуру. После окончания аспирантуры и успешной защиты диссертаций они возвращались на преподавательскую работу.

В 1967 г. А.С. Сагинов был удостоен высокой оценки Ученого совета Московского горного института, который единогласно присудил Абылкасу Сагиновичу ученую степень доктора технических наук.

В 1966 г. под руководством А.С. Сагинова был создан объединенный Ученый совет политехнического института по защите кандидатских диссертаций по горным и металлургическим специальностям. Впоследствии он был преобразован в совет по защите докторских диссертаций по горным специальностям, что подтвердило возросший научный потенциал региона. За период работы А.С. Сагинова ректором защитили докторские и кандидатские диссертации по разным отраслям науки свыше четырехсот сотрудников.

А.С. Сагинов проводил целенаправленную работу с учеными советами институтов России, Украины, Казахстана. Многие кандидаты наук — доценты — проходили докторантуру в академических институтах.

Неоценимы заслуги А. Сагинова и политехнического института в развитии высшего технического образования в различных регионах Казахстана. В разные годы были открыты филиалы КарПТИ в Темиртау, Балхаше, Жезказгане, Кокшетау, Петропавловске. Ныне на базе филиалов функционируют самостоятельные высшие учебные заведения.

Усилиями коллектива вуза и его руководящего состава горный институт превратился в крупнейший в республике политехнический многопрофильный институт, где подготовка инженеров проводилась по 24 специальностям и подготовлены десятки тысяч инженеров. Развивались научные исследования по различным направлениям. Поэтому вполне заслуженно Указом Президиума Верховного Совета СССР от 18.02.76 г. Карагандинский политехнический институт за подготовку специалистов для народного хозяйства и развитие научных исследований был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

За период научно-педагогической деятельности, бесценно находясь на посту ректора и заведующего кафедрой, А.С. Сагинов внес значительный вклад в технический прогресс и развитие горнодобывающих отраслей промышленности Казахстана, в подготовку специалистов высшей квалификации. Им создана научная школа по технологии и комплексной механизации разработки месторождений полезных ископаемых, получившая широкое признание как в республике, так и в ближнем и дальнем зарубежье.

Оценивая работу в политехническом институте, Абылкас Сагинович вспоминает: «Когда я в 1955г. принял институт, было всего одно здание. Сегодня же комплекс зданий КарГТУ занимает целый квартал. Учебные лаборатории оборудованы по последнему слову техники. Нынешний КарГТУ — это многопрофильный учебно-образовательный и научный комплекс для качественной подготовки специалистов и гармоничного развития личности».

Во многом это удалось благодаря той солидной базе, которая закладывалась А. Сагиновым на протяжении 33 лет руководства. Поистине неоценим вклад проф. А.С. Сагинова в становление и развитие Карагандинского политехнического института.

За работу по механике горных пород А.С. Сагину в составе авторского коллектива в 1974 году была присуждена Государственная премия Казахской ССР в области науки и техники. В 1987 году ему присуждена Государственная премия Казахской ССР в области науки и техники как руководителю работы «Разработка теории и создание гидравлических машин ударного действия для горнодобывающих и строительных отраслей промышленности Казахской ССР».

В октябре 1991г. Правительством и Президиумом НАН РК были приняты постановления об открытии в Караганде Института проблем комплексного освоения недр, призванного решать проблемы изучения недр, добычи и переработки минерального сырья и углеводородов, проведения экономического мониторинга горнодобывающей промышленности Казахстана. Значительный вклад внес Абылкас Сагинович в становление и развитие ИПКОН в качестве его директора. Сегодня здесь успешно развиваются научно-прикладные исследования в области геотехнологических методов добычи и использования шахтного метана, являющихся развитием решения проблемы дегазации угольных пластов. По данному научному направлению А.Сагиновым получен ряд патентов на изобретения по способам дегазации и добычи метана. ИПКОН выполняет комплексные геолого-технологические исследования по разведке запасов благородных и редких металлов Центрального Казахстана. В рамках реализации государственной программы «Развитие космической деятельности в Республике Казахстан» ведутся исследования по космическому мониторингу районов интенсивного развития горнодобывающей промышленности Центрального Казахстана.

А.С.Сагинов на протяжении длительного времени успешно совмещает научно-педагогическую и организационно-методическую работу с многогранной общественной деятельностью. В течение 30 лет — член Карагандинского обкома партии, депутат Верховного Совета СССР (1966-1970 гг.), депутат местных Советов разного уровня, член редколлегии многих научных журналов, член областного Совета ветеранов. В 1993г. решением Карагандинского городского совета народных депутатов за большой вклад в области науки и техники, развитие Карагандинского угольного бассейна и подготовку кадров для народного хозяйства А.С.Сагину присвоено звание «Почетный гражданин города Караганды».

Абылкас Сагинович в течение многих лет возглавлял Совет ректоров высших учебных заведений г. Караганды, Карагандинской и Жезказганской областей. Каждое заседание такого Совета тщательно готовилось с участием широкого круга должностных лиц, причастных к научно-педагогической работе. Анализ, обобщение и распространение передового опыта — непеременные атрибуты стиля работы ректора А. Сагинова. Постоянно Абылкас Сагинович подчеркивал: «Все хорошее, что достигнуто в одном учебном заведении, должно находить дорогу в другие вузы. Нам надо учиться друг у друга».

За большие заслуги в развитии высшего образования и подготовке квалифицированных специалистов для народного хозяйства А.С. Сагину в 1971 году присвоено звание Героя Социалистического Труда. Указом Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева в декабре 1995г. А. Сагину присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники Республики Казахстан». Среди наград А. Сагинова — два ордена Ленина, ордена Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени, Дружбы народов, орден «Парасат», многочисленные медали, грамоты, дипломы.

Как и прежде, Абылкас Сагинович продолжает много и результативно трудиться. Жажда жизни дает ему силы и время на науку, встречи с молодежью и выпускниками, руководителями вузов, предприятий и ветеранами.

Новый век делает первые шаги. Но в свои 90 лет Абылкас Сагинович не остается в прошлом. Он идет в ногу со временем и мыслит категориями сегодняшнего дня. И дай ему

Бог здоровья, благополучия, чтобы наш аксакал, мэтр отечественного высшего образования и науки и дальше радовал и заряжал всех нас энергией творчества и жизнелюбия.

Г.Г. Пивень, ректор КарГТУ,
доктор технических наук, профессор

УДК 622.272:622.06

**А.С. САГИНОВ
Л.И. ШУЛЯТЬЕВА**

Интегральная оценка технико-технологического потенциала угольных шахт

Технологические схемы вскрытия, подготовки и отработки запасов, технологические схемы производственных процессов и применяемые технические средства, нейтрализующие негативное влияние горно-геологических условий разработки месторождений, обуславливают необходимость показателя оценки технико-технологического потенциала шахты. Принципиальное отличие добывающих предприятий состоит в том, что условия залегания запасов — важнейший фактор, оказывающий влияние на эффективность применения тех или иных технико-технологических решений. При рассмотрении шахты как сложной системы взаимодействия параметров состояния среды, применяемых к ней технологических разработок и технических средств оценка их совместного влияния позволяет дать объективную характеристику состояния использования потенциальных возможностей шахты.

На основе построения математической модели формируется матричная модель относительных отклонений показателей оцениваемого проекта от показателей проекта, принятого в качестве проекта-эталона. Интегральный показатель технико-экономической эффективности проекта шахты представляет собой суммарную величину среднеквадратичных отклонений по всем важным дифференцированным

технико-экономическим показателям от их эталонных значений. Чем меньше это суммарное отклонение, тем в меньшей степени реальный проект уступает условному эталонному варианту, то есть тем эффективней данный проект [1]. Сложность применения такого критерия оценки состоит в том, что принятие того или иного технологического решения определяется, в первую очередь, горно-геологическими условиями залегания пластов проектируемой шахты, вследствие чего поиск проекта-эталона достаточно сложен. Согласно методике, разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского, оценка технического уровня шахт производится путём сопоставления единичных и базовых показателей в определении горно-геологических условий и вычисления комплексного показателя оценки ТУ шахты. Были обоснованы уровни этих единичных показателей и их коэффициенты весомости по основным производственным процессам, которые рассматриваются с точки зрения их влияния на трудоёмкость подземной добычи. Чем больший удельный вес в общей трудоёмкости имеет производственный процесс, тем большую важность он имеет. В данном случае разработка показателя основана на применении экспертных оценок, следовательно, не лишена субъективности. Показатель

техничко-технологического потенциала шахт должен отражать динамику формирования принятых к оценке параметров технологических процессов и подсистем шахты в зависимости от применяемых технологических схем вскрытия, подготовки и систем разработки пластов, учитывая взаимное влияние этих параметров.

Оценка технико-технологического потенциала шахты по всем исследуемым технологическим процессам осуществляется на основе определения интегрального показателя, характеризующего совокупное отклонение параметров технологических процессов шахты в конкретных горно-геологических условиях от максимально возможных их значений в этих же условиях, то есть фактическое состояние сравнивается с технически и технологически возможным. В работе [2] разработаны моделирующие алгоритмы расчета максимально возможных значений параметров технологических процессов подсистем шахты на основе построения пооперационных моделей их развития во времени и пространстве с учётом влияния основных горно-геологических, горно-технических и организационных факторов, которые приняты в дальнейшем в качестве оценочных характеристик.

Исследование подсистем шахты, состоящих из совокупности технологических процессов множества её объектов, обуславливает необходимость классификации параметров, которые характеризуют как деятельность этих объектов и протекающих в них процессов, подсистем, так и системы «шахта» в целом. Важнейшим классификационным признаком, характеризующим обозначенную таким образом иерархию (операция $\Rightarrow$ технологический процесс $\Rightarrow$ подсистема $\Rightarrow$ система), является прямое либо косвенное влияние на их состояние того или иного параметра. Согласно этому осуществляется формирование параметров составляющих представленной иерархии: параметры операции $\Rightarrow$ параметры технологического процесса $\Rightarrow$ параметры подсистемы $\Rightarrow$ параметры системы.

Множество вариантов ($\bar{N}\delta\hat{a}$) развития горных работ на шахте может быть представлено как функция числа вариантов: возможные совместимые комбинации из множества решений по вскрытию шахтного поля (X_1), способов подготовки (X_2) и систем разработки (X_3) выемочного поля, схем вентиляции (X_4), транспорта (X_5), дегазации (X_6), управления кровлей (X_7), то есть

$$\bar{N}\delta\hat{a} = \{X_1, X_2, \dots, X_7\}. \quad (1)$$

Вторая большая система — технологические процессы подсистем шахты $\bar{I}\delta\hat{a}$, которые могут быть представлены как совокупность вариантов возможных совместимых комбинаций функционирования подсистем шахты, составляемых из множества количественных и качественных параметров очистных работ (Y_1), горно-подготовительных работ (Y_2), поддержания горных выработок (Y_3), монтажа-демонтажа оборудования (Y_4), дегазации (Y_5), способа

управления кровлей (Y_6) внутришахтного транспорта (Y_7), вентиляции горных выработок (Y_8), подъёма по стволам (Y_9), техкомплекса поверхности (Y_{10}):

$$\bar{I}\delta\hat{a} = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}\}. \quad (2)$$

Классификация параметров, формирующих технологическую схему шахты, в виде матрицы вариантов $\bar{N}\bar{I}$ в соответствии с представленной иерархией приведена на рисунке.

Однако в настоящее время привлечение капитальных вложений может рассматриваться как единственный для сохранения объёмов производства шаг, что подтверждается низкой эффективностью таких решений. В связи с этим на современном этапе развития отрасли проблема рационального использования георесурсов и прилагаемых к ним технико-технологических решений, обеспечивающих максимальный экономический результат, особенно актуальна.

Интегральный показатель технико-технологического потенциала определяется на основе оценки значимости влияния параметров технологических процессов подсистем на годовую производственную мощность шахты. Факторная оценка их удельного влияния основывается на расчёте коэффициента её эластичности, который показывает, на сколько процентов изменится объём производства при изменении параметра технологического процесса на 1 %,

$$\hat{E}_y = \frac{A'_{\bar{a}\bar{a}}(\bar{\delta})}{A_{\bar{a}\bar{a}}(\bar{\delta})}, \quad (3)$$

где $A_{\bar{a}\bar{a}\bar{o}\bar{d}}$ — годовая производственная мощность шахты по варианту её развития, рассчитанная на основе моделирования и совместной оптимизации параметров технологических процессов, тонн;
 $A'_{\bar{a}\bar{a}\bar{o}\bar{d}}$ — производная функции годовой производственной мощности шахты для фактора (параметра) x .

Предлагается использовать интегральный показатель, обобщающий влияние параметров всех подсистем шахты в соответствии со степенью их значимости при обосновании объёма производства. Он характеризует величину процентного отклонения объёмов производства, в данном случае годового объёма добычи по шахте при отклонении параметра технологического процесса от величины, представляющей собой максимально (минимально) возможную при реализации варианта развития угледобычи, то есть

$$E_{ei\bar{o}} = \frac{100}{k} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \frac{x_{kj}^{\bar{o}}}{x_{kj}^{\bar{\delta}}} \int_{x_k^{\bar{\delta}}}^{x_k^{\bar{o}}} \frac{A'_{\bar{a}\bar{a}}(\bar{\delta}_{kj})}{A_{\bar{a}\bar{a}}(\bar{\delta}_{kj})} dx, \quad (4)$$

где j — индекс подсистемы шахты, $j=1, 2, \dots, J$;
 k — индекс параметра подсистемы, $k=1, 2, \dots, K$;
 $x_{kj}^{\bar{o}}$ — значение k -го параметра j -й подсистемы по сравниваемому варианту;
 $x_{kj}^{\bar{\delta}}$ — значение k -го параметра j -й подсистемы,



Схема классификации параметров, формирующих технологическую схему шахты

Расчёт интегрального показателя технико-технологического потенциала подсистем позволяет осуществить оценку его влияния на формирование годовой производственной мощности шахты. Чем выше значение показателя, тем эффективность использования возможностей применяемых технических средств и технологических решений выше. Суммарный интегральный показатель по шахте характеризует состояние использования потенциала шахты в целом, учитывая при этом неодинаковость влияния принятых к оценке параметров на годовую производственную мощность шахты.

Последовательность реализации алгоритма интегральной оценки состоит в сравнении технико-технологических параметров технологических процессов и подсистем шахты по анализируемому варианту с параметрами расчётного варианта, согласно которому достигается максимальный объём производства.

Шаги алгоритма определены следующим образом:

- формируется матрица параметров технологических процессов и подсистем шахты по оцениваемому варианту

$$[\tilde{O}^{\hat{o}}] = \left[\begin{array}{c} \tilde{O}_{11}^{\hat{o}} \tilde{O}_{12}^{\hat{o}} \dots \tilde{O}_{1j}^{\hat{o}} \dots x_{1J}^{\hat{o}} \\ \tilde{O}_{21}^{\hat{o}} \tilde{O}_{22}^{\hat{o}} \dots \tilde{O}_{2j}^{\hat{o}} \dots x_{2J}^{\hat{o}} \\ \vdots \\ \tilde{O}_{k1}^{\hat{o}} \tilde{O}_{k2}^{\hat{o}} \dots \tilde{O}_{kj}^{\hat{o}} \dots x_{kJ}^{\hat{o}} \\ \vdots \\ \tilde{O}_{K1}^{\hat{o}} \tilde{O}_{K2}^{\hat{o}} \dots \tilde{O}_{Kj}^{\hat{o}} \dots x_{KJ}^{\hat{o}} \end{array} \right]; \quad (5)$$

- согласно горно-геологическим, горно-техническим и организационным условиям оцениваемого варианта, с использованием технико-технологической модели шахты рассчитываются параметры технологических процессов и подсистем шахты по оцениваемому варианту, формируется матрица

[illegible]

- устанавливается зависимость её годовой производственной мощности от этих параметров;

- для оценки значимости каждого параметра определяется коэффициент его эластичности

$$\hat{E}_{j_{kj}} = \frac{\dot{A}'_{\tilde{a}\tilde{a}}(\tilde{o}_{kj})}{\dot{A}_{\tilde{a}\tilde{a}}(\tilde{o}_{kj})}; \quad (7)$$

- рассчитывается интегральный показатель технико-технологического потенциала шахты по предлагаемому варианту согласно (4).

Оценка технико-технологического потенциала по объектам (звеньям) технологического процесса, а также оценка потенциала производственных процессов позволяет выявить «узкие места» в организации их работы для принятия дополнительных мер, позволяющих повысить эффективность их работы.

Предлагаемый метод оценки определяет уровень общей технологичности принимаемого варианта развития шахты, то есть насколько эффективно используются принимаемые технико-технологические решения при его реализации.

Используя модели для расчёта параметров технологических процессов и подсистем, рассчитаны интегральные показатели использования технико-технологического потенциала шахт «Шахтинская» и «Тентекская» по состоянию производства на 01.01.2005 г. Интегральный показатель по подсистемам шахты «Шахтинская» составляет: очистные работы — 70,1%, подготовительные — 63,3%, транспорт — 52,3%, шахтный подъём — 72,1%, вентиляция — 46,2%. Интегральный показатель использования технико-технологического потенциала шахты в целом составит 63,5%.

Технико-технологический потенциал шахты «Тентекская» по подсистеме «очистные работы», характеризуемый показателем IT , колеблется в пределах 0,30...0,52. Средневзвешенная величина индекса составит 0,42, то есть технико-технологический потенциал шахты по подсистеме «очистные работы» используется на 42%. Аналогичные исследования произведены по подсистеме «монтаж-демонтаж оборудования в шахте». Оцениваемым параметром принята продолжительность монтажа-демонтажа. Индекс использования технико-технологического потенциала колеблется в пределах 0,3...0,45, средневзвешенная величина индекса составит 0,39.

Согласно последовательности отработки очистных забоев и последовательности проведения горных выработок осуществлено моделирование и совместная оптимизация параметров горно-подготовительных работ. С использованием проведенных исследований рассчитан индекс технико-технологического потенциала по подсистеме ГПР, который колеблется в пределах 0,48...0,59, средневзвешенная величина составляет 0,55.

Привязка очистных забоев к существующим транспортным цепочкам шахты осуществлена с использованием разработанных схем транспорта угля из очистных забоев северного и южного блоков. Моделирование параметров технологического процесса произведено с использованием результатов проведенных исследований. Установлено, что параметры транспортных сетей шахты обеспечивают максимальные нагрузки на лавы и доставку оборудования и материалов. Индекс использования технико-технологического потенциала 0,31...0,49. Интегральный показатель использования технико-технологического потенциала шахты составит 42,95 %. Таким образом, минимальная эффективность использования технико-технологического потенциала шахты соответствует подсистеме «монтаж-демонтаж оборудования» — 39 %. Это объясняется, в первую очередь, тем, что потенциальные возможности обслуживаемых подсистем «очистные работы» и горно-подготовительные работы имеют также низкий уровень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отраслевая методика определения экономической эффективности капитальных вложений в угольной промышленности. М.: ЦНИЭИуголь, 1986. 73 с.
2. Шулятьева Л.И. Техничко-технологические проблемы оптимального комплексного развития угледобывающих предприятий // Уголь. 2004. №9.

УДК 622.3.2.2.3.234.42, 622.27:3.2.2.3

Б.Т. БЕРКАЛИЕВ
М.Б. БАИЗБАЕВ

Исследование взаимодействия подземных техногенных пространств с массивом горных пород

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом выработанное техногенное пространство заполняется закладочным материалом. В виде закладки используются пустые породы, бедные руды с низким содержанием в них металла. В результате создаются так называемые техногенные запасы.

При заполнении техногенных пространств основным геомеханическим вопросом является оценка влияния компрессионных свойств техногенных запасов на напряженно-деформированное состояние массива горных пород, а следовательно, и на проявления горного давления. Качественная оценка показывает, что снижение усадки техногенных запасов приводит к снижению концентрации напряжений в массиве горных пород. К проявлениям горного давления, являющимися

нежелательными или опасными, при постановке задачи взаимодействия техногенных запасов и массива горных пород следует отнести потерю устойчивости конструктивных элементов техногенных пространств и разрушение пород всякого бока рудного тела. При решении этой задачи требуется установить, какая жесткость техногенных запасов необходима, чтобы сохранить в устойчивом состоянии середину камеры и краевую часть вмещаемых пород всякого бока техногенных пространств.

Компрессионные свойства закладываемых материалов являются важнейшими при рассмотрении вопроса о деформации запасов под действием горного давления. Компрессионная диаграмма техногенных запасов представляет собой зависимость деформации (усадки) от давления. На

рис. 1 представлены кривые для различных по состоянию типов пород (1-2 — сыпучих; 3 — твердеющих). Компрессионные кривые сыпучих материалов (1, 2) имеют нелинейный характер и аппроксимируются зависимостью вида [1]

$$\varepsilon = \varepsilon_1(1 - e^{-G/G_1}), \quad (1)$$

где ε — максимальная усадка техногенных запасов;
 G_1 — параметр аппроксимации.

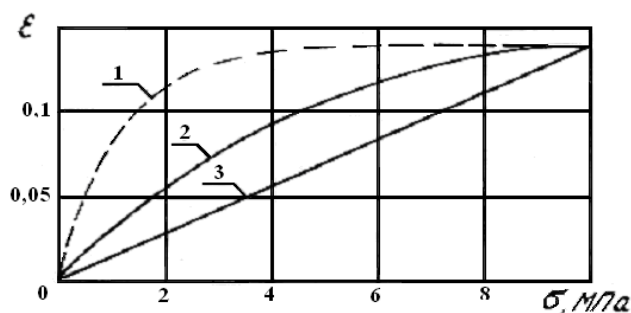


Рис. 1. Компрессионные диаграммы для различных по типу и виду техногенных материалов: 1-2 — сыпучих; 3 — твердеющих

Зависимость усадки от давления для твердеющих техногенных запасов близка к линейной (3), но зависит от времени подготовки смеси. Поэтому значения коэффициента линейной деформации при сжатии можно получить после испытания стандартного кубика на одноосное сжатие [1]

$$E_{\varepsilon} = \sigma(1 - \vartheta) / (1 + \vartheta)(1 - 2\vartheta), \quad (2)$$

где E и ϑ — коэффициенты линейной и поперечной деформации.

Техногенные запасы по петрографическому составу можно разделить на однородные (кусовые и зернистые) и неоднородные (смеси кусковых и зернистых материалов). Для однородных техногенных материалов характерна медленно растущая зависимость усадки от давления (2), а для неоднородных — более быстрое нарастание усадки, особенно в начальный период (1).

Влияние формы компрессионной кривой техногенных запасов, имеющих одинаковую усадку с быстро и медленно растущей зависимостью усадки от давления, проиллюстрируем на примере. На рис. 2 показано распределение смещения висячего бока в техногенном пространстве и над рудным телом из различных материалов с одинаковой конечной усадкой. Заполнение камер техногенными материалами с медленно растущей зависимостью усадки от давления (т.е. наиболее жестких в начальной стадии нагружения) позволяет снизить смещения боковых пород и сократить зону запредельных деформаций краевой части рудного тела (по сравнению с применением техногенных запасов с той же усадкой, но менее жестких в начальной стадии нагружения) и определяет влияние на устойчивость камер и на проявление горного давления. Задача заключается в определении такого соотношения модулей деформаций массива горных пород и

заложенных материалов, при котором наступает стабилизация смещений висячего бока камеры.

Для различных соотношений модулей упругости твердеющих материалов (E_T) и боковых пород висячего борта камеры (E_B) произведены расчеты напряженно-деформированного состояния по методу конечных элементов на компьютере. Распределение смещений в висячем борту камеры, заполненной закладкой при различных E_T/E_B по высоте камеры, представлены на рис. 2, а распределение главных нормальных напряжений — на рис. 3. Рассмотрен случай $E_T/E_B = 4/3$, т.е. породы висячего бока рудной залежи менее прочные, чем руда.

Анализ полученных зависимостей показывает, что стабилизация смещений наблюдается: на расстоянии 20-25 м от потолочины при $E_T/E_B = 0,02; 0,04; (1/50; 1/25)$ кривые 1 и 2; при $E_T/E_B = 0,06 (1/16,7)$ смещения стабилизируются на расстоянии 15 м (кривая 3); а при $E_T/E_B = 0,08 (1/12,5)$ стабилизация смещений наступает на расстоянии менее 10 м (кривые 4 и 5).

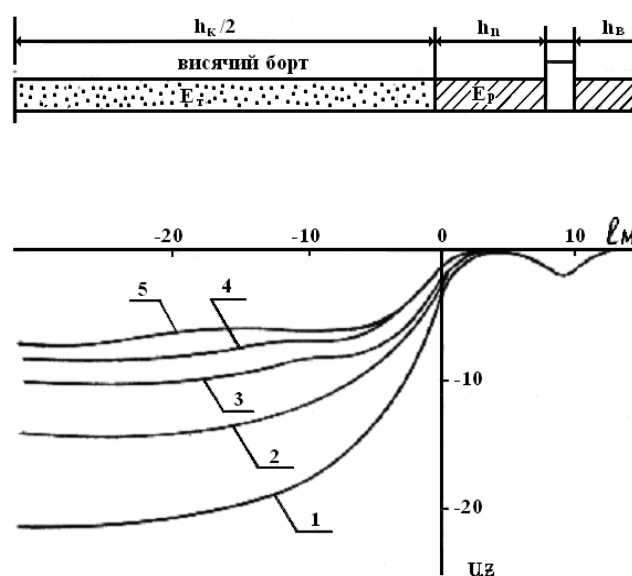


Рис. 2. Распределение смещений в висячем борту камеры, заполненной закладочными материалами, при различных соотношениях E_T/E_B : 1 — 0,02; 2 — 0,04; 3 — 0,06; 4 — 0,08; 5 — 0,1

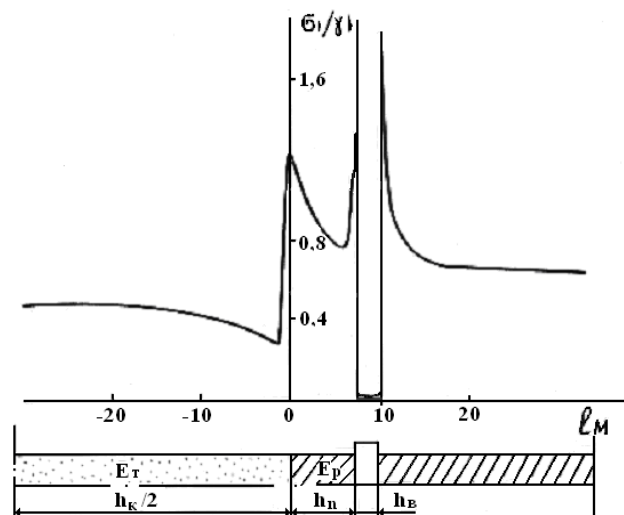


Рис. 3. Распределение главных напряжений $G_1/\gamma H$ висячем борту камеры, заполненной породой, при $E_T/E_B = 0,08$

Таким образом, наиболее рациональное соотношение E_T/E_B находится в пределах $(1/17 \div 1/12)$ 0,06-0,08 при $E_T = 0,36-0,48 \cdot 10^{-4}$, поскольку достижение смещений за счет дальнейшего повышения величины жесткости закладочного материала не превышает 10 %. Вблизи рудной (естественной) потолочины в промежутке 0÷5 м кривые смещений имеют различную кривизну, по которой можно судить об интенсивности нарастания усадки закладки, т.е. с ростом E_T/E_B кривые смещений выполаживаются, подтверждая утверждение, что быстрое восприятие нагрузки в начальный момент позволяет снизить величину смещений. Характерно, что при $E_T/E_B = 0,08; 0,1$ на отрезке 0÷5 м кривые 4 и 5 сливаются, а окончательные смещения хотя и различны, но близкие по величине, т.е. можно заключить, что дальнейшее увеличение E_T не оказывает существенного влияния на усадку закладочного материала вблизи рудной потолочины.

На рис. 4 представлены смещения при заполненной камере (кривые 2-6) и при незаполненной камере (кривая 1) для различных соотношений E_T/E_B . Сравнивая распределение смещений при незаполненной и заполненной камере, следует отметить, что с увеличением E_T/E_B стабилизация смещений наступает вблизи рудной потолочины и смещения в середине высоты камеры по величине снижаются: кривая 2 ($E_T/E_B = 0,02$) по сравнению с кривой 1 ($E_T/E_B = 0$) почти в 2 раза.

Установлена эмпирическая зависимость смещений от соотношения модулей упругости твердеющих материалов и боковых пород, полученная на основе расчетных данных, которая с высокой точностью (коэффициент корреляции $h = 0,99$) аппроксимируется уравнением [2]

$$U_z = 1/(0,22 + 12,446 E_T / E_A), \quad (3)$$

при $0,02 \leq E_T/E_B \leq 0,14$.

Анализ полученной зависимости убедительно

показывает, что с увеличением E_T/E_B до 0,08 (т.е. с увеличением E_T — жесткости твердеющих техногенных ресурсов) смещения (U_z) уменьшаются по величине, уменьшаются также и приращения смещений ΔU_z с 0,8 до 0,1, а при $E_T/E_B = 0,08$ ΔU_z принимает постоянное значение около 0,1.

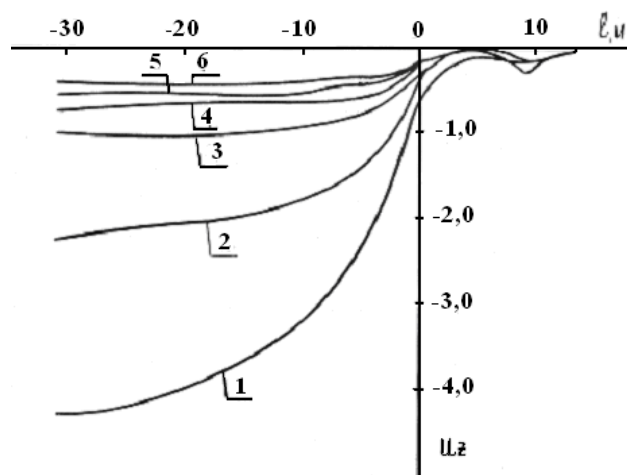


Рис. 4. Распределение смещений по высоте камеры при различных соотношениях: 1 — $E_T/E_B = 0$; 2 — $E_T/E_B = 0,02$; 3 — 0,06; 4 — 0,1; 5 — 0,14; 6 — 0,18

Таким образом, рассмотрение распределения компонент напряжений и смещений позволяет судить о качественной картине при различных технологических схемах и выявить влияние заполнения техногенными запасами очистных камер на проявления горного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосинцев В.Н., Авдеев О.К., Мельниченко В.М. Безотходная технология добычи радиоактивных руд. М.: Энергоиздат, 1987.
2. Шульгин С.В. К решению проблемы утилизации отходов горно-промышленного производства // Сб. тр. ВНИИ системных исслед. 1984. №7. С. 84-90.

УДК 622.083

К.К. КУШЕКОВ
Д.В. СОН

Анализ и синтез технологических схем вскрытия и подготовки оставленных на верхних горизонтах запасов

Вскрытие и подготовка маломощных пластов, оставленных на верхних горизонтах действующих шахт, представляет сложную научно-техническую проблему. Эта сложность заключается, прежде всего, в стремлении максимально использовать существующие вскрывающие выработки и сооружения при минимизации затрат.

В ряде работ [1, 2, 3, 4, 5, 6] были проведены детальные исследования способов вскрытия шахтных полей и даны новые методы их анализа и синтеза. При этом технологические схемы вскрытия шахтных полей по их назначению были разделены на следующие комплексы:

- комплекс выработок и сооружений, предназначенных для выдачи, приемки и переработки угольной массы — $У_i$ — угольный комплекс;

- комплекс выработок и сооружений, предназначенных для выдачи, приемки породы — $П_i$ — породный комплекс;

- комплекс выработок и сооружений, предназначенных для выполнения вспомогательных операций — спуск-подъем материалов, оборудования и людей — $В_i$ — вспомогательный комплекс;

- комплекс выработок и сооружений, предназначенных для проветривания шахты — $Н_i$ — вентиляционный комплекс.

Здесь «i» характеризует возможные варианты комплексов.

Задача заключается в том, что для конкретного условия необходимо определить оптимальный комплекс по каким-то критериям. При этом предполагается, что оптимальная технология вскрытия шахтного поля будет состоять из оптимальных вскрывающих комплексов и сооружений. Эти методические положения, разработанные А.С. Сагиновым, Е.И. Роговым, С.С. Квоном, В.С. Цоем, Г.П. Данилиной, относятся ко вскрытию новых угольных месторождений.

В наших условиях, когда многие вскрывающие комплексы существуют и определены до соответствующего горизонта разработки, потребуется несколько иной подход.

На рис. 1 представлена существующая схема вскрытия шахтного поля, типичная для многих шахт УД АО «Миттал Стил Темиртау». Как видно из рис. 1, свита пологих пластов состоит из двух групп — верхней, где разрабатывается мощный пласт с подработкой маломощных пластов, расположенных выше него, и нижней, подлежащей вскрытию. При этом мощный пласт разрабатывается на втором или на третьем горизонте, а маломощные пласты (13, 14) необходимо вскрывать и разрабатывать выше основного — 120 горизонта.

На многих шахтах Угольного департамента, включая ликвидированные, для уменьшения нагрузки на вспомогательный бремсберг и людской ходок были пройдены промежуточные квершлаг, соединяющие клетевой ствол с промежуточным горизонтом.

В настоящее время промежуточный квершлаг и примыкающие к нему выработки погашены, а для их восстановления потребуются большие затраты.

Проведенный анализ существующих технологических схем вскрытия шахтных полей (рис. 1) показывает, что в условиях действующих шахт бассейна можно выделить следующие возможные варианты вскрывающих комплексов.

Угольный и породный комплекс — $У_i П_i$. Эти два комплекса объединены, т.к. на большинстве шахт уголь и порода выдаются по одному стволу.

Комплекс $У_1 П_1$ (рис. 2, а) — отличается наличием промежуточного горизонта, расположенного выше основного. Для создания этого промежуточного горизонта необходимо устроить загрузочные камеры для угля и породы. Создание промежуточного горизонта вызвано необходимостью уменьшения длины бремсбергов и сокращения пробега грузов.

Комплекс $У_2 П_2$ (рис. 2, б) — выдача угля и породы осуществляется с каждого действующего горизонта, а для вскрытия пластов проводятся квершлаг на каждом горизонте.

Комплексы $У_3 П_3$, $У_4 П_4$, (рис. 2, в, г) — отличаются от $У_2 П_2$ вскрытием пластов с действующего горизонта уклонной части шахтного поля, а в варианте $У_4 П_4$ — отработка пластов производится до нижней технической границы, что дает возможность при погоризонтной подготовке иметь оптимальную длину столба.

Комплексы $У_5 П_5$, $У_6 П_6$, (рис. 2, е, д) — отличаются от других проведением нового скипового ствола или углубкой действующего. Соответственно с этим вскрытие пластов производится квершлагами из любого действующего горизонта уклонной части шахтного поля.

Комплекс $У_7 П_7$ (рис. 2, ж) — этот вариант предполагает технологическое объединение нескольких шахт в единую систему в целях увеличения длины столбов, отработываемых по простиранию. При этом вскрытие каждого блока производится проведением наклонных стволов для выдачи угля и породы, вспомогательные операции осуществляются через пройденные вспомогательные стволы. Сбор угля и породы с каждого блока осуществляется либо железнодорожным транспортом, либо конвейерами. Вариант чрезвычайно капиталоемкий может быть использован при новом капитальном строительстве или при полной ликвидации смежных шахт.

Вспомогательные комплексы — $В_i$.

Вспомогательный комплекс предназначен для спуска-подъема материалов, оборудования и людей. Стремление максимально использовать существующие комплексы для минимизации затрат привело к следующим двум вариантам.

Комплекс $В_1$ (рис. 3, а) — отличается проведением промежуточных квершлагов, что значительно сокращает протяженность транспортных выработок.

Комплекс $В_2$ (рис. 3, б) — для вскрытия пластов на каждом горизонте проводятся квершлаг.



Рис. 1. Типовая схема вскрытия шахтного поля

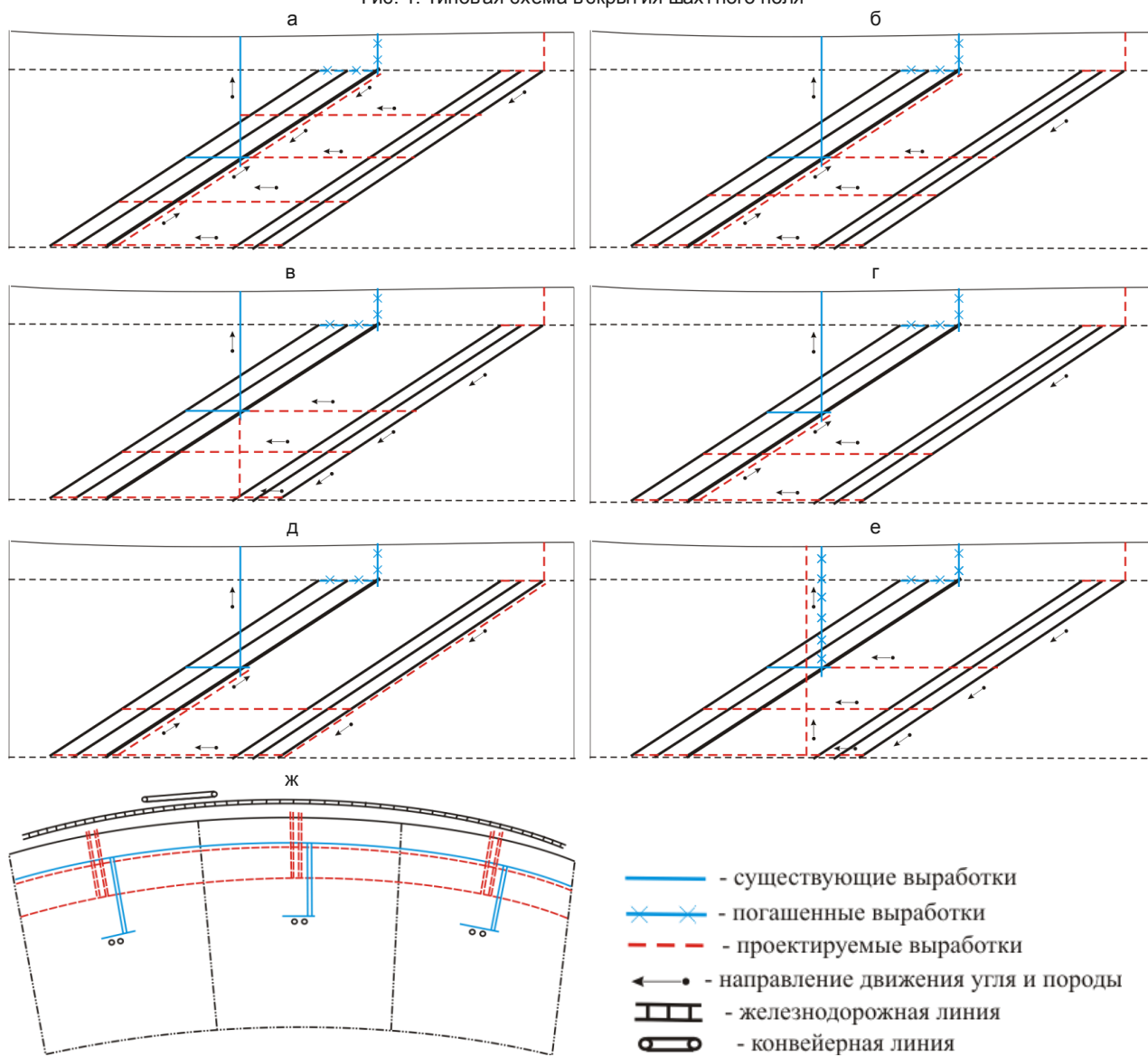


Рис. 2. Угольные и породные комплексы

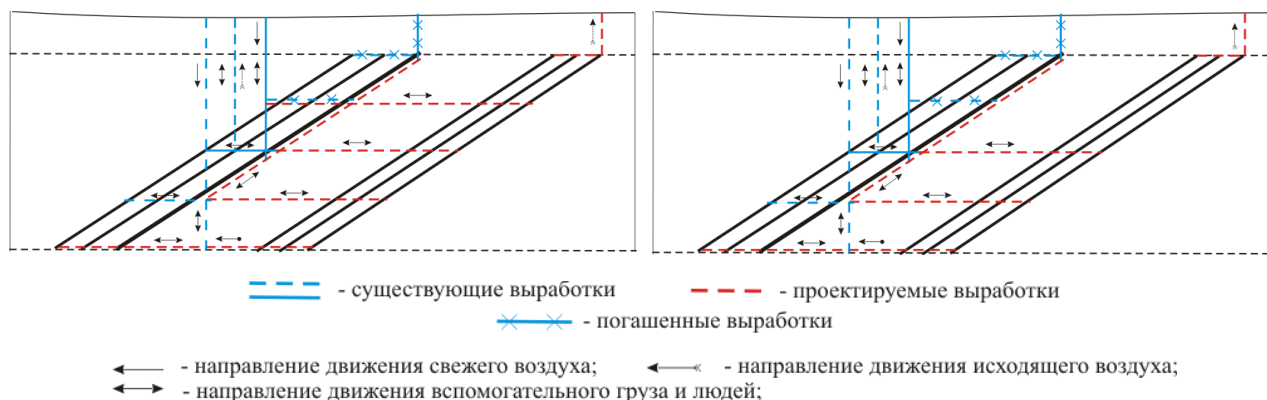


Рис. 3. Вспомогательные комплексы

Вентиляционные комплексы — H_i . В настоящее время все шахты Угольного департамента АО «Миттал Стил Темиртау» обеспечены бремсберговой и фланговыми схемами проветривания. Для этого пройдены новый воздухоподающий ствол и фланговые стволы для выдачи исходящей струи воздуха. Эти стволы и вентиляционные сооружения имеют достаточные резервы для освоения первоначальной проектной мощности каждой шахты.

Таким образом, существующие вентиляционные комплексы при любых технологических схемах вскрытия и подготовки шахтного поля обеспечивают эффективное проветривание горных выработок.

Принципиальные схемы проветривания горных выработок шахты с использованием существующих вентиляционных комплексов представлены на рис. 4, а — фланговая и б — центральная.

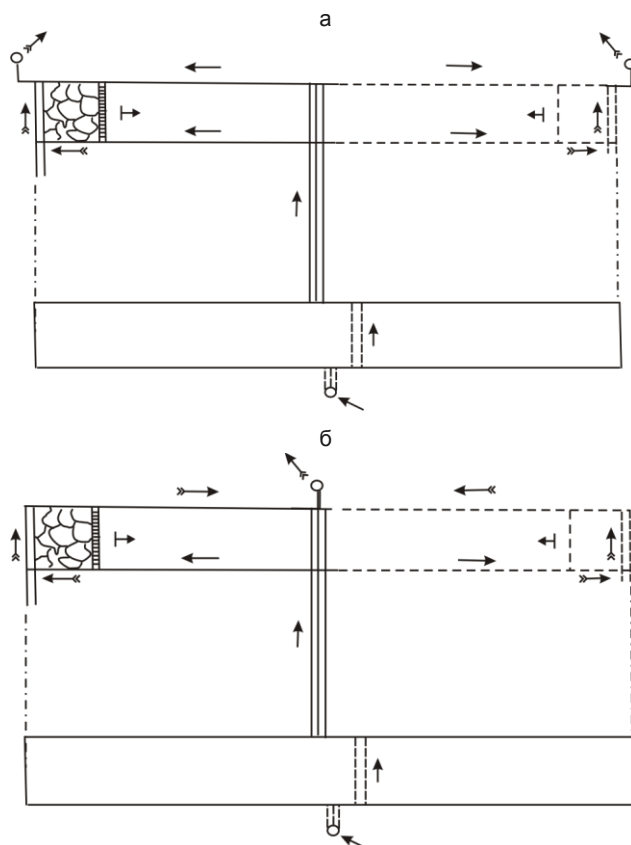


Рис. 4. Вентиляционные комплексы

Как известно, технологическая схема вскрытия шахтного поля неразрывно связана со способом подготовки и его основными параметрами. Поскольку предполагается, что высокопроизводительные очистные забои будут иметь длину столба в пределах ее оптимального значения, т.е. 3,5-4,5 км, а длину лавы около 250-350 м, то в пределах ограниченных размеров шахтного поля выбранный способ подготовки выемочного поля должен обеспечивать эти оптимальные параметры.

В условиях шахт Угольного департамента такие параметры выемочного поля могут быть обеспечены только при следующих технологических схемах подготовки:

- этажной или панельной схемах с проведением капитальных (панельных) бремсбергов (уклонов) на границе выемочного или шахтного поля;

- погоризонтной схеме подготовки с отработкой длинными столбами по падению пласта от верхней до нижней границы шахтного поля для обеспечения оптимального размера, т.е. длины столба до 3,5-4,5 км. На большинстве шахт УД размер шахтного поля по падению не превышает 2,5-3,0 км. Поэтому погоризонтная схема подготовки, очевидно, найдет весьма ограниченное применение.

В работах [8, 9] детально исследована технологические подготовки выемочных полей для разработки маломощных пластов и даны соответствующие рекомендации.

На рис. 5 представлены принципиальные технологическая схема подготовки выемочных полей, синтезированных в работах [8, 9]. Эти схемы охватывают практически все возможные варианты технологических схем подготовки выемочного (шахтного) поля пологих пластов.

Схема ТП₁ (рис. 5, а) — представляет классический панельный способ, который применяется на большинстве шахт бассейна. Недостатком этого способа, в современных условиях высокопроизводительных лав, является большая протяженность выработок на одну лаву, сложность, а в некоторых случаях, невозможность применения на действующих выемочных полях оптимальной длины столба.

Схема ТП₂ (рис. 5, б) — для исключения недостатков схемы ТП₁ предусматривается проведение панельных бремсбергов (уклонов) на

границах панели, что дает возможность увеличить длину столба в два раза и соответственно сократить протяженность проводимых и поддерживаемых выработок, монтажно-демонтажных и других работ. Эта схема нами названа панельно-этажной, т.к. в зависимости от размера шахтного поля она может быть и панельной (более 2 км), и этажной (2 км и менее).

Схема ТП₃ (рис. 5, в) — классическая этажная схема подготовки с капитальными бремсбергами (уклонами). Она применима, когда размер шахтного поля по простиранию позволяет разместить два столба с оптимальными размерами, т.е. $S \geq 2H_0$.

Схема ТП₄ (рис. 5, г) — этажная схема подготовки с капитальными бремсбергами (уклонами), пройденными на границе шахтного поля. Она применима в тех случаях, когда $S \leq H_0$.

Схема ТП₅ (рис. 5, д) — погоризонтная схема подготовки с отработкой столба по падению пласта, область ее применения, когда $N_{\beta(y)} \approx H_0$ и $\alpha \leq 12^\circ$.

Схема ТП₆ (рис. 5, е) — погоризонтная схема подготовки с отработкой столба по падению пласта, область ее применения — когда $N_{\beta(y)} \leq H_0$, $N_{\beta(y)} \approx H_0$ и $\alpha \leq 12^\circ$.

Здесь схемы ТП₅ и ТП₆ не могут найти широкого применения, т.к. в условиях шахт бассейна трудно найти шахтные поля, удовлетворяющие необходимым условиям.

Основная идея метода синтеза заключается в следующем: определенное сочетание из оптимальных угольного, породного, вспомогательного и вентиляционного вскрывающих комплексов и подготовки обеспечивает оптимальный способ вскрытия и подготовки запасов, оставленных на верхних горизонтах действующих шахт, т.е.

$$\sum_i^n (C_{io} + E_i \hat{E}_{io}) = (C_{\hat{a}io} + E_i \hat{E}_{\hat{a}io}) + (C_{\hat{a}o} + E_i \hat{E}_{\hat{a}o}) + (C_{io} + E_i \hat{E}_{io}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где io — оптимальные вскрывающие комплексы; C_{yn0} , C_{g0} , C_{n0} — текущие затраты по оптимальным угольно-породным, вспомогательным и вентиляционным комплексам; K_{yn0} , K_{g0} , K_{n0} — дисконтированные капитальные вложения по оптимальным угольно-породным, вспомогательным и вентиляционным комплексам.

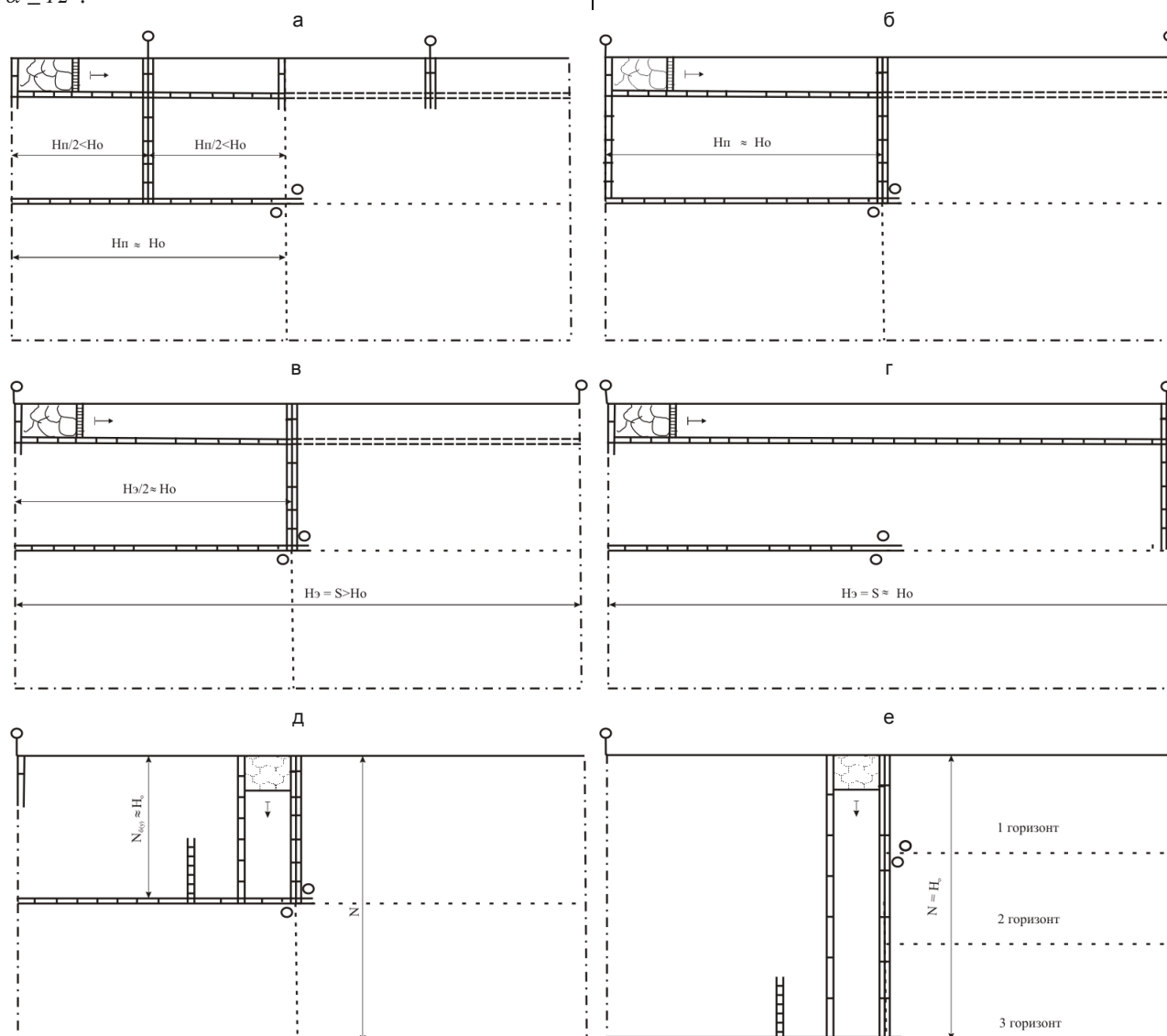


Рис. 5. Технологические схемы подготовки шахтного поля

На рис. 6 представлен граф состояния вскрывающих комплексов и подготовки шахтного поля.

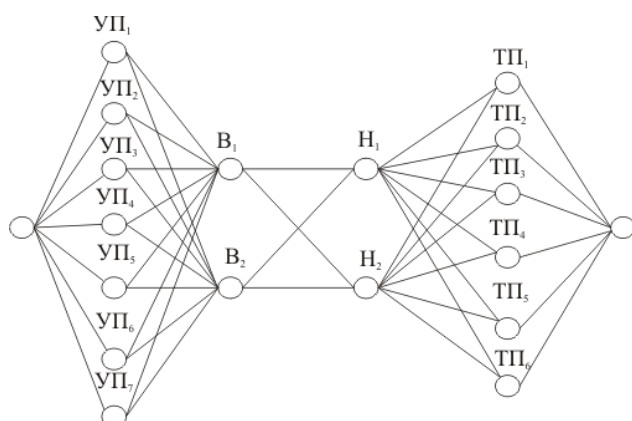


Рис. 6. Граф возможных состояний вскрывающих комплексов и схем подготовки шахтного поля

Здесь текущие затраты C_i определяются по следующим видам: подъем, транспорт и прием угля и породы, вспомогательных материалов, оборудования и людей, проветривание, проведение и поддержание выемочных выработок, очистные работы; учитывается надежность подсистем и ее влияние на конечный резерв шахт; одинаковые и равноценные виды затрат по вариантам подсистем не учитываются.

К капитальным затратам K_i отнесены затраты на проведение и оборудование вскрывающих выработок (стволы, капитальные и этажные квершлага, бремсберги и уклоны, сооружения под землей и на поверхности).

При синтезе технологических схем вскрытия и подготовки из оптимальных локальных комплексов могут быть случаи совмещения или проведения дополнительных выработок и сооружений.

В таких случаях потребуются дополнительные затраты, особенно капитальные, или экономия. Тогда формула (1) приобретает следующий вид:

$$\sum_i^n (C_{io} + E_i \hat{E}_{io}) = [(C_{\hat{\alpha}o} + E_i \hat{E}_{\hat{\alpha}o}) + (C_{\hat{\alpha}o} + E_i \hat{E}_{\hat{\alpha}o}) + (C_{io} + E_i \hat{E}_{io})] \pm \Delta(\hat{N}_a + \hat{A}_i \hat{E}_a) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где C_o, K_o — дополнительные текущие и капитальные затраты, связанные с синтезированием технологических схем вскрытия и подготовки шахтного поля из локальных оптимальных комплексов.

Таков общий методический подход синтеза технологических схем вскрытия и подготовки запасов, оставленных на верхних горизонтах действующих шахт.

Предварительные исследования по предложенной методике анализа и синтеза технологических схем вскрытия и подготовки запасов маломощных пластов по критерию приведенных дисконтированных (капитальных) затрат показывают, что наиболее оптимальными вариантами в условиях действующих шахт Угольного департамента АО «Миттал Стил Темиртау» являются:

Вариант $У_2П_2В_2Н_1ТП_4$ (рис. 7, а) — технологическая схема вскрытия и подготовки запасов маломощных пластов этажными квершлагами и столбами по простиранию с проведением капитальных бремсбергов (уклонов) на границе шахтного поля с фланговой схемой проветривания.

Вариант $У_2П_2В_2Н_2ТП_6$ (рис. 7, б) — технологическая схема вскрытия и подготовки запасов маломощных пластов этажными квершлагами и столбами по падению с центральной схемой проветривания.

Предложенные схемы вскрытия и подготовки требуют дополнительного исследования. Предварительные данные показывают, что они обеспечивают оптимальные размеры выемочного поля и эффективную работу высокопроизводительных лав.

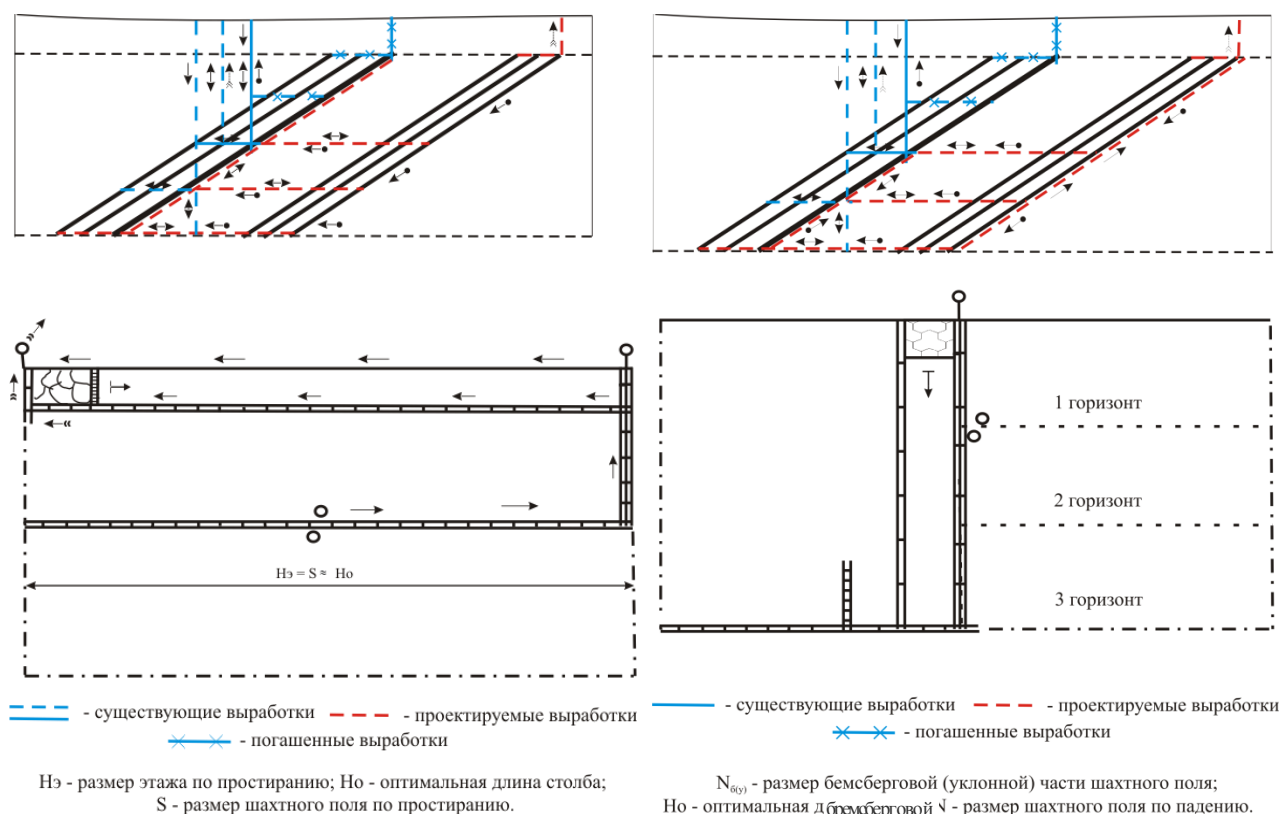


Рис. 7. Синтезированные технологические схемы вскрытия и подготовки шахтного поля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сагинов А.С., Квон С.С. Новые методы исследования способов вскрытия шахтных полей. М.: Углетехиздат, 1979. С. 55.
2. Сагинов А.С. Проблемы разработки угольных пластов Карагандинского бассейна. Алма-Ата, 1976. С. 158.
3. Цой С., Рогов Е.И. Основы теории вентиляционных сетей. Алма-Ата, 1965. С. 25-28.
4. Цой С., Цхай С.М. Синтез параметров вентиляционных сетей. Алма-Ата, 1966. С. 103-119.
5. Данилина Г.П. Разработка теории оптимального автоматического проектирования вскрытия шахтного поля: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГТУ, 1982. 24 с.
6. Данилина Г.П. Разработка методики определения оптимальных схем вскрытия шахтных полей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата: КазГТУ, 1967. 25 с.
7. Рогов Е.И., Шуруба М.Р. Выбор оптимальной технологии проведения горизонтальных горных выработок. Алма-Ата, 1969. С. 93.
8. Рогов Е.И. Взаимодействие технологии и условий подземной выемки угля. Алма-Ата, 1978. С. 22-32.
9. Демин В.Ф. Создание технологии эффективной выемки маломощных и сложноструктурных пластов с использованием шахтной породы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Караганда: КарГТУ, 2004. С. 37.
10. Квон С.С., Роот Э.Г., Демин В.Ф., Кушеков К.К. Проблемы разработки маломощных и сложноструктурных пластов Карагандинского бассейна. Караганда, 2003. 440 с.

УДК 622.278

А.В. ЖИВАЕВА

К вопросу о прогреве вмещающих пород при подземном сжигании угля

Определение закономерностей распределения температуры в прогреваемом массиве горных пород, вмещающем огневые выработки, является одним из условий решения вопросов управления кровлей, контроля положения огневого забоя и т.д., возникающих при разработке технологии подземного сжигания угля.

Для исследования степени прогрева пород при сжигании угольного пласта можно использовать известное в теории теплопроводности решение задачи

о температурном поле, создаваемом в неограниченном теле точечным источником теплоты, движущимся со скоростью v [1]. Таким источником выступает реакционная зона горения пласта, размеры которой определяются длиной огневого забоя и мощностью сжигаемого пласта. Так как длина огневого забоя во много раз больше мощности пласта, то рассматриваемый источник можно считать линейным, вытянутым вдоль линии огневого забоя. Создаваемое таким источником температурное поле можно считать

плоским. При этом считаем, что в результате длительного горения огневого забоя во вмещающих породах устанавливается предельное состояние температурного поля — квазистационарное. Если начало прямоугольной системы координат связать с источником теплоты (рис.1), то температуру в произвольной точке массива вмещающих пород $M(x,y)$ можно вычислить по следующей формуле:

$$t(x,y) = \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2a}\right) K_0\left(\frac{v \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}{2a}\right), \quad (1)$$

где λ, a — теплопроводность и температуропроводность вмещающих пород соответственно;
 q — тепловая мощность источника, определяемая теплотворной способностью угля, его плотностью и скоростью подвигания огневого забоя;
 K_0 — функция Мак-Дональда (бесселева функция 4-го рода нулевого порядка).

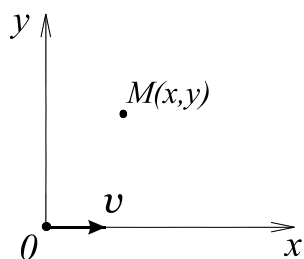


Рис. 1

Указанное решение применимо в том случае, когда расстояние от огневого забоя до исследуемой точки массива пород хотя бы на порядок превосходит мощность сжигаемого пласта m . В противном случае необходимо учитывать геометрию огневого забоя. В работе [2] огневой забой рассматривается как совокупность точечных источников теплоты, линейно распределенных по высоте огневого забоя, т.е. линии с координатами: $x = 0$; $0 < y < m$ (рис. 2); при этом, используя принцип наложения температур, получено следующее решение:

$$t(x,y) = \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2a}\right) \int_0^m K_0\left(\frac{v \cdot \sqrt{x^2 + (y-y')^2}}{2a}\right) dy', \quad (2)$$

где y' — переменная интегрирования.

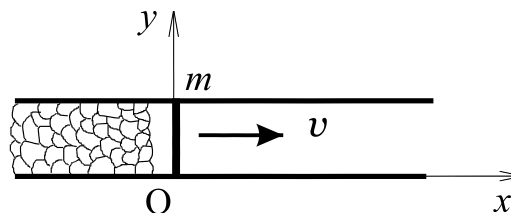


Рис. 2

Данные, полученные при вскрытии опытных подземных газогенераторов, свидетельствуют о том, что реакционная зона горения угольного пласта представляет собой не вертикальную поверхность, а наклонную; это вызвано тем, что верхняя часть угольного пласта при неизбежном обрушении или оседании кровли более доступна для воздуха, чем нижняя. В этом случае для получения более адекватной картины прогрева вмещающих пород необходимо проинтегрировать выражение (1) по контуру OA (рис.3), определяемому уравнением:

$$x' = y' \cdot \operatorname{ctg} \alpha; \quad (0 < y' < m).$$

$$\text{Элемент контура OA: } dL = \frac{dy'}{\sin \alpha}.$$

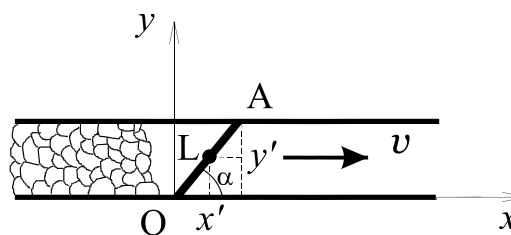


Рис. 3

В результате распределение температурного поля во вмещающих породах описывается формулой:

$$t(x,y) = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^m \exp\left(-\frac{v \cdot (x-x')}{2a}\right) \times K_0\left(\frac{v \cdot \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}}{2a}\right) \frac{dy'}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

где $x' = y' \cdot \operatorname{ctg} \alpha$.

Полученная формула позволяет при расчете температурного поля в массиве вмещающих пород учесть не только горно-геологические и технологические параметры, но и угол наклона реакционной поверхности огневого забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
2. Глузберг Е.И., Исагулов С.Т. Аналитическое исследование прогрева массива вмещающих пород при сжигании сближенных пластов угля. 16 с.: ил. Деп. в КазНИИ НК 09.11.88, № 2388-Ка88.

УДК 622.817.47

А.В. САДЧИКОВ

Определение оптимального режима каптажа газа из газодобывающих скважин угольной шахты

Шахты Карагандинского угольного бассейна являются сверхкатегорийными по газу. После их

закрытия в отработанных пространствах скапливается метан, который через техногенные трещины,

затрапонируемые шахтные стволы и скважины дренирует на дневную поверхность, что создаёт опасные условия для жизнедеятельности человека.

Для обеспечения безопасности по газовому фактору с поверхности бурятся газоотводящие скважины [1], которые используются для откачивания газа из отработанного пространства шахт, что обеспечивает не только безопасность, но и использование метана в коммерческих целях.

Например, извлекаемый из скважин бывшей шахты им. 50-летия Октябрьской революции газ с помощью насосной станции НВ-50 используется в качестве топлива в котельной установке шахты «Кировская».

Целью работы является определение оптимального режима каптажа газа, при котором достигается максимальный дебит метана из нескольких одновременно работающих газодобывающих скважин.

Рассмотрим результаты измерений дебита метана на вертикальных дегазационных скважинах лавы 62-К4-3 на шахте «Майкудукская» (табл.1). Глубина скважин №1 — 462 м, №2 — 471 м, диаметр каждой скважины 114 мм. Скважины находятся на расстоянии 450 м друг от друга.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕБИТА МЕТАНА,
м³/мин ОТ РАЗРЕЖЕНИЯ НА УСТЬЯХ СКВАЖИН

Разрежение h , гПа	0	50	100	150	200	250	300
Скв. 1	2,1	4,7	6,6	7,2	8,2	8,6	9,7
Скв. 2	0,9	2,5	2,7	4,0	4,2	4,5	4,6

Зависимости дебита метана (Q_m , м³/мин) и воздуха (Q_v , м³/мин) от величины разрежения (h , гПа) имеют вид для скважины №1: $Q_{m1}=2,1+0,44h^{0,5}$; $Q_{v1}=0,2+0,13h^{0,5}$; для скважины №2: $Q_{m2}=0,9+0,25h^{0,5}$; $Q_{v2}=2,7+0,1h^{0,5}$ (рис.1).

Аналогичные закономерности отмечаются и на других шахтах Карагандинского угольного бассейна, применяющих дегазацию спутников и выработанного пространства.

В общем виде зависимости дебита метана и воздуха от величины разрежения описываются уравнением:

$$Q = a + ah^{0,5}, \quad (1)$$

где a — дебит метана или воздуха соответственно a_m и a_v при отсутствии разрежения на скважинах, м³/мин;

b — эмпирический коэффициент, характеризующий темп нарастания дебита метана и воздуха соответственно b_m и b_v при увеличении разрежения на скважинах, м³/мин гПа.

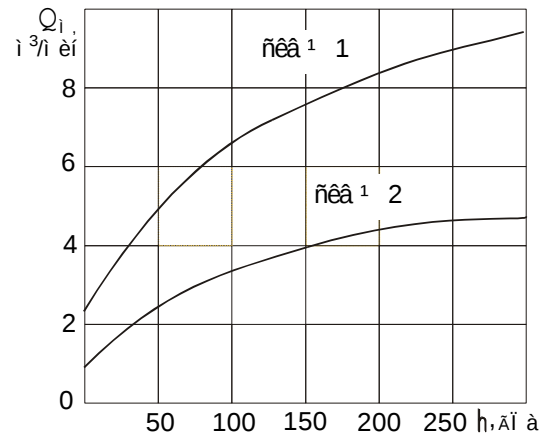


Рис. 1. Изменение дебита метана от разрежения на устьях скважин

Проведёнными исследованиями было установлено, что с увеличением разрежения на скважинах возрастает количество извлекаемой газовой смеси, т.е. повышается количество извлекаемого метана и воздуха из этих скважин. Причём темп нарастания как метана, так и воздуха (при увеличении разрежения на одну и ту же величину) по скважинам не одинаков.

Для получения максимального значения дебита метана из этих скважин на их устьях должен быть установлен такой режим каптажа газа, который сводился бы к установлению определённых значений разрежения на скважинах с помощью перекрывающих устройств (задвижек).

При проведении эксперимента на шахте «Майкудукская» по установлению оптимального режима отсоса газа для вышеуказанных скважин на начальном этапе скважина №1 была подключена к вакуумной линии, а скважина №2 полностью перекрыта. Затем производилось постепенное открытие скважины №2, за счёт чего в газопроводе и на скважине №1 происходило снижение разрежения, а в скважине №2 оно повышалось. Результаты измерения суммарного дебита метана из двух скважин приведены в табл. 2 и показаны на рис. 2.

Зависимость суммарного дебита метана от величины разрежения на скважине №1 выражается формулой:

$$Q_m = -9 \times 10^{-5} h_1^2 + 3,8 \times 10^{-2} h_1 + 7,114, \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (2)$$

Корреляционное отношение для данного уравнения составляет: $r=0,96$, среднеквадратичная погрешность дебита метана $S = \pm 0,052$ м³/мин.

Найдя экстремум данной функции, получим оптимальное значение разрежения для первой скважины, равное 211,0 гПа.

Таблица 2

СУММАРНЫЙ ДЕБИТ МЕТАНА НА СКВАЖИНАХ

Разрежение на скважине №1, гПа	75	119	149	179	209	238	268	298
Разрежение на скважине №2, гПа	75	74	73	70	68	67	66	60
Суммарный дебит метана, м ³ /мин	9,6	10,1	10,6	10,8	11,0	11,3	11,0	9,3

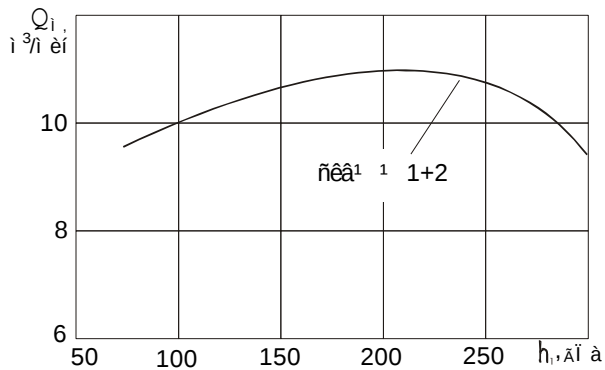


Рис. 2. Суммарный дебит метана

Зависимость суммарного дебита метана от величины разрежения в скважине № 2 выражается формулой:

$$Q_{\Sigma} = -2,86 \times 10^{-2} h_2^2 + 3,8887 h_2 - 121, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (3)$$

при $r=0,98$ и $S=\pm 0,048 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Оптимальное значение разрежения для второй скважины составит 67,9 гПа.

Таким образом, суммарный максимальный дебит метана из скважин, подключенных в единую систему газопровода, можно получить при определенных значениях разрежения на каждой из скважин и это будет оптимальным режимом. Однако это требует большого числа измерений на каждой скважине, количество которых для одной лавы может достигать до 5-7.

Задачу определения оптимального режима для большого количества скважин можно решить исходя из следующего: при наличии в работе n скважин фактическая производительность вакуум-насосной установки (Q_{Σ}) составит:

$$Q_{\Sigma} = \dot{a}_{i_1} + \hat{a}_{i_1} h_1^{0,5} + \dot{a}_{i_2} + \hat{a}_{i_2} h_2^{0,5} + \dots + \dot{a}_{i_n} + \hat{a}_{i_n} h_n^{0,5} + \dot{a}_{\Sigma} + \hat{a}_{\Sigma} h_{\Sigma}^{0,5}, \quad (4)$$

где h_1 и h_n — значения разрежения соответственно на скважинах №№ 1... n ;

a_m, a_v, v_m, v_v — значения коэффициентов уравнения (1).

При оптимальном режиме отсоса газа величины изменения дебита метана для каждой скважины при изменении разрежения на незначительную величину должны оставаться неизменными, т.е. производные этих величин должны быть равны между собой:

$$Q_i = \frac{\hat{a}_{i_1}}{h_1^{0,5}} = \frac{\hat{a}_{i_2}}{h_2^{0,5}} = \dots = \frac{\hat{a}_{i_n}}{h_n^{0,5}}. \quad (5)$$

Откуда
$$h_i = h_1 \left(\frac{\hat{a}_{i_1}}{\hat{a}_{i_i}} \right)^2 \quad (6)$$

при $i=1...n$.

Из этого вытекает требование оптимизации работы газодренажных скважин. Значение разрежения на i -й скважине равно найденному оптимальному значению разрежения на одной из скважин, умноженному на квадрат отношения коэффициентов прироста дебита метана i -й скважины к скважине с найденным значением разрежения.

Подставив в формулу (4) значения разрежения для каждой скважины из выражения (6) и решив её, относительно h_1 , получим:

$$h_1 = \left[\frac{Q_{\Sigma} - \dot{a}_{i_1} - \dot{a}_{i_2} - \dot{a}_{i_3} - \dots - \dot{a}_{i_n} - \dot{a}_{\Sigma} \times \hat{a}_{i_1}}{\hat{a}_{i_1}^2 + \hat{a}_{i_1} \times \hat{a}_{i_1} + \hat{a}_{i_2}^2 + \hat{a}_{i_2} \times \hat{a}_{i_2} + \dots + \hat{a}_{i_n}^2 + \hat{a}_{i_n} \times \hat{a}_{i_n}} \right]^2. \quad (7)$$

Затем по формуле (6) найдём величину разрежения для каждой скважины.

По формуле (7) определим оптимальное значение разрежения на скважине № 1 для условий дегазации в лаве 62-К4-3 шахты «Майкудукская».

$$h_1 = \left[\frac{17,04 - 2,1 - 0,9 - 0,2 - 2,7 \times 0,44}{0,44^2 + 0,44 \times 0,13 + 0,25^2 + 0,1 \times 0,25} \right]^2 = 209,9 \text{ гПа}.$$

По формуле (6) определим значение разрежения для скважины № 2.

$$h_2 = 209,9 \times \left(\frac{0,25}{0,44} \right)^2 = 67,8 \text{ гПа}.$$

Из сопоставления результатов расчётов, выполненных по двум методам, видно их совпадение.

Таким образом, методика определения оптимального режима работы газодобывающих скважин с различными характеристиками сводится к следующему:

- определяется суммарный дебит газовой смеси из всех действующих скважин при работающем режиме;
- при нескольких значениях разрежения на каждой скважине производят измерения количества отсасываемой смеси и концентрации метана в ней и определяют дебит метана и воздуха;
- на основании полученных результатов по формуле (1) рассчитывают значения коэффициентов a_m, v_m, a_v, v_v для каждой скважины;
- находится по формуле (7) значение разрежения для скважины № 1 (h_1);
- по формуле (6) определяют оптимальные значения разрежения для любой скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимбеков А.К., Портнов В.С., Садчиков А.В., Махова Ю.А. Оптимизация режимов добычи метана из выработанных пространств закрытых угольных шахт // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Кемерово, 2004. С. 261-263.

Раздел 2

Безопасность в промышленности. Экология

УДК 628.543.614

А.А. ЖАНБАТЫРОВ

Мониторинг, оценка уровня и прогноз загрязнения атмосферы на территории рудника Ушкатын-III

Целью проведения мониторинга атмосферного воздуха являются:

- контроль нормативов предельно допустимого выброса (ПДВ);
- определение эффективности работы пылеулавливающих установок;
- определение концентраций вредных веществ (пыль, CO, H₂S, NO+NO₂, CH₄, формальдегиды, амины);
- определение зон активного загрязнения (ЗАЗ).

На первом этапе производственного мониторинга атмосферного воздуха [1] уточнялись присутствующие в выбросах ингредиенты и их количественное и качественное значения. Замеры воздуха проводились по поперечнику зоны активного загрязнения, начиная с замеров непосредственно возле источников и постепенно удаляясь к границам санитарно-защитной зоны (СЗЗ) для установления точек с наивысшим загрязнением. Всего было опробовано 25 точек в пределах территории рудника Ушкатын-III и прилегающих площадей.

Результаты предварительного опробования атмосферного воздуха на территории рудника Ушкатын-III приведены в табл. 1.

По данным проведённых замеров воздуха получены следующие результаты:

- вблизи источников загрязнения атмосферного воздуха присутствуют такие загрязнители, как CH₄, CO, NO+NO₂, формальдегиды и амины, неорганическая пыль;
- превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе [2]

наблюдается только по содержанию пыли вблизи таких объектов, как дробильно-сортировочные комплексы, погрузо-разгрузочные пункты;

- радон (Rn²²²) и торон (Tn²²⁰) в атмосферном воздухе обнаружены не были.

При этом основными ареалами рассеивания загрязняющих веществ являются территории непосредственно вблизи источников выбросов (карьеры, погрузочные площадки, отвалы). На границе санитарно-защитной зоны все измеряемые вещества имеют допустимые значения. Однако следует отметить, что при неблагоприятных метеорологических условиях концентрации загрязняющих веществ в зоне активного загрязнения и на границе СЗЗ имеют другие значения.

Для получения полного объема информации по состоянию атмосферного воздуха в исследуемом районе были проведены замеры на границе СЗЗ в течение определённого периода при постоянном направлении ветра. Периодические наблюдения за качеством атмосферного воздуха на границе СЗЗ проводились следующим образом:

- при скоростях ветра 6-9 м/с или более, не ранее чем через три дня после выпадения дождя;
- в полдень или последующей части дня;
- в период с постоянным направлением ветра;
- в 4 точках с наветренной стороны и в 15 — с подветренной;
- процесс разового взятия пробы состоял из 3 измерений в каждой точке и выведения среднего значения в первый день;

- в последующие дни с тем же направлением ветра замеры производились аналогичным образом в тех же точках.

Для более точного анализа качества атмосферного воздуха, а также для сравнительной оценки периодические замеры проводились не только непосредственно на границе СЗЗ, но и за её пределами, а также возле источников и в зоне активного загрязнения. При этом очередность замеров качества атмосферного воздуха была следующей:

- точки с наветренной стороны СЗЗ;
- точки возле источников;
- точки с подветренной стороны СЗЗ.

На основании проведённого анализа результатов наблюдений (табл. 2) за качеством атмосферного

воздуха на территории рудника «Ушкатын-III» выявлено, что:

- основным загрязняющим веществом, оказывающим воздействие на качество атмосферного воздуха, является неорганическая пыль;
- основными источниками образования пыли являются дробильно-сортировочные установки, карьер, погрузо-разгрузочные пункты;
- вблизи мест работы автомобильной, бульдозерной и экскаваторной техники в пробах атмосферного воздуха присутствуют вещества, выбрасываемые двигателями внутреннего сгорания, а именно — CO, NO, NO₂, формальдегиды и амины;

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РУДНИКЕ УШКАТЫН-III

№№ п/п	№ точки наблюдения	Направление и скорость ветра, м/с	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм.рт.ст.	Токсичные газы, мг/м³					
					CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₄ H ₁₀	NO+NO ₂	Формальдеги ды и амины	CO	H ₂ S	Пыль неорг.
Предельно-допустимые концентрации, мг/м³					300	0,485	0,035	5	0,008	0,5
1.	У-99	С=6-8	51,0	724,0	91	0,42	н/о	4,1	н/о	3,7
2.	У-100	С=6-8	51,0	724,0	76	0,01	н/о	1,0	н/о	2,1
3.	У-101	С=6-8	51,0	724,0	83	0,01	н/о	1,2	н/о	0,3
4.	У-102	С=6-8	51,0	724,0	88	0,23	н/о	н/о	н/о	0,4
5.	У-103	С=6-8	51,0	724,0	93	0,43	0,02	6,0	н/о	6,9
6.	У-104	С=6-8	51,0	724,0	77	н/о	н/о	н/о	н/о	0,2
7.	У-105	С=6-8	51,0	724,0	76	н/о	н/о	0,9	н/о	2,6
8.	У-106	С=6-8	51,0	724,0	89	0,3	0,02	н/о	н/о	3,1
9.	У-107	С=6-8	51,0	724,0	98	0,55	0,02	4,1	н/о	5,3
10.	У-108	С=6-8	51,0	724,0	86	н/о	н/о	н/о	н/о	2,2
11.	У-109	С=6-8	51,0	724,0	87	н/о	н/о	н/о	н/о	3,2
12.	У-110	С=6-8	51,0	724,0	74	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
13.	У-111	С=6-8	51,0	724,0	76	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
14.	У-112	С=6-8	51,0	724,0	77	н/о	н/о	н/о	н/о	0,1
15.	У-113	С=6-8	51,0	724,0	81	0,35	н/о	1,0	н/о	1,2
16.	У-114	С=6-8	51,0	724,0	86	н/о	н/о	3,2	н/о	2,7
17.	У-115	С=6-8	51,0	724,0	77	н/о	н/о	н/о	н/о	0,1
18.	У-116	С=6-8	51,0	724,0	75	0,12	н/о	н/о	н/о	н/о
19.	У-117	С=6-8	51,0	724,0	89	н/о	н/о	н/о	н/о	0,5
20.	У-118	С=6-8	51,0	724,0	76	н/о	н/о	н/о	н/о	0,2
21.	У-119	С=6-8	51,0	724,0	75	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
22.	У-120	С=6-8	51,0	724,0	75	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
23.	У-121	С=6-8	51,0	724,0	81	н/о	н/о	0,1	н/о	0,3
24.	У-122	С=6-8	51,0	724,0	78	0,21	н/о	н/о	н/о	0,1
25.	У-123	С=6-8	51,0	724,0	83	0,23	н/о	0,14	н/о	0,4

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РУДНИКЕ УШКАТЫН-III

№№ п/п	№ точки наблюдения	Направление и скорость ветра, м/с	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм.рт.ст.	Токсичные газы, мг/м³					
					CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₂ H ₄ , C ₄ H ₁₀	NO+NO ₂	Формальдеги ды и амины	CO	H ₂ S	Пыль неорг.
Предельно-допустимые концентрации, мг/м³					300	0,485	0,035	5	0,008	0,5
1.	У-201	С= 6-9	51,0	727,0	78	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.	У-202	С= 6-9	51,0	727,0	76	н/о	н/о	2,1	н/о	н/о
3.	У-203	С= 6-9	51,0	727,0	76	н/о	н/о	н/о	н/о	0,1
4.	У-204	С= 6-9	51,0	727,0	79	0,1	н/о	3,3	н/о	1,2
5.	У-205	С= 6-9	51,0	727,0	84	0,43	0,01	5,4	н/о	7,1
6.	У-206	С= 6-9	51,0	727,0	81	0,2	н/о	2,4	н/о	1,0
7.	У-207	С= 6-9	51,0	727,0	87	0,38	0,1	3,7	н/о	4,9
8.	У-208	С= 6-9	51,0	727,0	78	0,22	н/о	1,3	н/о	0,7
9.	У-209	С= 6-9	51,0	727,0	85	н/о	н/о	н/о	н/о	0,5
10.	У-210	С= 6-9	51,0	727,0	77	н/о	н/о	н/о	н/о	0,9
11.	У-211	С= 6-9	51,0	727,0	91	н/о	н/о	н/о	н/о	0,4
12.	У-212	С= 6-9	51,0	727,0	83	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
13.	У-213	С= 6-9	51,0	727,0	87	н/о	н/о	н/о	н/о	0,2
14.	У-214	С= 6-9	51,0	727,0	79	н/о	н/о	н/о	н/о	0,2
15.	У-215	С= 6-9	51,0	727,0	84	0,1	н/о	0,9	н/о	0,2
16.	У-216	С= 6-9	51,0	727,0	76	0,1	н/о	0,5	н/о	0,3

17.	У-217	C= 6-9	51,0	727,0	78	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
18.	У-218	C= 6-9	51,0	727,0	81	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
19.	У-219	C= 6-9	51,0	727,0	89	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
20.	У-220	C= 6-9	51,0	727,0	75	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о

- ареалы рассеивания всех загрязняющих веществ имеют распространение непосредственно вблизи технологических объектов;

- на границе санитарно-защитной зоны концентрации загрязняющих веществ имеют значения, характеризующиеся допустимыми пределами;

- за пределами границ санитарно-защитной зоны превышение концентраций загрязняющих веществ также не было зафиксировано.

Оценка уровня загрязнения компонентов окружающей среды

Суммарные показатели загрязнения атмосферного воздуха определяются по формуле:

$$d_a = 1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i * (d_{ia} - 1),$$

где d_a — уровень загрязнения атмосферного воздуха;

α_i — коэффициент изоэффективности для i -го загрязняющего вещества, равный:

- для первого класса опасности — 1,0;

- для второго класса опасности — 0,5;

- для третьего класса опасности — 0,3;

- для четвертого класса опасности — 0,25;

d_{ia} — уровень загрязнения i -м загрязняющим веществом, рассчитанный по результатам опробования на границе СЗЗ породных отвалов атмосферного воздуха;

n — число загрязняющих веществ (определяется ассоциацией загрязняющих веществ, установленной для изучаемого накопителя отходов производства).

Уровень загрязнения соответствующего компонента среды определяется по формуле:

$$d_{ia} = C_{ia} / \tilde{I} \tilde{A} \tilde{E}_{ia},$$

где C_{ia} — усреднённое значение концентрации i -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$);

ПДК_{ia} — предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$).

Усреднённое значение концентрации загрязняющих веществ в соответствующем компоненте окружающей среды рассчитывается по формуле:

$$\tilde{N}_{ia} = 1/r * \sum_{j=1}^r C_{jia},$$

где r — общее число точек замера атмосферного воздуха на содержание загрязняющих веществ;

k — общее число точек отбора проб почвы на содержание загрязняющих веществ;

C_{jia} — концентрация i -го загрязняющего вещества в j -й точке отбора проб воздуха ($\text{мг}/\text{м}^3$).

В результате непосредственных измерений концентраций химических элементов и соединений на границе СЗЗ получены следующие данные C_{jia} , которые представлены в табл. 3.

Результаты расчета степени загрязнения и их сравнение с ПДК показывают, что превышение норм не

наблюдается. При этом суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха будет равен $d_a = 0,03$.

Согласно проведённому расчёту загрязнение атмосферного воздуха на границе СЗЗ рудника Ушкатын-III относится к допустимому уровню, так как суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха ($d_a = 0,03$) имеет низкое значение, а содержание загрязняющих веществ не превышает ПДК.

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ГРАНИЦЕ СЗЗ

Номер точек отбора проб на анализы	Наименование загрязняющего вещества, $\text{мг}/\text{м}^3$					
	$\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{H}_4, \text{C}_2\text{H}_2$	$\text{NO} + \text{NO}_2$	Формальдегиды и амины	CO	H_2S	Пыль неорганическая
У-201	78	0,2	0	0	0	0
У-202	76	0,2	0		0	0
У-203	76	0,1	0	0	0	0,1
У-212	83	0,3	0	0	0	0
У-213	87	0,3	0	0	0	0,4
У-214	79	0	0	0	0	0,4
У-215	84	0,2	0		0	0,2
У-216	86	0,2	0		0	0,3
Среднее C_{ia}	81,1	0,19	0	0,56	0	0,2

Прогнозная оценка воздействия на окружающую среду рудника Ушкатын-III

Наиболее опасным процессом, загрязняющим атмосферу в районе, в настоящее время и на перспективу является пылеобразование природное и техногенное.

Природное (естественное) пылеобразование в период сильных ветров, вызывающих дефляцию, несмотря на кратковременность, по своим масштабам и пыленасыщенности атмосферы может достигать катастрофических значений и иметь характер типичных пылевых бурь и формировать золовые рельефы, легко поддающиеся развеиванию.

В целом природное пылеобразование (дефляция) не является в районе угрожаемым и зависит, с одной стороны, от антропогенной нагрузки на почвенный покров, с другой — от экстремальных процессов, и именно поэтому его прогнозирование является очень сложным и трудоемким процессом, требующим большого количества наблюдений, в том числе и стационарных.

Поскольку все источники пылеобразования расположены на довольно ограниченной площади, то в безветренную погоду эта площадь образует

компактный ареал повышенной концентрации и оказывает негативное воздействие на органы дыхания человека и животных, а также приводит к угнетенному развитию растительного покрова.

В период сильных ветров этот компактный пылевой ареал распространяется по розе ветров,

аккумулируя в приземном слое наиболее крупные частицы пыли и разнося на значительные расстояния наиболее мелкие, достигая границ Тузкольского месторождения подземных вод, что приводит к возможному загрязнению марганцем и железом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временная инструкция о порядке оценки воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду (ОВОС) в Республике Казахстан. РНД 03.02.01-93. 30 с.
2. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. СПб, 1995. 50 с.

УДК 622.86:622.26.004.5

А.К. АКИМБЕКОВ
Т.В. ДЕМИНА
В.Ф. ДЕМИН

Выбор оптимальных параметров работы высокопроизводительных очистных забоев с обеспечением безопасного выполнения производственных процессов

Определяющими параметрами выемочного столба являются его протяженность и длина очистного забоя. Средняя длина выемочного столба в Германии и Великобритании изменяется от 2,1 до 2,3 км, в Австралии составляет 1874 м, в США — 2570 м. Самый длинный выемочный столб в мире отрабатывался в США на шахте Twetymajl — 5365 м [1]. В ряде работ [2-6] определены оптимальные параметры (длина лавы, выемочного столба и сечения выработок) по критерию минимума текущих затрат на подготовку и эксплуатацию выемочного участка. Рекомендуемая ими протяженность выемочного столба в зависимости от мощности пласта находится в пределах 2,5-5,0 км при длине лавы 250-300 м. Однако при этом никак не задействованы принципы, учитывающие безопасность производства горных работ.

Оптимальные параметры технологических схем очистных работ могут определяться по критерию минимума текущих затрат на 1 т угля:

$$\tilde{N} = \frac{\sum \tilde{N}_i}{Q_{i\delta}} = \frac{\sum C_i}{L_{\tilde{n}\delta} P L_{\tilde{e}}} \rightarrow \min,$$

где $\sum C_i$ — сумма текущих затрат на подготовку и эксплуатацию выемочного участка по i -м видам работ, тыс. т;

Q_{np} — промышленные запасы выемочного участка, тыс. т;

L_{cm}, L_d — соответственно длина столба и лавы, м;

P — производительность пласта, т/м².

Оптимальное значение L_{cm} определялось методом нахождения минимума критерия по первой производной при $f'(L_{cm}) = 0$. В результате определен алгоритм оптимальной протяженности выемочного столба и лавы, приведенный в работе [7]:

$$L_{\tilde{n}\delta} = \sqrt{\frac{2V \left\{ 4 \left[a + bS_i + a + bS_{\tilde{a}} \right] \beta + q_o C_i + \tilde{N}_{\tilde{a}} + \right.}{r_1 m k_y S_{\tilde{a}} + r_1 m k_y S_{\tilde{e}} + r_1 m k_y S_{\tilde{e}\tilde{c}} + q_2 V P l}},$$

где S — проходное сечение выработки для струи

воздуха, м²;

V_{max} — максимальная скорость движения воздуха по лаве, м/с;

d — допустимая по правилам безопасности концентрация метана в исходящей струе воздуха, %;

K — коэффициент, учитывающий движение части воздуха по выработанному пространству за крепью выработки;

γ — объемный вес полезного ископаемого, т/м³;

r_k — ширина стружки, м;

$n_{\tilde{u}}$ — число циклов выемки;

q_d — метановыделение из лавы в исходящую струю воздуха, м³/т;

κ_n — коэффициент, характеризующий естественную дегазацию источников выделения метана в период отсутствия добычных работ;

V — скорость подвигания лавы, м/год;

r_1 — стоимость поддержания 1 погонного м выработки, т/год;

S_m, S_d — сечение соответственно монтажных и демонтажных выработок, м²;

β — коэффициент услуг вспомогательных цехов;

q_o — вес оборудования на 1 погонный м длины лавы, т;

m — мощность пласта, м;

$C_{ш}$ — общешахтная себестоимость, т/т;

Q — количество воздуха выработки, м³/с.

Для определения оптимальных параметров технологических схем очистных работ нами разработан программный интерфейсный модуль [8]. Модуль «Отчет в Excel» предназначен для сохранения входных данных, участвовавших в расчетах, и результатов моделирования в excel-файле (рисунок).

	А	В
1		
2		
3		
4	Оборудование, переменные	
5	Тип комбайна	ГПК, ГПКС
6	Тип крепи	КВВ-2
7	Тип конвейера	2Л100У
8	Очистные оборудование	Глиник, Фазос
9	Способ охраны выработки	Целик угля/Целик угля
10	Показатель устойчивости пород	Устойчивые
11	Сечение монтажной камеры (Smk)	12
12	Сечение конвейерного штрека (Sks)	12
13	Сечение вентиляционного штрека (Svs)	12
14	Сечение сбойных печей (Ssp)	12
15	Угол наклона монтажной камеры Amk	22
16	Угол наклона конвейерного штрека (Aks)	0
17	Угол наклона вентиляционного штрека (Avs)	0
18	Угол наклона сбойных печей (Asp)	22
19	Количество рам на метр выработки (Nr)	2,5
20	Крепость угля (Fcp)	1,35
21	Дмешаяная (Dm)	100000
22	Осуточная (Q)	4000
23	Производительность пласта (p)	2,5
24	Длина лавы (Ll)	250
25	Длина столба (Lst)	3000
26	Lv	1500
27	Ld	3000
28	Ltr	1500
29		
30	Себестоимость проведения	
31	Себестоимость проведения монтажных камер	11461969.32
32	Себестоимость проведения парного конве-го штрека	26888763.22
33	Себестоимость проведения вентиляционного штрека	13444381.61
34	Себестоимость проведения сбойных печей	2812116.486

В результате произведенных расчетов получены оптимальные параметры длины столбов по экономическим критериям в зависимости от мощности пласта, устойчивости боковых пород, длины лавы, нагрузки на очистные забои технологических схем очистных работ. Для примера в табл. 1 приведены оптимальные параметры протяженности выемочных столбов и длины лавы. Произведена также комплексная оценка влияния техногенных факторов с учетом сложившихся производственных условий работы очистных забоев. Математическая обработка статистического материала позволила установить функциональные зависимости влияния каждого фактора, установить закономерности влияния горно-геологических, горно-технических, технологических, организационных и социально-психологических факторов на безопасность разработки угольных пластов и определить эффективную область эксплуатации очистных забоев (табл. 2).

Таблица 1

ПРОТЯЖЕННОСТЬ ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА (КМ) ПРИ М=2,5 И 3,3 М ПРИ СРЕДНЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД $K_y=0,5$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ЛАВЫ

V	L _л 180 м	A, т	L _л 230 м	A, т	L _л 280 м	A, т	L _л 330 м	A, т	L _л 380 м	A, т
m=2,5										
5	3,1	3475	3,5	4100	3,8	4625	4,1	4750	4,3	5875
7	3,6	4525	4,1	6100	4,4	6875	4,6	7450	5,0	8025
10	4,3	6550	4,8	7000	5,1	8250	5,3	10500	5,5	11750
15	5,1	7125	5,6	10500	6,1	11875	6,3	13250	6,6	14625
20	5,3	9500	6,3	13000	6,7	14500	7,0	15500	7,2	16500
m=3,3										
5	2,7	3637	3,1	4250	3,3	5562	3,6	6375	4,0	7187
7	3,1	5012	3,4	6350	4,0	7187	4,0	8025	4,4	9862
10	3,4	7074	4,0	8500	4,3	9124	4,7	9750	5,0	12374
15	4,1	8811	5,66	11750	5,0	12686	5,5	16625	6,0	17561

20	5,0	10748	5,3	15000	5,7	16248	6,0	17500	6,5	18748
----	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------

При отработке выемочных столбов механизированным комплексом польского производства Глиник 08/22 с узкозахватным комбайном 2ГШ68Б определяющее влияние на безопасность очистных работ оказывает вынимаемая мощность угольных пластов. Так, в диапазоне 1,6-2,0 м (при длине лавы 190-210 м) обуславливаются снижение травмоопасности и повышение производительности труда (до 400 т/мес) по сравнению с диапазоном 2,6-2,7 м (лава длиной 160 м, производительность труда — 330 т/мес), в котором увеличиваются проявления горного давления и, как следствие, увеличение объемов работ в лаве с управлением кровли в призабойном пространстве лавы; и в 4 раза при мощности пласта 1,2 м (лава длиной 230 м, производительность труда — 650 т/мес), что связано со стесненностью производственных процессов, несмотря на струговую выемку угля (при примерно равной сменной 1000-1200 т и большей для первого диапазона суточной нагрузке 2500-3000 т, а главное, увеличенной в два раза скорости подвигания лавы — 8,7-5,0 против 3,3 м/сут — для комбайновых лав).

С учетом трудноуправляемой кровли в лаве при механизированном комплексе польского производства ПИОМА 24/45 при использовании высокопроизводительных: немецкого комбайна SL300 (против КК 500) и российского забойного конвейера КС 34 (против КС 30П) при мощности пласта 2,5-3,5 м (при длине лавы 210-245 м) обеспечивается высокая производительность труда (до 90-1000 т/мес), повышение безопасности работ в 3 раза по сравнению с мощностью отрабатываемого пласта 3,7-4,0 м (лава длиной 160 м, производительность труда — 500 т/мес), независимо от схемы проветривания, и следовательно, объемов работ по поддержанию выемочных выработок (при примерно равной сменной 1000-1200 т и большей для первого диапазона суточной нагрузке 5400-5000 т, и, следовательно, увеличенной в два раза скорости подвигания лавы (7,8-4,8 против 3,3 м/сут), что предопределяет меньшую величину действующего опорного давления впереди и позади лавы.

При применении морально устаревшей механизированной крепи 2ОКП70К независимо от сопутствующего набора оборудования минимальная травмоопасность достигается при длине лавы 140-165 м при прочих равных параметрах.

Для механизированной крепи 2УКП5 с комбайном SL300 и забойным конвейером КС 34 при движении лав по простиранию пласта при мощности пласта 4,26 м и длине лавы 200 м (против 3,7 м и длине лавы 186м), при разной сменной 1800 (против 850 т) и большей для первого диапазона суточной нагрузке 5300 т (против 1730 т), и, следовательно, увеличенной в два раза скорости подвигания лавы (4,36 против 1,8 м/сут) достигается снижение травмоопасности работ на 21-25 %.

Таблица 2

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПО ФАКТОРУ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ОЧИСТНЫХ РАБОТ В ЛАВАХ С ВЫСОКОЙ СМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Тип очистного оборудования			Оптимальный технологический параметр											
механизация крепильной круппы	узкозахватного комбайна (струга)	забойного конвейера	частота случаев/месяц	угол падения пласта, град	вынимаемая мощность пласта, м	нагрузка на лаву, т		длина лавы, м	подвигание лавы, м/сут	достигаемая производительность труда, т/мес	нарушенность выемочного столба	число работающих, чел	характеристика пород кровли, почвы	схема проветривания выемочного участка
						сменная	суточная							
Глиник 08/22	2ГШ68	KC26	0,25	4-14	1,6-2,0	1000-1200	2500-3000	190-210	5,0-8,7	400	низкая	150	среднеупр. авляемые	прямоточная
Пиома 24/45	SL300	KC34	0,285	13-15	2,5-3,5	1000-1200	5000-5400	210-245	4,8-7,8	900-1000	низкая	150	до трудноупр. авляемых	возвратно-прямоточная
2 ОКП 70К	1КШЭ (SL300)	KC26 (KC34)	0,14 0,25	8-16	4,0	1200	3000-3300	140-165	3,2-3,5	370-490	до высокой	185	среднеупр. авляемые	прямоточная
2 УКП5	SL300	KC34У	0,5	7-9	3,7	2000	4100	186	2,4	300	до высокой	200	до трудноупр. авляемых	возвратноточная
Фазос 24/53	SL500	PF-4	0,2	14	4,3	1900	5900	180	5,4	665	до высокой	240	до трудноупр. авляемых	прямоточная

При применении комплекса ФАЗОС 24/53 и 12/28 с комбайном SL300 и забойным конвейером PF-4 обеспечивается достаточно высокий уровень безопасности очистных работ, однако они имели пока лишь разовое использование.

Соотнося полученные при реализации экономикоматематической модели оптимальные параметры технологических схем с установленными значениями по фактору безопасного ведения очистных работ, можно дать следующие рекомендации.

При разработке угольного пласта мощностью 2,0-2,5 м гидрофицированным комплексом ПИОМА

(Польша) с узкозахватным комбайном KBB-2 (Россия) или SL300 (Германия), обеспечивающих суточную нагрузку на лаву 3-10 тыс. т, при применении комплекса синтезированных рациональных звеньев технологической схемы очистной выемки, определенных по разработанной экспертной системе выбора оптимальных элементов подсистемы «очистных работ», достигается повышение безопасности производственных процессов в лаве, на сопряжениях и на прилегающих выработках в 2,0-2,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рейд Б. Международный обзор лав // Коул Эйдж. 1997. № 9/10. С. 20-22.
2. Козовой Г.И. Организационно-техническое обеспечение инновационной деятельности угледобывающего предприятия: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 1993. С. 36-39.
3. Отчет № 01.57.0050701. КНИУИ. Определить объемы возможного применения струговой выемки на действующих шахтах Минуглепрома СССР. Этап: Провести анализ горно-геологических и горно-технических условий разработки пластов мощностью 0,4-2,0 м с углами падения до 35° и разработать методику определения объемов применения средств струговой выемки на шахтах Минуглепрома СССР. Караганда, 1987. С. 70.
4. Теньес Б. Инновационные высокопроизводительные добычные участки на шахтах компании ДСК — первые итоги и следствия // Глюкауф. 2000. № 9. С. 11-17.
5. Зыков В.М. Длина лавы и выемочного участка при комплексной механизации очистных работ. М., 1963. С. 35.
6. Отчет № 013802. КарГТУ. Совершенствование технологических схем и параметров высокопроизводительных лав УД ОАО «Испат-Кармет». Караганда, 2001. С. 42.
7. Демин В.Ф. Создание технологии эффективной выемки маломощных и сложноструктурных пластов с использованием шахтной породы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Караганда, 2004. 36 с.
8. Яворский В.В., Демин В.Ф., Демина Т.В. Программный интерфейсный модуль по направлению «Проектирование интеллектуальных систем на угольных шахтах» на тему: «Определение оптимальных параметров технологических схем очистных работ». Караганда: КарГТУ, 2004. 23 с.

УДК 622.411.332(574.31)

Н.Ф. ГРАЩЕНКОВ
Ж.Г. ЛЕВИЦКИЙДинамика скопления метана в малых куполах
подготовительных выработок

Практика показывает, что контур крепления не всегда соответствует контуру горной выработки и за крепью остаются пустоты различной величины и формы. В газовых шахтах пустоты являются местами скопления метана, поэтому изучение как форм пустот и куполов, так и условий скопления метана в них

имеет существенное значение для обеспечения безопасности работ в подготовительных выработках. Интерес представляет процесс выноса метана из куполов и пустот сравнительно небольших размеров, от (5–6)·10⁻² до (7–8)·10⁻¹ метров по высоте. Такие

купола и пустоты чаще всего имеют место в сопряжениях стенок и кровли и недостаточно эффективно контролируются пылевентиляционной службой шахт. По длине выработок они достигают протяженности до 10 метров.

Процесс вымывания метана из куполов небольших размеров может быть описан следующим дифференциальным уравнением:

$$Sqdt + Qc_0dt - Qk_1cdt = Vdc, \quad (1)$$

где S — площадь поверхности купола;

Q — количество воздуха, поступающего в купол;

c_0 — концентрация метана в струе, поступающей в купол;

c — средняя концентрация метана в куполе;

t — время от начала образования купола;

k_1 — коэффициент турбулентной диффузии частично загазованной струи;

V — объем купола;

q — интенсивность метановыделения с 1 м² площади обнажения.

Здесь и ниже единицы измерения даются в системе СИ.

По данным исследований В.В. Воронина [1], коэффициент частично загазованной струи определяется из выражения

$$k_1 = k + (1 - k) \frac{c_0}{c}, \quad (2)$$

где k — коэффициент турбулентной диффузии чистой струи.

Интенсивность метановыделения с единицы обнажения поверхности пласта для условий Карагандинского бассейна определяется по формуле [2]

$$q = q_0 t^{n-1}, \quad (3)$$

где q_0 — интенсивность газовой выделения в первый момент обнажения, м³/м²·с;

n — коэффициент, зависящий от свойств пласта.

После подстановки (2) и (3) в (1) и несложных преобразований в итоге получим

$$\frac{dc}{dt} + Ac = Bt^{n-1} + D. \quad (4)$$

Здесь

$$A = \frac{Qk}{V}; \quad B = \frac{Sq_0}{V}; \quad D = \frac{Qkc_0}{V}. \quad (5)$$

В момент времени $t = 0$ и $c_0 = 0$ уравнение (4) примет вид

$$\frac{dc}{dt} + Ac = 0. \quad (6)$$

Откуда следует

$$c = Ne^{-At}, \quad (7)$$

где N — неизвестный коэффициент, зависящий от t .

После дифференцирования (7) по t получим

$$\frac{dc}{dt} = \frac{dN}{dt} e^{-At} - NAe^{-At}. \quad (8)$$

Подставляя (8) и (7) в (4), после интегрирования находим, что

$$N = B \int_0^t e^{At} t^{n-1} dt + D \int_0^t e^{At} dt. \quad (9)$$

С учетом (9) выражение (7) примет вид

$$c = Be^{-At} \int_0^t e^{At} t^{n-1} dt + De^{-At} \int_0^t e^{At} dt. \quad (10)$$

Интегрирование полученной зависимости дает следующее приближенное выражение для определения средней концентрации метана в куполе

$$c = \frac{Bt^{n-1}}{A} + \frac{D}{A}.$$

После замены величин A , B и D их значениями, согласно (5), получим

$$c = \frac{Sq_0 t^{n-1}}{kQ} + c_0. \quad (11)$$

Для рассматриваемых условий значение коэффициента турбулентной диффузии может быть принято равным [1]

$$k = \frac{0,16ay}{h}, \quad (12)$$

где a — коэффициент структуры свободной струи, равный 0,1–0,15;

y — длина купола;

h — высота выработки.

Количество воздуха, которое может попасть в купол, определяется из условия распространения свободной струи в ограниченном пространстве по формуле [3]

$$Q = 0,154 y b u_{\text{зр}}, \quad (13)$$

где $u_{\text{зр}}$ — скорость движения воздуха под кровлей;

b — ширина выработки по кровле.

Величина граничной скорости определяется из выражения [1]

$$u_{\text{зр}} = u_{\text{зр}} \left(1 - 1,35 \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} \right), \quad (14)$$

где $u_{\text{зр}}$ — средняя скорость движения воздушного потока в выработке;

α — коэффициент аэродинамического сопротивления выработки;

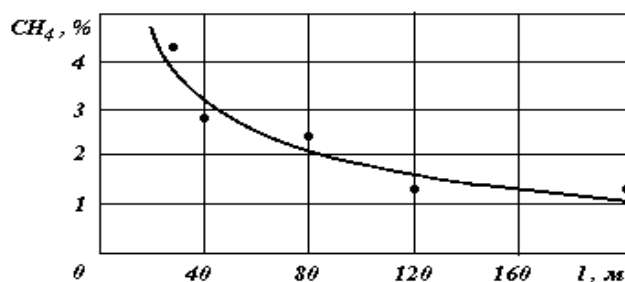
α_1 — коэффициент структуры воздушной струи, равный 0,0032–0,0038.

Подставляя (12), (13) и (14) в (11), получим расчетную формулу для определения средней концентрации метана в небольших куполах подготовительных выработок

$$c = \frac{40,58 q_0 h S t^{n-1}}{a b y^2 u_{\text{зр}} \left(1 - 1,35 \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} \right)} + c_0. \quad (15)$$

На рисунке полученная зависимость представлена графически. Там же нанесены выполненные группой авторов [4] результаты экспериментальных замеров концентраций метана в куполах подножного штрека шахта №22 Карагандинского бассейна, сравнительная

оценка которых показывает, что совпадение теоретической кривой с данными экспериментальных исследований удовлетворительное.



Изменение средней концентрации метана в куполах высотой 0,25 м по длине подготовительной выработки

Оценивая в целом результаты теоретических и экспериментальных исследований, следует отметить,

что основное влияние на величину концентрации метана над затяжками оказывают интенсивность газовыделения и характер вентиляционного потока. Интенсивность газовыделения уменьшается с течением времени существования выработки, что и обуславливает снижение концентрации метана в куполах по мере удаления их от забоя подготовительной выработки.

Существенное влияние на возможность скопления метана над затяжками кровли оказывает структура воздушного потока. При равномерном потоке воздуха и достаточно высокой скорости воздушной струи концентрация метана на высоте 0,4–0,5 м от затяжек может достигать взрывоопасных концентраций. В местах завихрений воздушных потоков скоплений метана не наблюдается даже при значительном выделении газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин В.Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. М.: Углетехиздат, 1951. 491 с.
2. Фоминых Е.И. Некоторые закономерности выделения метана в подготовительные выработки шахт Карагандинского бассейна // Научные тр. КНИУИ. Вып. 19. М.: Недра, 1966.
3. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. М.: Недра, 1975.
4. Гращенков Н.Ф., Берликулов М.Б., Силаев В.В., Смагулов З.М. Исследование скопления метана в кровле подготовительных выработок // Известия вузов. Горный журнал. 1965. №4.

УДК 621.311.22

Н.К. ЦОЙ

Оценка влияния параметров выбросов вредных веществ на значение максимальной приземной концентрации

Отходящие газы, поступающие в воздушный бассейн при технологических процессах на предприятиях различных отраслей промышленности, содержат определенное количество взвешенных веществ, которые отличаются рядом свойств: формой, размерами частиц (дисперсностью), химическим составом, электрическими и магнитными свойствами.

Основными источниками загрязнения воздушного бассейна являются теплоэнергетические предприятия. На долю тепловых электростанций приходится 29 % загрязнения, на предприятия цветной и черной металлургии — 24 и 10,5 % соответственно, нефтехимической промышленности — 15,5 %, строительной индустрии — 8,1 % и химической отрасли — 1,3 %. Более 40 % общих выбросов пыли, 70 % оксидов серы и более 50 % оксидов азота приходится на предприятия энергетики [1].

Выбросы в атмосферу от промышленных объектов весьма разнообразны, они содержат оксиды серы, азота, углерода и твердые частицы. Так, в эмиссии загрязняющих веществ, в среднем, содержание твердых частиц составляет более 15 %.

Предприятия, поставляющие строительные материалы и изделия, также являются существенными загрязнителями окружающей среды. Технологические схемы производства строительных материалов включают добычу, доставку, измельчение и рассев сырья, затем смешивание компонентов между собой, последующее прессование, сушку, обжиг и, наконец, отбраковку и упаковку готовых изделий. Существующая тенденция широкого использования

порошковых компонентов усложняет задачу пылеулавливания. Значительными источниками пылеобразования являются открытые склады нерудных материалов (песка, гравия, щебня) и древесная пыль, образующаяся при обработке изделий из дерева.

Опасным загрязнителем атмосферы пылью является цементная промышленность. Цементная и известковая пыль «сжигает» растения. Основными источниками загрязнения пылью и газами таких заводов являются помольный цех и участки обжига. В цехе подготовки сырья большая часть пылеобразования приходится на дробилки и сушильные барабаны глины и известняка. Газы сушильных барабанов содержат пыли 15...40 г/м³, а аспирационный воздух сырьевых мельниц принимает большее значение.

На участках обжига пыль образуется в сушильных барабанах угля и в цементных печах. В первом случае газы содержат 30...150 г/м³ пыли, во втором — 10...20 г/м³. При этом до 10 % угля уносится только из сушильных барабанов и угольных мельниц [1].

Источниками пылевыведения на производствах минеральной ваты являются участки технологической линии производства, участки формирования плит готовой продукции, участки погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки стекловаты. Повышенное выделение пыли отмечается на многих участках производства [1]. На всем протяжении технологической линии происходит погрузка-разгрузка сыпучего материала, его транспортирование, сушка, измельчение,

заполнение и разгрузка емкостей, дозирование, то есть процессы, связанные с динамикой сырья.

Наибольшая запыленность (до 120 мг/м^3) наблюдается в загрузочном цехе, в галерее и у элеваторов при производстве минеральной ваты. Несколько меньшая запыленность (до 42 %) около сушильных барабанов и мешалок. В печном отделении наибольшие концентрации пыли (до 12,5 %) выявлены при загрузке насадки в печь. На участке формирования, упаковки и складирования минеральных плит большое количество пыли выделяется при резке последних дисковыми пилами (концентрация пыли составляет до 7,5 %).

Предприятия древесной промышленности являются источниками загрязнения окружающей среды различными вредными веществами, основным из которых является аэрозоль. Загрязнение воздушного бассейна деревообрабатывающими предприятиями превышает допустимые нормы из-за низкой эффективности пылеулавливающего оборудования. Древесная пыль относится к четвертому классу опасности.

Существенным загрязнителем воздуха являются асфальтобетонные заводы, особенно нестационарные. Здесь при работе с заполнителями образуется большое количество пыли. Существует тенденция переноса таких предприятий за пределы города.

Значительными загрязнителями атмосферы помимо асфальтобетонных, известковых, цементных, деревообрабатывающих заводов являются предприятия по выпуску керамзита, товарной бетонной смеси и сборного железобетона, по добыче и переработке нерудных материалов и другие. Положение усложняется появлением в числе строительных материалов изделий на основе полимеров, являющихся весьма токсичными.

Если проанализировать деятельность предприятий и их влияние на состояние окружающей среды, то можно сделать вывод, что рассеивание загрязняющих веществ выходит далеко за пределы санитарно-защитных зон. Так, для предприятий по производству цемента эта величина составляет 1000 м [2], по производству минеральной ваты — 300 м. Данный анализ можно подтвердить расчетом максимальных приземных концентраций для предприятий по производству цемента со стандартными исходными данными. Основные характеристики плана эксперимента и значения максимальных приземных концентраций в зависимости от условий планирования эксперимента представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТА

Показатель	Фактор эксперимента			
	температура отходящих газов, X_1		высота источника загрязнений, X_2	
	код	$^{\circ}\text{C}$	код	м
Основной уровень	0	700	0	22,5
Интервал варьирования		100		2,5
Нижний уровень	-1	600	-1	20
Верхний уровень	+1	800	+1	25

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

№	Условие планирования эксперимента температура отходящих газов, T , $^{\circ}\text{C}$	высота трубы, h , м	Значение максимальной приземной концентрации, C_m , мг/м^3
1	600	20	898
2	800	20	641
3	600	25	269
4	800	25	215
5	800	22,5	528
6	600	22,5	325
7	700	25	579
8	700	20	336
9	700	22,5	410

В результате математической обработки данных табл. 2 получена следующая закономерность:

$$C_i = 405 - 18 \times \tilde{O}_1 + 135 \times \tilde{O}_2 + 50,75 \times \tilde{O}_1 \times \tilde{O}_2 - 31 \times \tilde{O}_1^2 + 62 \times \tilde{O}_2^2, \quad (1)$$

где X_1 — кодированное значение температуры отходящих газов;

X_2 — кодированное значение высоты трубы.

При этом коэффициент корреляции составил 0,7.

На основании полученного уравнения связи на рис. 1 и 2 приведены графики зависимостей значений максимальной приземной концентрации цементной пыли от температуры отходящих газов и высоты источника выбросов.

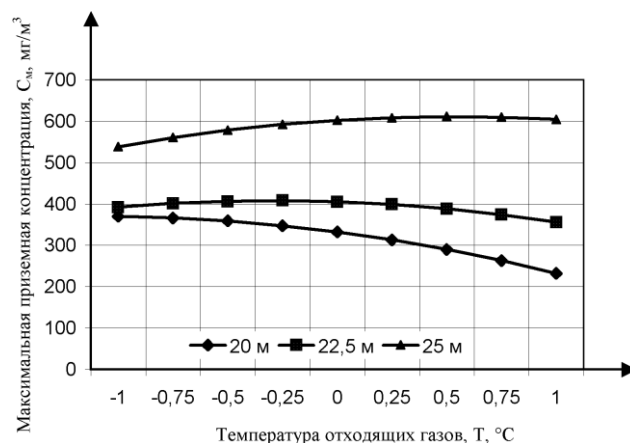


Рис. 1. Зависимость максимальной приземной концентрации от температуры отходящих газов

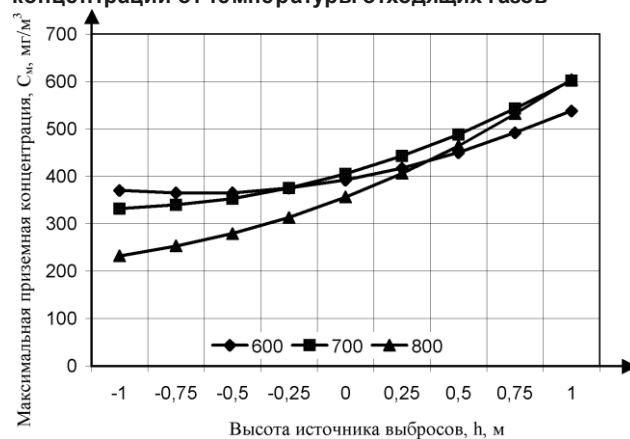


Рис. 2. Зависимость максимальной приземной концентрации от высоты источника выбросов загрязняющих веществ

Анализ полученных графиков показывает, что наибольшее значение максимальной приземной

концентрации отмечается при температуре отходящих газов 650°C для источника выбросов загрязняющих веществ высотой 25 м, а минимальное значение максимальной приземной концентрации — для источника загрязнения воздушного бассейна высотой 20 м при температуре 800°C.

Согласно санитарным нормам проектирования промышленных предприятий для атмосферного воздуха населенных пунктов, в местах размещения крупных санаториев, домов и зон отдыха, городов с населением более 200 тыс. человек максимальная приземная концентрация не должна превышать 0,8 ПДК [3]. Расчет эпюр рассеивания цементной пыли для максимальной приземной концентрации, равной 215 мг/м³, от источника и выбросов высотой 25 м и температурой отходящих газов 800°C показал, что в данном случае достижение требуемого результата возможно только на расстоянии 6720 м от источника

выброса, в то время как размер санитарно-защитной зоны для предприятия с представленными исходными параметрами предусмотрен в 1000 м.

Исследования показали, что снижение максимальной приземной концентрации обусловливается увеличением температуры отходящих газов и уменьшением высоты источника выброса. Последнее подтверждается анализом аналитических и графических материалов. Так, ухудшение процесса рассеивания, т.е. увеличение максимальной приземной концентрации отмечается при увеличении высоты источника выброса и температуры газовой смеси. Исходя из вышеизложенного следует, что при расчетах максимальной приземной концентрации значения последней определяются в основном температурной инверсией и высотой источника выброса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балтренас П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. М.: Стройиздат, 1990. 184 с.
2. СН 245-71 Санитарно-защитные зоны. Требования к выбору площадки для строительства и проектирования генеральных планов.
3. Сахаев В.Г., Щербицкий Б.В. Справочник по охране окружающей среды. Киев: Будівельник, 1986. 152 с.

Раздел 3

Машиностроение. Металлургия

УДК 515.2+612.2

В.И. ИЛЬКУН
М.И. СИТКИН

О системном подходе к проектированию деталей машин

В настоящее время в курсе «Детали машин» существует большое количество методик расчета деталей различного функционального назначения. Однако зачастую в этих методиках не учитываются совсем или частично существующие ГОСТы, содержащие информацию по конструкции, технологии изготовления и методике расчета как самих деталей, так и их частей и элементов.

Под элементом детали понимается поверхность или совокупность нескольких поверхностей и плоскостей, предназначенных для выполнения определенных конструктивных или технологических функций в местах сопряжения деталей (например, фаска, проточка, выкружка, шлицевые пазы и т.д.). Часть детали – совокупность двух и более элементов, выполняющих одну или несколько функций (например, головка болта предназначена для фиксации, отвинчивания или завинчивания болта). Все детали машин имеют две и более частей (головка, стержень, резьбовая часть болта; ступица, спицы и обод шкива и т.д.).

Деталь при этом можно рассматривать как взаимосвязанную композицию частей и элементов, выполняющих основное и вспомогательное назначение [1]. Структура детали представлена на рис. 1.

Для эффективного выбора и расчета деталей машин предлагается систематизировать данные по проектированию и подбору конструктивных размеров элементов и частей деталей.

Проектирование и конструирование деталей является сложным процессом, в котором требуется решение комплексных задач. При конструировании деталей необходимо учитывать условия эксплуатации, монтажа (демонтажа), технологии изготовления и надежность детали. Эти требования в большинстве случаев носят противоречивый характер, поэтому выбор оптимального варианта конструкции требует использования системного подхода [2].

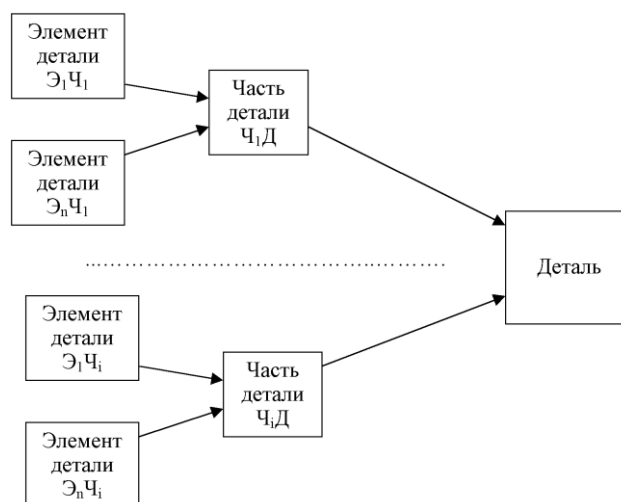


Рис. 1. Иерархическая структура детали:
 n — количество элементов (Э), входящих в соответствующую часть (Ч) детали (Д); $n=2,3,4, \dots$; i — количество частей (Ч), входящих в деталь (Д); $i=1,2,3, \dots$

В отличие от ранее принятых критериев классификации [2] нами предложена развернутая

блок-схема (рис. 2), связывающая геометрические, технологические и расчетные параметры детали в один комплекс.

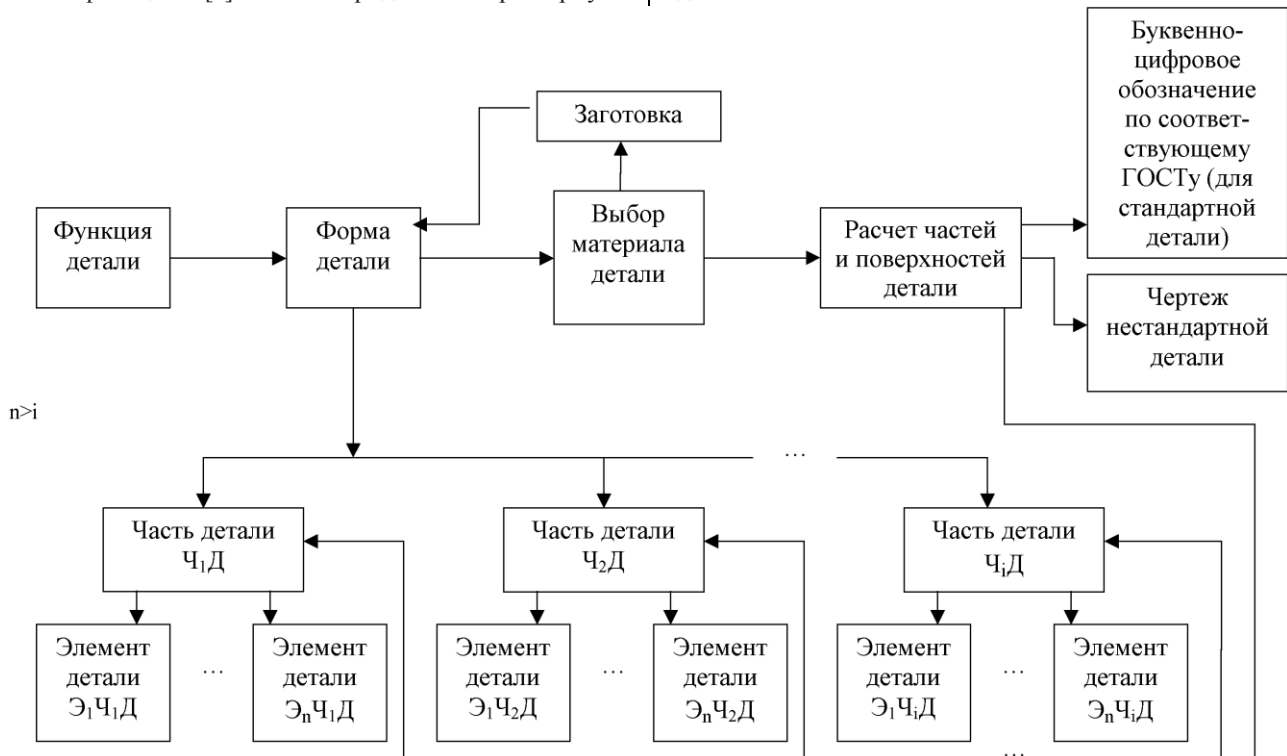


Рис. 2. Развернутая блок-схема проектирования детали

При проектировании функция детали (т.е. ее назначение) в машиностроительной конструкции является основной. Эта функция определяет форму (конфигурацию) детали. Поскольку сейчас существует множество деталей идентичного функционального назначения, форма детали должна быть отработана достаточно корректно.

Следующим этапом является выбор конструкционного материала, из которого изготавливают деталь. Взаимосвязь формы с материалом проявляется достаточно четко. Для обеспечения работы по выбору конструкционного материала нами разработаны соответствующие рекомендации [3], предполагающие использование семантико-функциональной зависимости (назначение (функция) детали — форма детали — наименование детали).

После выбора конструкционного материала проводят расчет и подбор геометрических размеров частей и элементов детали. При этом придерживаются последовательности, рекомендованной в курсах «Сопротивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Основы теории механических колебаний» и др.

Конструктивные размеры, полученные в результате расчета, наносят на соответствующие части и элементы деталей в соответствии с правилами простановки размеров. Выполнение чертежей деталей (валы, оси, рычаги и др.) необходимо осуществлять с согласованием посадочных размеров, посадок и шероховатостей сопрягаемых частей (или элементов) деталей между собой.

Для стандартных деталей (болты, гайки и др.) размеры и шероховатость поверхностей указывают с помощью буквенно-цифровых обозначений, примеры которых приведены в соответствующих ГОСТах на стандартные детали. Структура обозначения содержит наименование детали, основные размеры, выдерживаемую нагрузку (напряжение), конструктивные размеры для сопряжения с другими деталями (деталью), допуск на резьбу (для болтов и гаек), сведения об антикоррозионных покрытиях и др., а также государственный (межгосударственный) стандарт на эту деталь.

В результате просмотра указателя межгосударственных стандартов СНГ за 1998 год выделены стандарты, входящие в шестнадцать групп трех разделов (Г0, Г1, Г3). В стандартах данных групп содержится информация об элементах деталей различного функционального, конструктивного и технологического назначения в деталях машин и механизмов. Обозначения и наименования разделов, групп приведены ниже:

Обозначения раздела, группы	Наименование раздела, группы
Г0	Общие правила и нормы
Г02	Нормы расчета и проектирования
Г1	Общие детали и узлы машин
Г10	Классификация по номенклатуре и общие нормы
Г11	Детали и узлы, общие для различных машин и механизмов
Г13	Резьбы
Г14	Соединения шпоночные, шлицевые и клиновые
Г15	Передачи зубчатые и фрикционные. Приводы и трансмиссии
Г16	Подшипники

Г17	Гидравлические, пневматические и смазочные устройства общего назначения
Г18	Арматура и соединения трубопроводов
Г3	Крепежные изделия общемашиностроительного назначения
Г30	Классификация, номенклатура и общие нормы
Г31	Болты
Г32	Винты. Шпильки
Г33	Гайки
Г34	Заклепки
Г36	Шайбы. Шплинты
Г37	Штифты

Стандартизированные элементы деталей машин в основном систематизированы в группах Г02, Г10, Г11, Г13, Г14, Г16, Г17, Г18, Г30.

Стандартные детали включены в группы Г11, Г15, Г31, Г32, Г33, Г34, Г36, Г37.

В результате систематизации полученной информации из ГОСТов элементы деталей были объединены по следующим признакам:

- а) функциональным,
- б) формообразующим,
- в) технологическим,
- г) расчетным.

К *функциональным* относятся факторы, определяемые ГОСТами, регламентирующими форму конструктивных элементов деталей в зависимости от выполняемых деталью функций:

- основной (например резьбовая часть болта, несущая силовую нагрузку, действующую на болт);
- вспомогательной (например накатка сетчатая или прямая на рукоятке жезлового маслоуказателя, не несущая силовой нагрузки и форма которой обусловлена эргономическими или антропометрическими требованиями).

К *формообразующим* отнесены ГОСТы и справочные данные, определяющие форму и размеры различных сопрягаемых элементов (поверхностей и плоскостей) деталей. При выборе геометрических размеров некоторых посадочных мест необходимо руководствоваться ГОСТами группы Г 02, например ГОСТ 6636-69 (нормальные линейные размеры),

ГОСТ 21098-82 (цепи кинематические, методы расчета точности).

К *технологическим* относятся в основном ГОСТы, в которых учитывается влияние технологических режимов обработки и упрочнения частей и элементов деталей машин, а также ГОСТы, определяющие конструкцию технологических элементов деталей машин (например, канавки для выхода шлифовального круга в крышках подшипников и посадочных местах валов для внутренних колец подшипников и др.), т.е. элементов деталей машин, в которых форма отдельных частей определяется нормативными геометрическими размерами).

К *расчетным* отнесены элементы деталей, размеры которых могут быть определены расчетным путем. К ним относятся в основном нестандартные части и элементы (проушины, ступицы колес и шкивов, элементы корпусных деталей и др.).

Всего насчитывается около 60 наименований элементов деталей машин, некоторые из которых имеют разновидности (например, цилиндрические стержни с кольцевой галтелью, подразделяются в зависимости от воспринимаемой нагрузки при растяжении, изгибе, кручении) и т.д. Из вышеперечисленных элементов деталей машин стандартизированы около 20.

Приведенная систематизация позволит осуществить системный подход к процессу проектирования деталей различного функционального назначения с учетом комплекса требуемых условий эксплуатации и технологичности изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илькун В.И. Об уравнении детали // Моделирование задач науки и техники методами начертательной геометрии: Межвузовский сб. науч. тр. Алма-Ата: КазПТИ, 1986. С. 89-90.
2. Чернов Л.Б. Основы методологии проектирования машин. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.
3. Илькун В.И. Методические разработки по курсу «Машиностроительные материалы»: Краткий словарь-справочник. Алма-Ата: РИК МВ и ССО КазССР, 1978. 52 с.

УДК 621.746

Л.А. ДАХНО
А.З. ИСАГУЛОВ
К.И. ЖАРКЕШОВ
А.Н. КЛИМУШКИН
А.А. СМОЛЬКИН

Качество поверхности листового металлопроката

Объектом настоящего исследования являлась металлопродукция текущего производства АО «Испат Кармет» (АО «Миттал Стил Темиртау»). Цель работы — исследовать природу и определить источники образования дефектов на поверхности проката в виде полосы (рулонов) из

низкоуглеродистых кипящих и полуспокойных сталей.

Актуальность работы определяется тем, что современный уровень стандартов на конструкционную листовую сталь предъявляет весьма жёсткие требования к качеству металлопродукции для

машиностроения и в первую очередь к качеству поверхности листов. Высококачественной считается холоднокатаная тонколистовая сталь особо высокой отделки поверхности (I группа), на лицевой стороне которой допускаются лишь незначительные поверхностные дефекты в виде отдельных мелких рисок длиной менее 20 мм. Плёны, пузыри-вздутия, расслоения, раскатанные неметаллические включения не допустимы. В большинстве случаев тонколистовая полосовая сталь применяется для штамповки изделий глубокой вытяжки, получения жести, сварных труб, листов с защитными антикоррозионными покрытиями, что практически должно исключать наличие поверхностных дефектов.

С целью выявления причин появления поверхностных дефектов экспериментально анализировали виды дефектов на поверхности холоднокатаного металлопроката из сталей марок 08КП, 08ПС, 10ПС, 17ГС и идентифицировали их в соответствии с ГОСТ 21014-88, Классификатором дефектов [1,2]. Далее из характерных мест дефекта, а также участков полосы без проявления дефектов вырезали карты для экспериментальных исследований. Основными методами служили: макро- и микроструктурный анализ, локальный микрозондовый.

Схема определения природы поверхностных дефектов включала следующие методы контроля: изучение топографии дефектов на поверхности листового проката с предварительной их классификацией; металлографическое исследование микроструктуры стали в участках проявления неметаллических включений как в зоне дефекта, так и в объёме металла; анализ технологических параметров сквозного передела слитка; исследование строения коркового слоя слитка методами макро- и микроанализа.

Основными видами дефектов на поверхности холоднокатаных полос и листов из низкоуглеродистых сталей являлись плёны и раскатанные газовые пузыри, также наблюдались полосы неизвестной природы, которые имели различную длину и ширину, цвет их был преимущественно светлых и тёмных тонов, располагались они вдоль направления основной схемы деформации листа (рис. 1). Дефекты на поверхности исследуемого проката экспериментально были разграничены на три группы: 1 — узкие продольные полосы с отслоениями; 2 — полосы в виде строчек тёмного цвета; 3 — прерывистые чешуйчатые отслоения с поперечными надрывами.

Указанные дефекты обычно проявлялись на расстоянии 100 мм от кромки полосы и далее до 1/4...1/3 по ширине листа. Металлографическое исследование микроструктуры, состава и распределения неметаллических включений по месту проявления дефектов позволило выявить характерные типы структур:

а) неметаллические включения в виде глобул оксидов железомарганцовистых силикатов; б) полости газовых пузырей (поверхностных и подкорковых), частично или полностью заполненных окалиной

(оксидами железа); в) хрупко разрушенные шлаковые неметаллические включения.

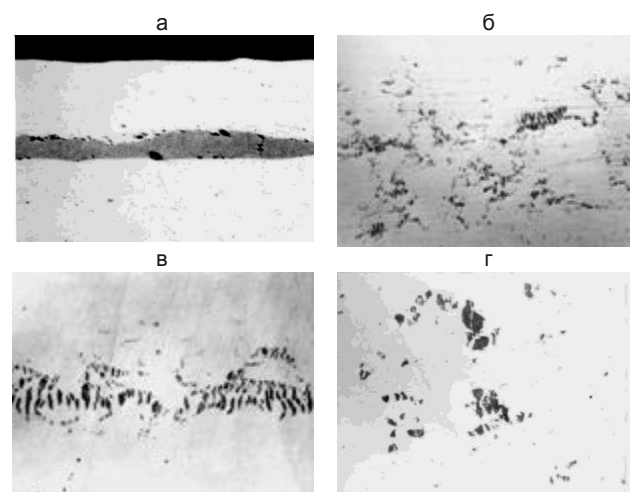


Рис. 1. Микроструктура стали по месту дефекта: а — неметаллические включения в холоднокатаном листе по поверхности дефекта, $\times 400$; б — оксидная плена в горячекатаном листе, $\times 400$; в — силикаты марганца в холоднокатаном листе, $\times 125$; г — неметаллические включения в плоскости листа, $\times 630$

В участках полосового проката, на поверхности которых визуальнo не наблюдались макродефекты, металлографическое исследование микроструктуры стали не показало наличия крупных неметаллических включений или вкатанной окалины.

Экспериментально выявленные участки микроструктуры соответствовали местам проявления дефектов на поверхности листового проката. Характерные типы дефектов нами были классифицированы на группы по анализу 20 промышленных плавок холоднокатаного (60 проб) и 17 плавок (45 проб) горячекатаного металла: 1 — плена; 2 — раскатанный пузырь; 3 — грубые неметаллические включения такие, как продукты раскисления стали, шлаковые включения (рис. 2).

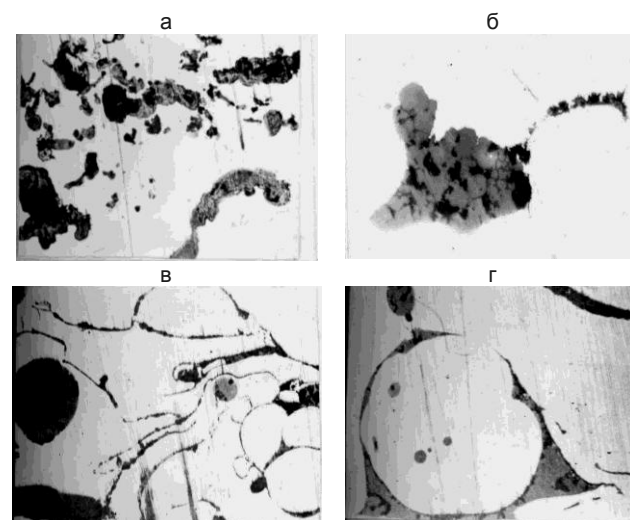


Рис. 2. Неметаллические включения и газовые пузыри в корковой зоне слитка: а — окисленные поры, $\times 100$; б — шлаковые включения в межсложных участках, $\times 630$; в — скрытые плёны и газовые пузыри, $\times 50$; г — пузыри, $\times 50$

заполненные металлом с оксидной оболочкой, $\times 120$

При контроле качества металлопродукции выявляется место проявления дефектов, хотя возникновение и формирование их происходит на различных стадиях технологического производства листового проката: разливка стали, нагрев для горячей деформации, холодная прокатка и отделка листа.

Металлографическая оценка структуры дефектов на поверхности холоднокатаного листа показала, что доля дефектов по раскатанному пузырю и неметаллическим включениям на металле из кипящих марок сталей составляла 31 и 51 %, спокойных — соответственно 22 и 67 %; слиточная плена 6,2 %, вкатанные частицы до 10 %.

Количественный анализ дефектов на поверхности горячекатаной полосы (подката) для получения жести характеризуется следующими результатами, %: плена — 37,5; раскатанный пузырь — 25; раковины — 12,5; механические повреждения до 25.

Однако необходимо учитывать, что морфологические признаки дефектов различной природы (сталеплавильного и прокатного происхождения) на поверхности металлопроката практически идентичны, и это затрудняет однозначное установление причин и источников их образования. Поэтому нами была сформулирована гипотеза: основная доля дефектов на поверхности металлопроката текущего промышленного производства АООТ «Испат Кармет» имеет сталеплавильное происхождение, т.е. первоначально дефекты образуются при разливке и кристаллизации стали, а основной источник их образования — химическая и газовая ликвация элементов в слитке.

Выдвинутая гипотеза формирования дефектов на поверхности металлопроката потребовала провести экспериментальное исследование микроструктуры металла по сквозному технологическому переделу слиток — сляб — горячекатаная полоса — холоднокатаный лист, что в условиях металлургического комбината (г. Темиртау) было сделано впервые. Такой метод исследования авторы настоящей работы разработали и применили для анализа качества поверхности холоднокатаной стали марки 08Ю в условиях металлургического комбината «Запорожсталь» (Украина) [3].

Поэтому для установления природы и источников образования поверхностных дефектов потребовалось изучить макро- и микроструктуру краевой зоны крупнотоннажных промышленных слитков. На уровнях 5, 25, 50, 75 и 95 % от верха слитка отбирали угловые темплеты с целью изучения макроструктуры поверхностных слоёв металла, так как впоследствии слиток направляют на прокатные переделы и должна сохраняться наследственность литого состояния. Однако последующие деформационные переделы значительно трансформируют структуру металла и приводят к образованию специфического структурно-концентрационного состояния. Были проанализированы темплеты, отобранные от 18 промышленных плавок, и установлены общие закономерности формирования структуры

поверхностного слоя металла в условиях металлургического производства.

Детальное изучение структуры стали показало неудовлетворительное состояние коркового слоя поверхности слитка, который формировался при существующей технологии выплавки и разливки стали. Корковая зона слитка стали 08КП имела повышенное содержание неметаллических включений и газовых пузырей (подкорковых, поверхностных), часто окисленных по внутренним стенкам пузыря, образующих оксидные оболочки, в составе которых по результатам микрозондового анализа содержалось до 85 % FeO и 7 % MnO (рис. 3).

Таким образом, исследование макроструктуры краевой зоны слитка позволило выявить принципиально важные факторы, непосредственно влияющие на качество поверхности: 1 — повышенная пористость и газонасыщенность металла, т.е. газовая ликвация в виде участков структурной и химической неоднородности, образующих каналы (несплошности) в корковой зоне слитка; 2 — подкорковые пузыри, расположенные близко к поверхности слитков и часто представляют собой внутренние, тонкие извилистые каналы, которые выходят на поверхность слитка.

Установленная топографическая картина макро- и микроструктуры приповерхностных слоёв слитка на последующих прокатных переделах из-за неоднородности пластической деформации аустенито-ферритной матрицы и оксидных фаз, приводит к трансформации поверхности металла и образованию на горяче-и холоднокатаной листовой (полосовой) стали поверхностных дефектов.

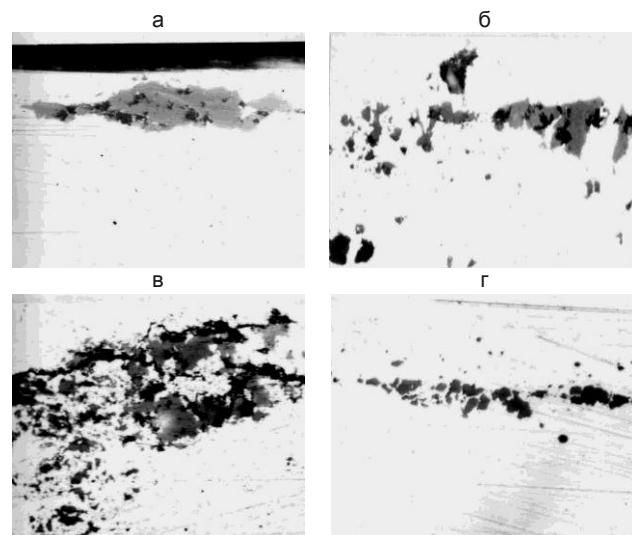


Рис. 3. Микроструктура стали в приповерхностных слоях холоднокатаных листов: а — раскатанный пузырь по толщине листа, $\times 630$; б — то же, шлиф по поверхности листа, $\times 500$; в — плена, $\times 500$; г — плена от неметаллических включений, $\times 630$

Сопоставление характера поверхностных дефектов по технологическим переделам слитков — листовой прокат показало, что на готовой холоднокатаной полосе, полученной деформацией слитка, проявлялись преимущественно дефекты поверхности, обусловленные слиточной пленой и

неметаллическими включениями, как продуктами раскисления стали (таблица).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ
(СТАЛЬ 08ПС), %

Дефект	Головная часть слитка	Середина слитка	Донная часть слитка	Всего
Раскисленный пузырь	13,98	17,76	32,71	63,6
Плоса от неметаллических включений	10,28	1,87	4,67	16,8
Слиточная плоса	4,67	2,8	5,61	13,1
Пузырь-вздутие	2,8	-	-	2,8
Прочие	30,83	1,87	1,87	3,7
Итого	47,8	24,3	44,96	100

Полистная рассортировка контрольных плавок в условиях ЛПЦ-2 (АООТ «Испат Кармет») показала, что дефект «плоса» составляет до 30% от общего количества всех дефектов поверхности холоднокатаного проката.

Анализ технологических параметров производственного процесса и контроль качества

металла позволили установить, что более 62 % всех дефектов готового проката имеют металлургическое (сталеплавильное) происхождение и определяются макро- и микроструктурой слитка стали.

Результаты настоящих экспериментальных исследований позволили в условиях металлургического комбината выработать комплекс технологических мероприятий по снижению поверхностных дефектов путём совершенствования технологии сталеплавильного производства; реализуется программа по внепечному рафинированию стали, стабилизации химического состава и её окисленности.

Таким образом:

- экспериментально исследовано видоизменение (трансформация) дефектов от слитка стали и до проявления их на листовом прокате, что позволило однозначно установить причины их образования;

- основное количество поверхностных дефектов имеет металлургическое происхождение и определяется особенностями макро- и микроструктуры слитка стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21014-88. Прокат чёрных металлов. Термины и определения дефектов поверхности. М.: Изд-во стандартов, 1988.
2. Классификатор дефектов поверхности слитков, слябов, листового проката. Часть I, II, III. М., 1989.
3. Канарская Л.А. Исследование изменений неметаллических фаз при деформации слитка: Дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1977.

УДК 621.771.014

А.Б. НАЙЗАБЕКОВ
С.Н. ЛЕЖНЕВ
К.А. НОГАЕВ
С.Ю. ГОЛУМБОВСКАЯ

Роль конструктивных параметров кузнечных инструментов при реализации поперечного сдвига заготовок

Появление новых способов деформирования заготовок, реализующих интенсивные сдвиговые деформации во всем объеме металла, обуславливает разработку инструментов и приспособлений, позволяющих добиться наилучших результатов при минимальных изменениях исходных размеров заготовки. Для интенсификации сдвиговой деформации используются особенности конструкции инструментов, геометрия рабочих поверхностей и т.д.

Известны инструменты (рисунок), реализующие поперечный сдвиг заготовки, в конструкцию которых включены упругие элементы [1, 2]. И в первом, и во втором случаях в качестве упругих элементов использованы металлические пружины.

Чтобы оценить роль упругих элементов и других конструктивных особенностей в работе вышеуказанных инструментов, были проведены экспериментальные и аналитические исследования.

В обоих инструментах поперечный сдвиг одних слоев заготовки относительно других происходит под действием сил, направленных параллельно контактными поверхностями.

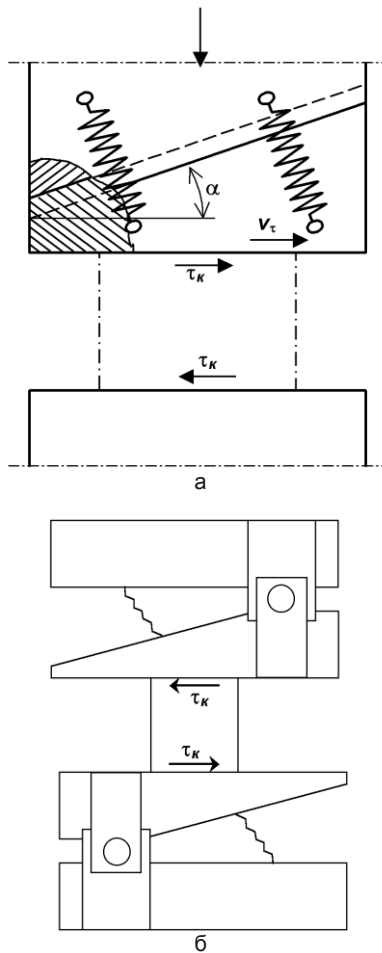
В инструменте (рис. а) между верхним и нижним бойком и заготовкой имеется рабочая вставка, прикрепленная к верхнему бойку при помощи пружин. Сдвигающие силы в данном инструменте

возникают при перемещении рабочей вставки по наклонной поверхности верхнего бойка. Перемещение рабочей вставки возможно при соблюдении условия:

$$\alpha > \alpha_{тр},$$

где α — угол наклона к горизонту соприкасающихся поверхностей верхнего бойка и рабочей вставки;
 $\alpha_{тр}$ — угол трения на соприкасающихся поверхностях верхнего бойка и рабочей вставки.

При работе инструмента деформирующее усилие сначала передается от верхнего бойка на рабочую вставку через наклонные поверхности, а затем от рабочей вставки на заготовку, т.е. деформирование заготовки происходит под действием твердых тел. Наклонные соприкасающиеся поверхности между рабочей вставкой и верхним бойком обуславливают перемещение рабочей вставки по наклонной поверхности под давлением со стороны верхнего бойка и заготовки, что, в свою очередь, приводит к появлению сдвигающих сил. Поэтому в указанном инструменте сдвиг одних слоев заготовки относительно других, в первую очередь, обусловлен углом наклона соприкасающихся поверхностей, а пружины используются только для удержания рабочей вставки и возвращения ее в исходное положение.



Инструменты новой конструкции:
а — инструмент, реализующий поперечный сдвиг;
б — инструмент с упругими элементами

Инструмент для деформирования заготовок (рис. б) включает верхний и нижний бойки, снабженные рабочими вставками в форме треугольной прямой призмы, связанной с верхней и нижней плоскими частями бойков с одной стороны шарниром, а с другой стороны — упругим элементом.

Инструмент работает следующим образом. При ходе ползуна прессы вниз верхний боек давит на заготовку. Так как в начальный момент обжатия усилие деформирования равно жесткости упругих элементов, то сначала происходит обычная осадка заготовки. При постепенном увеличении площади поперечного сечения заготовки усилие деформирования начинает расти и в результате противодействия со стороны заготовки упругие элементы сжимаются, а рабочие вставки перемещаются наклонно в направлении верхней и нижней плоских частей бойков соответственно. Благодаря этому происходит сдвиг одной части заготовки относительно другой. После достижения необходимой величины сдвига верхний боек поднимается вместе с ползуном прессы, а упругие элементы возвращают рабочую вставку в исходное положение. То есть в отличие от инструмента, представленного на рис. а, при использовании данного инструмента поперечный сдвиг происходит за счет действия упругих элементов.

Для получения сравнительных данных по использованию упругих элементов в различных конструкциях инструментов был проведен эксперимент на свинцово-сурьмянистых заготовках размерами 30×30×60 мм.

При подготовке к проведению эксперимента по формуле (5) [3] была рассчитана необходимая жесткость пружин для деформирования заготовок вышеуказанных размеров в бойках с упругими элементами (рис. б). Жесткость пружины, необходимая для реализации сдвига одних слоев заготовки относительно других в бойках с упругими элементами (рис. б), составила 472,4 Н/мм.

Первую партию заготовок деформировали в инструменте, реализующем поперечный сдвиг (рис. а), в который для удержания рабочей вставки и возвращения ее в исходное положение установили пружины с суммарной жесткостью 40 Н/мм. В процессе деформирования наблюдали сдвиг одних слоев заготовки относительно других. После снятия нагрузки рабочая вставка инструмента за счет пружин возвратилась в исходное положение. Вторую партию заготовок деформировали в этом же инструменте с пружинами жесткостью, необходимой для реализации поперечного сдвига заготовки размерами 30×30×60 мм в бойках с упругими элементами (рис. б), т.е. использовали пружины с коэффициентом жесткости $k = 472,4$ Н/мм. В ходе эксперимента сдвига одних слоев заготовки относительно других не наблюдали, а наблюдали процесс обычной осадки, так как жесткость пружин, установленных в данный инструмент, в этом случае не позволяла перемещаться рабочей вставке по наклонной поверхности верхнего бойка.

Третью партию заготовок деформировали в бойках с упругими элементами (рис. б), в конструкцию которых входили пружины жесткостью, рассчитанной по формуле (5) [3], т.е. с $k = 472,4$ Н/мм. В ходе эксперимента наблюдали: в начальный момент кратковременную осадку заготовки, с увеличением же площади контактной поверхности заготовки с инструментом упругие элементы начинали сжиматься за счет роста усилия деформирования, в результате этого на конечной стадии деформирования происходил сдвиг одной части заготовки относительно другой.

Очередную партию заготовок деформировали в бойках с упругими элементами (рис. б), жесткость пружин которых была равна 40 Н/мм. С начального момента приложения нагрузки упругие элементы данного инструмента сжались полностью, не оказывая сопротивления внешнему усилию. Вследствие чего сдвиг одних слоев заготовки относительно других не осуществился.

На следующем этапе эксперимента была определена зависимость работоспособности инструмента от размеров деформируемых заготовок. Для этого свинцово-сурьмянистые заготовки размерами 30×30×60 и 50×50×60 мм деформировали в инструментах, представленных на рисунке, с жесткостью пружин в бойках, реализующих

поперечный сдвиг, 40 Н/мм (суммарная), а в бойках с упругими элементами с $k = 472,4$ Н/мм.

В результате проведенного эксперимента было получено, что при деформировании заготовок размерами $30 \times 30 \times 60$ и $50 \times 50 \times 60$ мм в бойках, реализующих поперечный сдвиг (рис. а), в обоих случаях мы наблюдали сдвиг одних слоев заготовки относительно других. При деформировании заготовок такого же типоразмера в бойках с упругими элементами (рис. б) в первом случае мы наблюдали сдвиг, а при деформировании заготовок размерами $50 \times 50 \times 60$ мм жесткости пружин не хватило, поэтому пружины сжались, а сдвига одних слоев заготовки относительно других не произошло. Т.е. при деформировании в бойках, реализующих поперечный

сдвиг, работа инструмента не зависит от начальных размеров заготовки, так как в данном случае пружины играют только вспомогательную роль. Возможность же деформирования заготовок любого типоразмера в бойках с упругими элементами, обеспечивается точным подбором упругих элементов, а именно их жесткости.

Анализ работы двух кузнечных инструментов показывает, что при реализации поперечного сдвига одних слоев заготовки относительно других значительную роль играют конструктивные параметры кузнечного инструмента. Так, для первого инструмента — это угол наклона к горизонту соприкасающихся поверхностей верхнего бойка и рабочей вставки, а для второго — жесткость пружин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Найзабеков А.Б., Ногаев К.А., Ашкеев Ж.А. Определение параметров кузнечного инструмента, реализующего ковку сдвигом // Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2003. №2. С. 61-66.
2. Найзабеков А.Б., Голумбовская С.Ю. Формоизменение заготовок в бойках с упругими элементами // Труды Международной науч. конф. «Наука и образование — ведущий фактор стратегии “Казахстан — 2030”». Караганда: КарГТУ, 2003. С. 132-134.
3. Найзабеков А.Б., Голумбовская С.Ю., Лежнев С.Н., Ормышева М.И. Определение параметров кузнечного инструмента, реализующего знакопеременную деформацию // Технология производства металлов и вторичных материалов. Темиртау, 2003. №2. С. 74-77.

УДК 662.87:536.468

Т.И. ЧЕРНЫШОВА
В.И. ГОВОРОВ

Об экспериментальной методике определения температуры самовоспламенения аэрозвесей пылеугольных топлив

Оценка взрывоопасности промышленных пылей практически во всех странах основывается на экспериментально определяемых параметрах взрыва пыли конкретного вещества во взвешенном состоянии в опытных реакционных сосудах. ГОСТ 12.1.041-83 [1] рекомендуется оценивать взрывоопасность аэрозвесей горючих пылей по следующим основным показателям: нижнему концентрационному пределу распространения пламени, минимальной энергии зажигания, максимальному давлению взрыва, скорости нарастания давления при взрыве.

По ГОСТ 12.1.044-89 [2] перечень показателей дополняется минимальной взрывоподавляющей концентрацией флегматизатора.

Однако в число стандартных показателей в России и, соответственно, в СНГ не входит определение температуры самовоспламенения пыли во взвешенном состоянии, что подтвердил анализ систем оценки взрывоопасности топлив, проведенный Всероссийским теплотехническим институтом [3]. В то же время исследования этого показателя широко проводились в бывшем СССР и за рубежом [4-10] и являются стандартными в Европе и США [4, 6]. Учет температуры самовоспламенения аэрозвесей ($T_{св}$) весьма важен для энергетиков как критерий, характеризующий способность пылевого облака к взрыву при сушке и транспортировке топлива нагретым воздухом в системах пылеподготовки топлива на тепловых электростанциях.

Отсутствие единого методического подхода к оценке $T_{св}$ сильно сказывается на достоверности результатов, так как известные данные получены с использованием методик, существенно отличающихся по всем техническим и технологическим параметрам (табл. 1). В связи с этим вносится предложение о принятии единой методики определения $T_{св}$ аэрозвесей на основе анализа известных методик СНГ и дальнего зарубежья [4-10]. Для обсуждения предлагается установка Карагандинского металлургического института (КарМетИ), разработанная на базе трубчатой печи Московского института стали и сплавов [8], оснащенная стандартным вихревым распылителем [2], схема которого приведена на рисунке. Методика основана на фиксировании минимальной температуры в печи, способной воспламенить взвешенную навеску пыли, подаваемой импульсом воздуха из распылителя.

Установка состоит из трубчатой печи с реакционной фарфоровой трубкой диаметром (25 ± 1) мм и высотой (250 ± 25) мм, нагреваемой навитой спиралью из проволоки марки Х20Н80-Н диаметром 0,8 мм. Температура стенки печи регулируется автотрансформатором типа РНО-3 и фиксируется установленным в середине печи термоэлектрическим среднеинерционным преобразователем типа ТХА с диаметром термоэлектродов 0,5...0,7 мм в комплекте с милливольтметром.

Система распыления включает стандартный конусный распылитель с выносной вихревой

форкамерой, который используется в методе экспериментального определения нижнего концентрационного предела распространения пламени по пылевоздушным смесям по ГОСТ [2], электромагнитный клапан, ресивер с манометром, клапан регулирования давления, компрессор. Образец

исследуемого вещества, помещенного на доньшко форкамеры, взвигается при кратковременной подаче сжатого воздуха и через патрубок, соединенный с конусом распылителя, увлекается в реакционную печь.

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ (ВОСПЛАМЕНЕНИЯ) АЭРОВЗВЕСЕЙ

Параметр	Методика (литературный источник)							
	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	КарМетИ
Объем сосуда (печи), дм ³	0,138	1,23	4,0	1,17	0,063		0,754	0,123
Диаметр сосуда (печи), см	3,6	7,0	10,6	5,3	2,0	3,6	4,0	2,5
Длина сосуда (печи), см	13,6	33,0	45,3	53	20		60	25
Направление выпуска навески	вверх	вниз	вниз	вниз	вверх	горизон.	вниз	вверх
Размер частиц пыли, мкм	менее 63	менее 74	менее 100	менее 80				менее 75
Величина навески, мг			стехиом.	400		1000	200	200
Продолжительность выпуска, с						0,2	0,2	0,3-0,5
Давление воздуха (избыточное), кгс/см ²	0,4	7,0	1,5	-	1,0	0,5-1,5	0,5-1,5	0,25-0,3
Вид воспламенителя	стенка, искра	горелка, спираль	спираль	стенка печи	стенка печи	спираль	стенка печи	стенка печи
Тип сосуда		закрыт.	закрыт.		открыт.	открыт.	открыт.	открыт.

Блок управления состоит из реле времени, которое обеспечивает регулирование длительности импульсов распыления в диапазоне от 0 до 1 с, и пусковой кнопки.

Воспламенение или невоспламенение аэровзвеси пыли фиксируется визуально с помощью зеркала.

Нами проведено обоснование технологических параметров методики путём определения оптимальных значений массы навески, величины давления и продолжительности выпуска пробы в печь. В опытах использовалась топливная пыль класса менее 75 мкм, что согласуется с методиками США [3] и ГОСТ [2]. Характеристика проб приведена в табл.2.

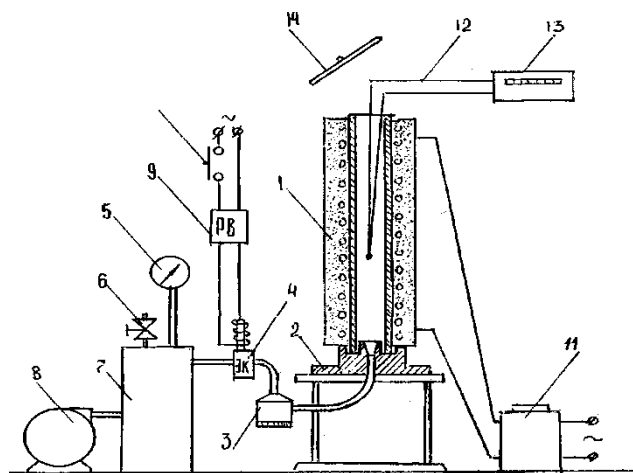


Схема установки для определения температуры самовоспламенения аэровзвеси пыли: 1 — трубчатая печь; 2 — основание с распыляющим корпусом; 3 — вихревой распылитель; 4 — электромагнитный клапан; 5 — манометр; 6 — вентиль регулировки давления; 7 — ресивер; 8 — компрессор; 9 — электромагнитное реле; 10 — кнопка включения реле; 11 — автотрансформатор; 12 — термопара; 13 — милливольтметр; 14 — зеркало

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБ

Тип пробы	Технический анализ, %				Температура, °С	
	W ^a	A ^c	V ^{daf}	V ^d	искрени- я	самовоспла- менения
Шубарковский уголь	2,9	10,4	46,3	41,5	650	640
Карагандинский рядовой уголь	0,8	30,0	21,8	15,3	580	590
Экибастузский уголь	1,0	44,4	20,3	11,3	720	820
Порода углеобогащения	1,3	75,2	19,3	4,8	650	нет

Из проведенных опытов следует, что температура начала искрового горения частиц ($T_{искр}$) в широком диапазоне варьирования массы навески колеблется у всех проб в диапазоне 20..30°C, т.е. находится в пределах ошибки опыта. В то же время минимальная температура появления сплошного пламенного горения $T_{св}$ при малых навесках резко отличается от $T_{искр}$, но с увеличением навески до 200 мг и более у пыли шубарковского и карагандинского углей понижается до $T_{искр}$. Это объясняется высоким содержанием летучих веществ (см. табл.2) и, соответственно, интенсивной их газификацией, достаточной для возникновения самовоспламенения. Для пробы пыли экибастузского угля разность между $T_{искр}$ и $T_{св}$ сохраняется и составляет около 100°C, что объясняется повышением зольности и снижением количества летучих в угле. $T_{св}$ при этом возрастает. Наиболее чётко эта зависимость проявляется на примере пыли породы углеобогащения, где наблюдалось лишь искровое горение отдельных частиц при нагреве печи даже до 1100°C.

Таким образом, с повышением зольности и снижением летучих в пробах (в пересчёте на сухую массу) не удаётся создать достаточный объём газов для возникновения пламенного гомогенного горения газифицированных летучих веществ. В работе [11] показано, что пламенное горение наблюдается у пылей с содержанием летучих более 5 % в сухой массе топлива, и предложена расчётная экспресс-методика оценки взрываемости пылей угля и продуктов его переработки.

Таблица 2

Кроме того, данную установку можно использовать для определения характера горения аэрозвеси, как это принято в ФРГ [3], установив максимальный нагрев печи $1050 \pm 50^\circ\text{C}$. Это значение соответствует температуре источника зажигания в стандартном методе определения нижнего концентрационного предела распространения пламени по пылевоздушным смесям [2] и установке Макеевского НИИ охраны труда [9].

Если при данной температуре не наблюдается пламенного горения, а лишь искры, то пыль предлагается относить к невзрывоопасной.

Оптимальные параметры режима распыления определяли путём подбора величины давления распыляющего воздуха и продолжительности распыления. Оптимальная продолжительность импульса воздуха при различных вариациях давления и времени выпуска составила 0,4 с, что согласуется с данными [2, 10].

Давление в ресивере задавали от 0,25 до 1,0 кгс/см², продолжительность выпуска — от 0,2 до 0,5 секунд, с целью минимизации количества воздуха, подаваемого в печь, с обеспечением, с одной стороны, полной эвакуации пробы из форкамеры и, с другой стороны, минимальной высоты выброса пыли из печи.

С уменьшением давления воздушного импульса $P_{имп}$ обе температуры снижаются, так как сокращается подача холодного воздуха в печь. Однако со снижением $P_{имп}$ менее 0,27 кгс/см² часть навески не эвакуируется из форкамеры, поэтому рекомендуется устанавливать $P_{имп}$ 0,25..0,27 кгс/см² (30 кПа).

Выводы:

1. Отсутствие единого метода определения температуры самовоспламенения пылевоздушных топлив затрудняет оценку взрывоопасности систем пылеподготовки и транспортировки ТЭЦ.

2. Предложена и обоснована экспериментальная методика определения данного показателя, характера горения и взрывоопасности пылевоздушных топлив.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывоопасность горючих пылей. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1983.
- ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1989.
- Толчинский Е.Н., Киселёв В.А., Яковлев В.С. и др. Анализ систем оценки взрывоопасности пыли натуральных топлив // Электрические станции. 1996. №7. С.42-49.
- Grise K., Kießling R. Kennzahlen zur Charakterisierung der Brand — und Explosions gefahlichkeit vor Staeben // Neue Bergbautechnik. 1979. №6. S. 332-337.
- Взрывные явления. Оценка и последствия / Пер. с англ. У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн и др.; Под ред. Я.Б.Зельдовича и Б.Е. Гельфанда М.: Мир, 1986.
- Пожарная опасность веществ и материалов: Справочник / Под ред. И.В.Рябова. М.: Стройиздат, 1966.
- Рыжих А.Б., Махин В.С. Об ингибировании воспламенения аэрозвесей угольной пыли // ФГВ. 1978. Т.14. № 6. С. 60-64.
- Бабайцев И.В., Карнаух Н.Н. Безопасность производства и применения порошковых экзотермических материалов в металлургии. М.: Metallургия, 1979.
- Петрухин А.М. и др. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах. М.: Недра, 1974.
- Алексеев А.Г., Недин В.В., Шаповал А.Ф. Методика и результаты определения минимальной температуры воспламенения аэрозвесей // Предупреждение внезапного воспламенения порошков и взрывов газодисперсных систем. Киев: Наукова думка, 1971.
- Прохорченко Н.В., Обухов Ю.Д., Говоров В.И. Метод прогнозирования взрываемости пыли углеродных материалов // Metallург. 2001. № 12. С.29-30.

УДК 537.533.212

К.Р. КУРБАНОВ
В.Д. КУЛИКОВ
В.П. МАКАРОВ

Температурная зависимость концентрации носителей заряда в щелочно-галогидных кристаллах и оксогалогенидах висмута и сурьмы при возбуждении рентгеновским излучением

Температурная зависимость радиационно-индуцированной проводимости (РИП) кристаллов CsI, NaCl исследовалась в области температур 80-300 К при возбуждении импульсным рентгеновским излучением [1]. Выбор этих кристаллов обусловлен низкой эффективностью образования и накопления центров окраски, в первую очередь для CsI, под действием ионизирующего излучения.

Температурные зависимости РИП $\sigma(T)$ кристаллов CsI, NaCl представлены на рис. 1 а, б. Значение проводимости CsI более чем на порядок превышает проводимость в NaCl. В области низких температур 77-130 К для CsI и 77-160 К для NaCl наблюдается незначительный рост проводимости с изменением

температуры, резкий рост проводимости наступает при температуре 130 К для CsI и ~ 160 К — для NaCl. Провалы на кривых $\sigma(T)$ при высоких температурах ~ (270-280 К), возможно, связаны с захватом и рассеянием зонных электронов центрами окраски в данных материалах.

На рис. 2 а, б приведены температурные зависимости относительного квантового выхода люминесценции автолокализованных экситонах (АЛЭ), где экспоненциальная зависимость от обратной температуры наблюдается как для кристаллов BiOCl, BiOBr, так и для сложных кристаллов. Квантовый выход люминесценции как для BiOCl, BiOBr, так и для оксогалогенидов сурьмы

при возбуждении в длинноволновой полосе не зависит от частоты в интервале температур (80-250 K).

Зависимость концентрации электронов $n(T)$ показана в координатах $\lg(n)$, $1/T$ (рис. 3). Для материалов CsI, NaCl значение $n(T)$ увеличивается более чем на порядок при переходе от температуры жидкого азота к комнатной. Экспериментальные зависимости $n(T)$ кристаллов CsI, NaCl удовлетворительно описываются суммой двух экспоненциальных компонент: низкотемпературной (прямая 1) и высокотемпературной (прямая 2, рис. 3).

Такой закон изменения $n(T)$ соответствует термически активационному характеру разделения электронов и дырок в генетических парах. Наличие двух компонент в $n(T)$, видимо, связано с существованием двух типов электронно-дырочных пар, различающихся средней энергией генерируемых электронов. В отсутствие электрического поля вероятность термического разделения носителей в парах f можно представить зависимостью [4].

$$f = \exp(-W_a / kT), \quad (1)$$

где W_a — энергия активации процесса термического разделения носителей заряда.

При квадратичном характере рекомбинации электронов и дырок ($n \approx p$) эффективная скорость генерации носителей имеет вид

$$G_0 f = n^2 s v_T. \quad (2)$$

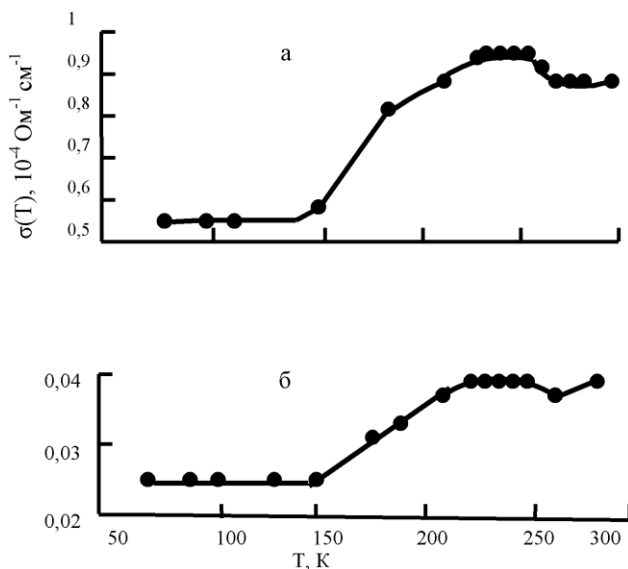


Рис. 1. Температурная зависимость удельной проводимости в кристаллах CsI (а), NaCl (б) при возбуждении рентгеновским излучением

1 отн.ед.

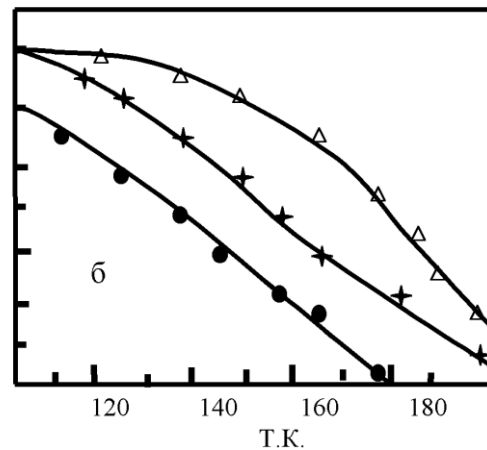
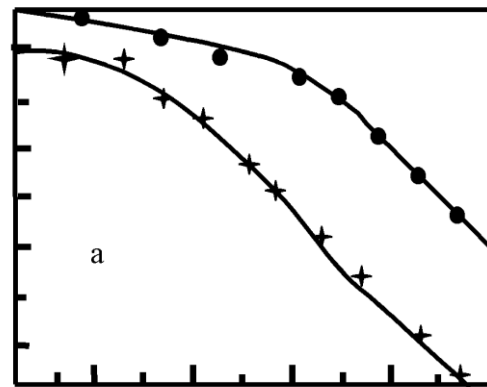


Рис. 2. Температурная зависимость относительного квантового выхода люминесценции BiOCl и BiOBr (а), Sb₄O₅Cl₂, Sb₄O₁₁Cl₂, Sb₃O₁₁Br₂ (б):

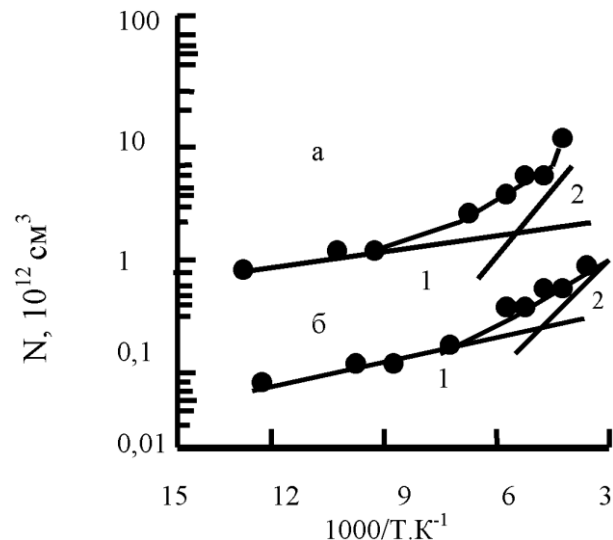


Рис.3. Температурная зависимость удельной концентрации электронов в кристаллах CsI (а), NaCl (б): экспоненциальные компоненты: 1 — низкотемпературные; 2 — высокотемпературные

Экспоненциальным зависимостям: низкотемпературной (прямая 1, рис. 3) и высокотемпературной (прямая 2, рис. 3) для CsI и NaCl можно сопоставить два типа концентрации

неравновесных электронов с различной скоростью генерации и вероятностью теплового разделения. Для этих компонент закон изменения концентрации носителей n_1, n_2 с температурой запишется:

$$n_1 = \sqrt{G_{01}} \cdot (\exp(-W_{a1} / 2kT)) / \sqrt{sv_T}, \quad (3)$$

$$n_2 = \sqrt{G_{02}} \cdot (\exp(-W_{a2} / 2kT)) / \sqrt{sv_T}, \quad (4)$$

где $G_0 = G_{01} + G_{02}$.

Сравнивая (3), (4) с данными рис. 3 (прямые 1,2) для CsI, находим: $W_{a1} = 0.025 \pm 0.003$ эВ, $W_{a2} = 0.1 \pm 0.01$ эВ, $G_{02}/G_{01} \approx 85$, относительный выход свободных носителей при $T = 300$ К для первой и второй компонент составляет $f_1 \approx 0.37$ и $f_2 \approx 0.02$. значение f находится из условия $\sqrt{G_{01}f_1} + \sqrt{G_{02}f_2} = \sqrt{G_0f}$, откуда $f \approx 0.04$.

Используя зависимость (1), представленную в виде $f = \exp(-r_c / r_0)$, можно оценить пространственное распределение термализованных носителей в электронно-дырочных парах. В нашем случае при рентгеновском возбуждении CsI имеем два пространственных пика термализованных электронов: низкоинтенсивный пик с $r_{01} \approx 10$ нм и высокоинтенсивный с $r_{02} \approx 2.5$ нм.

Для NaCl получаем $W_{a1} = 0.03 \pm 0.004$ эВ, $W_{a2} = 0.14 \pm 0.015$ эВ, $G_{02}/G_{01} \approx 200$, при $T = 300$ К $f_1 \approx 0.3$, $f_2 \approx 0.004$, $f \approx 0.01$, $r_{01} \approx 8$ нм, $r_{02} \approx 1.7$ нм.

При использовании пикосекундного электронного пучка с энергией электронов ~ 250 кэВ в кристалле KCl $W_a \approx 0.07$ эВ, $r_0 \approx 4$ нм и в CsI $W_a \approx 0.1$ эВ. Для стекла 3-МР при γ -облучении пик функции пространственного распределения носителей в парах приходится на 4-5 нм [4].

Значение r_0 увеличивается с ростом кинетической энергии неравновесного электрона, полученной на стадии его генерации. Из приведенных результатов видно, что в щелочно-галогидных кристаллах функция начального пространственного распределения термализованных носителей в парах имеет

высокоинтенсивный пик в области $\sim 1.7-4$ нм и низкоинтенсивный ~ 10 нм. Вероятно, наличие пиков связано с существованием максимумов в структуре плотности электронных состояний в зоне проводимости кристаллов. Так, в NaCl максимумы в N_c приходятся на 4 и 6 эВ в CsI на 3 и 5 эВ. Как показано в [3], мгновенный спектр электронов повторяет распределение N_c с некоторым увеличением функции $n(W)$ в низкоэнергетической части спектра. Низкоэнергетические электроны с энергией до ~ 2 эВ при температуре ~ 300 К рекомбинируют в генетических парах [1]. Исходя из сказанного выше, можно предположить, что в кристалле NaCl пики с $r_{02} \approx 1.7$ нм и $r_{01} \approx 8$ нм связаны с электронами, заселявшими максимумы в N_c на 4 и 6 эВ, в CsI пик с $r_{02} \approx 2.5$ нм обусловлен электронами, заселявшими максимум на ~ 5 эВ.

Полученные значения относительного выхода свободных носителей при комнатной температуре составляют в CsI $\sim 4\%$ и $\sim 1\%$ в NaCl, что не превышает аналогичных оценок в KCl [4].

Как отмечено в [1], причина столь низкого выхода носителей в кристалле NaCl может быть связана с особенностями Оже-процесса. При Оже-генерации возникает локальное зарядовое образование из двух дырок в валентной зоне и электрона проводимости. В этом случае кулоновское взаимодействие между двумя дырками и электроном будет значительным. Хотя атомное время локализации дырок достаточно мало ($\sim 10^{-13}$) [2], можно ожидать, что за время термализации электрона ($\sim 10^{-12}$ с) делокализация дырок не превысит 1-2 параметров решетки. В легких элементах ($Z < 30$) при заполнении дырки на внутренних оболочках атома выше вероятность Оже-переходов по сравнению с рентгеновскими [2]. Поэтому следует ожидать более сильного Оже-эффекта в NaCl по сравнению с CsI и соответственно более высокой скорости рекомбинации носителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. Электронные возбуждения и радиолюминесценция ЩГК. Рига: Зинатне, 1979. 252 с.
2. Ильмас Э.Р., Лийдья Г.Г., Лушик Ч.Б. Фотонное умножение в кристаллах // Оптика и спектроскопия. 1965. Т. 18. Вып.3. С. 453-460.
3. Lipari N.D., Kunz A.B. Energy band and optical properties of NaCl // Phys. Rev. B. 1971. Vol. 3. №2. P. 491-497
4. Куликов В.Д. Концентрация и время жизни неравновесных носителей в CsI, NaCl при рентгеновском возбуждении // ФТТ. 2001. Т. 43. Вып.9. С. 1580-1583.

Раздел 4

Строительство. Транспорт

УДК 666.7÷621.74

А.З. ИСАГУЛОВ
В.Ю. КУЛИКОВ
С.В. ГАВРИЛОВ
Г.Б. АЛЬСЕНОВА

Оптимизация режима регенерации шамотных кирпичей

В настоящее время в Республике Казахстан не осуществляется производство большинства огнеупоров, используемых в металлургии и литейном производстве. Вместе с тем потребности в огнеупорах значительны. Ввозимые из России и других стран огнеупоры имеют высокую потребительскую стоимость. Известно, что на производстве выгоревшие и разрушенные кирпичи, в частности шамотные, дробятся и с добавлением связующего используются как обмазка в печах и ковшах.

В целом же шамотный кирпич используется для футеровки доменных, мартеновских и других нагревательных печей, ковшей большой емкости и др.

Возможность повторного получения шамотных кирпичей позволит снизить затраты на обслуживание печей и ковшей, что в конечном итоге скажется на себестоимости выпускаемой продукции, и в частности, отливок.

Необходимо определить экономически обоснованную технологию изготовления огнеупоров, реализуемую в современных производственных условиях непосредственно в литейных цехах с минимальным привлечением материалов и оборудования извне.

На АО «КМЗ им. А. Пархоменко» проводились исследования в рамках отработки технологии регенерации шамотных кирпичей. В серии опытов по определению огнеупорности, зависящей от количества и вида связующего, использовались следующие процентные соотношения компонентов (табл. 1).

Таблица 1

СООТНОШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Материал	Номер состава огнеупоров			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Молотый шамот, %	55	55	55	25
Жидкое стекло, %	25	10	5	5
Глинистая суспензия, %	20	35	40	70

Фракция размола шамота ~0,2 мм. Усилие прессования составляло 0,1 МПа, время сушки сырых кирпичей — 3 часа при температуре 350°C.

Огнеупорность высушенных, но необожженных кирпичей проверяли выдержкой полученных кирпичей на поверхности жидкой стали. Температура металла — 1520°C, время выдержки — 5 мин. По истечении этого времени кирпичи извлекали и проводили взвешивание.

Результаты проведенных экспериментов показали, что наибольшей огнеупорностью обладают кирпичи состава № 3 (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

ПОТЕРЯ ВЕСА КИРПИЧЕЙ РАЗНЫХ СОСТАВОВ

Номер состава огнеупоров	Потеря веса, %
№ 1	Деструкция
№ 2	39 %
№ 3	28 %
№ 4	15 %
Шамотный кирпич	6 %

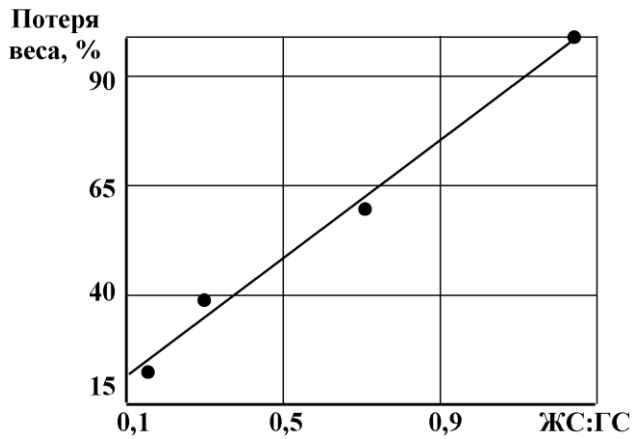


Рис. 1. Зависимость стойкости к высоким температурам от соотношения связующих

Определено, что с повышением содержания в огнеупоре глинистой суспензии и снижением содержания жидкого стекла огнеупорность шамотного кирпича повышается.

В следующей серии опытов использовались другие составы шамотных кирпичей (табл. 3). С целью повышения термостойкости и шлакоустойчивости кирпичей в их состав вводился графит. Кроме того, как известно, графит не смачивается шлаками и обладает высокой теплопроводностью.

Обжиг высушенных кирпичей проводился при температуре 870°C в течение 4 часов.

Таблица 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ ОГНЕУПОРОВ

Материал	Номер состава огнеупоров			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Молотый шамот, %	60	62	67	64
Жидкое стекло, %	3	12	20	---
Глинистая суспензия, %	37	24	13	---
Глина, %	---	---	---	36
Опилки, %	---	2	---	---
Потеря веса, %	4,5	9,5	1,9	18,9

Проведенные эксперименты показали, что наиболее стойкими к воздействию высоких температур являются кирпичи с более высоким содержанием жидкого стекла по отношению к глинистой суспензии. Снижение огнеупорности в кирпиче второго состава объясняется наличием опилок, которые, выгорая, создают в огнеупоре пористость. Наличие пор, как известно, способствует проникновению шлака в тело кирпича и, как следствие, его разъеданию.

Кирпичи, в которых в качестве связующего использовалась только глинистая суспензия, оказались наименее стойкими к воздействию высоких температур.

Определили необходимое давление прессования, учитывая, что деформирование шамотных масс приводит к разрушению внутренних связей частиц смеси между собой. Как только уплотнение достигнет определенной стадии, шамотная масса приобретает упругие свойства. После превышения предельного

напряжения сдвига происходит пластическая деформация. При дальнейшем превышении напряжения произойдет полное разрушение связей между сухими частицами шамота и связующего, что приведет к вязкому течению.

На основании этого была построена реологическая модель (рис. 2). Определено, что оптимальное напряжение в шамотной массе должно заключаться в следующем интервале:

$$\left[\sigma_0 + \int \dot{\epsilon} \cdot \frac{E}{\dot{\lambda}} \cdot dt \right] \cdot e^{-\frac{E}{\lambda} t} \leq \sigma \leq \left[\sigma_0 + \int \dot{\epsilon} \cdot \frac{E \cdot \eta + \lambda}{\eta \cdot \lambda} \cdot dt \right] \cdot e^{-\frac{E \cdot \eta + \lambda}{\eta \cdot \lambda} t},$$

где σ_0 — начальное напряжение;

E — модуль упругости;

η — коэффициент вязкости;

λ — коэффициент пластичности шамотной массы;

$\dot{\epsilon}$ — скорость деформации шамотной массы;

t — время.

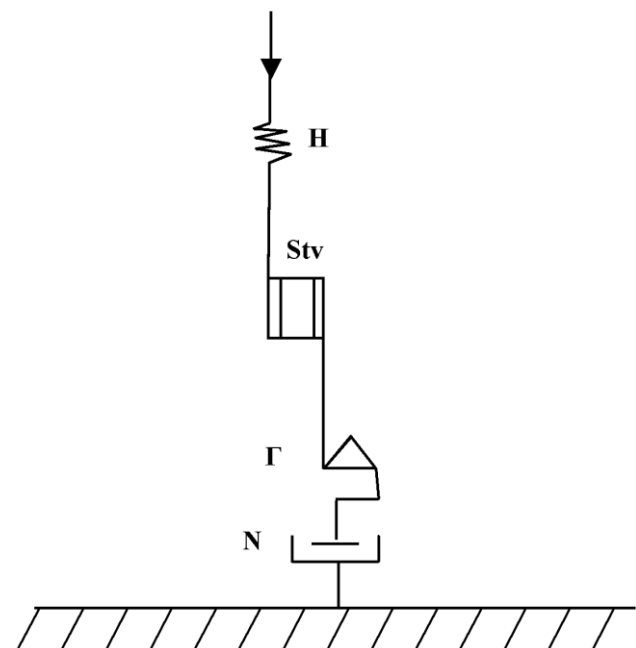


Рис. 2. Реологическая модель шамотных масс при прессовании кирпичей

Очевидно, что на величину оптимального давления прессования будут влиять упругость шамотной крошки, также пластичность и вязкость связующего.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что на огнеупорность влияет соотношение глинистой суспензии к жидкому стеклу. Причем это соотношение в обожженных и высушенных кирпичах различно. Определена формула для оптимального давления прессования шамотных кирпичей. Показано, что имеется возможность регенерации шамотных кирпичей в производственных условиях.

Ожидаемые затраты на производство одной тонны регенерированных шамотных кирпичей — 5 тысяч тенге.

УДК 624.131

А.С. ЖАКУЛИН

Методы определения параметров деформируемости грунта на компрессионном приборе

Для определения параметров деформируемости водонасыщенных оснований при оценке напряжённого состояния должны быть проведены экспериментальные испытания образцов грунта нарушенной и ненарушенной структуры на стандартных компрессионных приборах с измерением порового давления. По результатам испытаний определяются параметры компрессии и декомпрессии, необходимые для расчёта напряжённо-деформированного состояния водонасыщенных оснований с применением деформационной модели в упругопластической постановке и коэффициента консолидации для применения теории консолидации.

Физические свойства суглинка (г.Атырау) ненарушенной структуры, отобранного на глубинах 3,0-3,2 м и 4,5-4,8 м, показывают что они водонасыщенные ($S_r = 0,83 \div 0,97$) с консистенцией от мягкопластичной до текучепластичной ($I_L = 0,72 \div 0,84$).

При испытании образцов грунта и обработке результатов исследования определяются:

- общие и эффективные вертикальные напряжения:

$$\sigma_v = \frac{P}{A} \cdot 10, \quad (1)$$

$$\sigma_v^{y_0} = \left[\sigma_v^3 - 2\sigma_v^2 \cdot P_{wB} - P_{w0} + \sigma_v \cdot P_{wB} - P_{w0}^2 \right]^{1/3}, \quad (2)$$

где P — нагрузка, передаваемая на штамп, кН;

A — площадь образца грунта, см²;

P_{w0} — начальное поровое давление, кПа;

P_{wB} — избыточное поровое давление, кПа;

- вертикальная деформация — ε_v

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где H_0 — начальная высота образца, мм;

ΔH — осадка образца, мм;

- коэффициент консолидации C_v (см²/с):

$$C_v = \frac{\sigma_{v_2} - \sigma_{v_1}}{\frac{P_{wB_2} + P_{wB_1}}{2} - U_0} \cdot \left(\frac{H_0}{10} - \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{20} \right)^2, \quad (4)$$

где $\Delta H_1, (\sigma_v)_1, (P_{wB})_1$ — соответственно осадка, общие напряжения и поровое давление, измеренное за время t_1 ;

$\Delta H_2, (\sigma_v)_2, (P_{wB})_2$ — то же, измеренное за время t_2 .

Формула (4) позволяет определять коэффициент консолидации, когда избыточное поровое давление составляет не менее 25% от общего напряжения.

Если избыточное поровое давление составляет 5÷20% от общих напряжений, то коэффициент консолидации определяется по формуле:

$$C_v = \frac{\left[\frac{H_0}{10} - \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{20} \right]^2 \cdot \lg \left[\frac{\sigma_{v_2}}{\sigma_{v_1}} \right]}{2 \times 60 \cdot t_2 - t_1 \cdot \ln \left[1 - \frac{P_{wB_2} + P_{wB_1}}{\sigma_{v_2} + \sigma_{v_1}} \right]}. \quad (5)$$

E_k — модуль общей деформации (компрессионный):

$$E_k = \frac{\sigma_{v_2}^1 - \sigma_{v_1}^1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}, \quad (6)$$

где $(\sigma_v)_2$ и $(\sigma_v)_1$ — эффективные напряжения при деформациях ε_2 и ε_1 (кПа).

Коэффициент фильтрации K_0 , (см²/с)

$$K_0 = C_v \cdot 9.81 \cdot \gamma_w \cdot \frac{1}{E_k} \cdot 10^{-4}, \quad (7)$$

где γ_w — удельный вес воды, г/см³.

Для определения экспериментальных параметров компрессии λ и декомпрессии k , необходимых для упругопластической задачи, были получены компрессионные кривые в полулогарифмических координатах, при этом изменения коэффициента пористости грунта линейно зависят от логарифма изменения внешнего давления. Тогда уравнение компрессионной кривой имеет вид:

для ветви нагружения

$$e_i = e_0 - \lambda \ln \left(\frac{P_i}{P_0} \right), \quad (8)$$

для ветви разгрузки

$$e_i = e_0 - k \ln \left(\frac{P_i}{P_0} \right), \quad (9)$$

где e_0 и P_0 — начальные коэффициент пористости и давление;

e_i и P_i — коэффициент пористости и давление, соответствующее i -й ступени нагрузки;

λ — коэффициент компрессии;

k — коэффициент декомпрессии.

Коэффициенты компрессии λ и декомпрессии k есть тангенс угла наклона полулогарифмической кривой к оси давлений и численно равен разности коэффициента пористости при $P_i = e$, здесь следует учесть при $P_i = e \ln p_i = 1$. Данные коэффициенты являются безразмерными и характеризуют сжимаемость грунтов в большом диапазоне давлений.

Исследования водонасыщенных суглинистых грунтов проводили на образцах ненарушенной и нарушенной структур, приготовленных из пасты с заданными плотностями сухого грунта $\rho_d = 1,57; 1,65$ и $1,76$ г/см³, отобранных на территории площадки строительства г.Атырау. Результаты исследования показывают, что модули (компрессионные) общей

деформации, определённые в эффективных напряжениях, ниже (до 6 %) рассчитанных в общих напряжениях.

Из графиков изменения вертикальной деформации и коэффициента пористости от эффективных напряжений следует, что при нагрузках до 100 кПа вертикальная (осевая) деформация составляет всего 2 %, тогда как от 100 кПа до 300 кПа от 4 % до 8 %. При этом чем меньше заданная плотность сухого грунта, тем величина вертикальной деформации больше и достигает 8 %, и коэффициент пористости уменьшается. Кривая образца грунта ненарушенной структуры показывает, что величина деформации увеличивается на 2 % в пределах нагрузки от 100 кПа до 300 кПа. Данное обстоятельство объясняется тем, что деформирование грунтов в водонасыщенном состоянии, обладающих структурной прочностью, происходит за счёт отжатия поровой жидкости.

Полученные графики консолидации при испытании образцов водонасыщенных грунтов ненарушенной структуры при давлениях 80; 100; 200; и 400 кПа, показывают, что процесс консолидации суглинистых грунтов интенсивно происходит во времени в начальный период нагружения при давлениях 200 кПа и 400 кПа, а при давлениях 80 кПа

и 100 кПа менее интенсивно. Видимо, до 100 кПа величина структурной прочности грунтов не превзойдена и отжатие воды происходит менее интенсивно за счёт появления начального градиента напора в суглинистых грунтах.

При давлениях от 200 кПа до 400 кПа возрастание осадок обуславливается интенсивным отжатием поровой жидкости и уплотнением скелета грунта.

При этом процесс деформирования на начальном этапе (первые 10-14 минут) происходит за счёт падения порового давления в связи с отжатием поровой жидкости. Поэтому учёт влияния порового давления на процесс деформирования водонасыщенных грунтов основания обязателен. Из проведённых исследований следует:

- определение модуля общей деформации (компрессии) производят в эффективных напряжениях, т. е. с учётом порового давления;
- влияние порового давления на процесс деформирования является существенным, особенно в начальный период нагружения водонасыщенного основания;
- приведенная методика позволяет определять параметры деформируемости в стандартных приборах достаточно просто.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 280 с.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 375 с.
3. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 2002. 566 с.

УДК 666.3:678.046.3

А.Н. ИМАНОВ
Э.Т. АЛДОЖАНОВА
Д.О. БАЙДЖАНОВ

Оптимизация состава бетона для гиперпрессования стеновых материалов

Одним из актуальных направлений в производстве стеновых материалов является применение высокотехнологичных производств. Метод формования при высоких давлениях (>200 МПа) требует разработки новых композиционных материалов для направленного регулирования физико-химических процессов формирования структуры бетона в процессе формования.

Целью настоящей работы является оптимизация композиционного состава бетона для формования стеновых камней (кирпичей) при сверхвысоких давлениях без последующего обжига. В табл. 1 представлен композиционный состав исследуемого бетона.

Таблица 1

КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ БЕТОНА

№ п/п	Наименование компонента	Содержание, масс. ч.		
		1	2	3
1	вяжущее	100	100	100
2	керамзитовый песок	200	250	300
3	отсев щебня	300	250	200
4	термопластичный полимер (СП-А)	25	50	75
5	модификатор	10	10	10

В качестве вяжущего использовали смесь гранулированного доменного шлака (40 масс.ч.) ЗАО «Испат-Кармет», карбидной извести ТО «Карбид» (45 масс.ч.) и (15 масс.ч.) шлакопортландцемента. Заполнителями смеси служили керамзитовый песок Саранского керамзитового завода нерудных материалов и отсев щебня. Объемную модификацию структуры бетона осуществляли смесью термопластичных полимеров (полиэтилен 30-50 масс. ч., поливинилхлорид 50-30 масс.ч и 20 масс.ч. полипропилен). Модификатором структуры цементного камня была выбрана силоксановая жидкость (МБС-77). Физико-химические и физико-механические свойства выбранных компонентов описаны в [1-3].

Композиции формовочной смеси готовили поэтапно: введением в состав цемента силоксановой жидкости в вертикальной струйно-вихревой установке при давлении сжатого воздуха в соплах 0,1-0,3 МПа; смешением с остальными компонентами в струйной мельнице противоточным методом при 0,2 МПа. Равномерность распределения компонентов достигали варьированием продолжительности смешения и величины напора давления в соплах. Прессование

образцов осуществляли на вертикальных штамповочных прессах конструкций ТОО «Полимер Ондирус» при давлении 200-400 МПа, продолжительность собственно прессования составляла 0,1-0,2 с.

Изготовленные стандартные образцы после тепловой обработки выдерживались на открытом воздухе при температуре $298 \pm 2,5$ К и подвергались физико-механическим испытаниям по ГОСТ 8462-85, ГОСТ 7025-91 и ГОСТ 6133-99, показатели которых представлены в таблице 2.

Как видно из представленных данных, материал соответствует требованиям ТУ-21-0284757-3-90 «Кирпич строительный гиперпрессованный». Рецептуры композиций 1-3 (таблица 1) составлены согласно техническому регламенту фирмы «Трибо-техника».

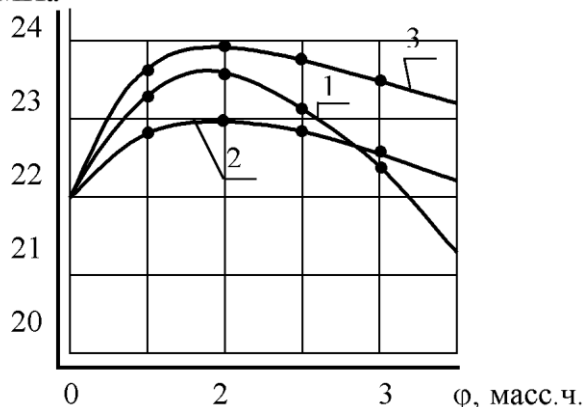
Таблица 2

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОЗИЦИЙ

№ п/п	Наименование композиции	Номер композиции			
		1	2	3	Без МБС-77
1	подвижность бетонной смеси по О.К., м	0,1	0,12	0,13	0,08
2	плотность, кг/м ³	2100	1950	1800	2400
3	водопоглощение, %	12	8	5	15
4	теплопроводность, Вт/м·К	0,85	0,82	0,75	0,91
5	предел прочности при сжатии, МПа	30	35	41	25
6	коэффициент сжимаемости	2,15	2,15	2,17	2,15

Исходя из цели исследований, проводили оптимизацию состава композиций бетона (ЩПЦ+МБС-77) для формирования гиперпрессованием (рис. 1). Введение модификатора МБС-77 в состав проводили при высоких напряжениях сдвига 0,1-0,3 МПа в струйных мельницах противоточно. Восходящий поток смеси дополнительно многократно подвергался высоким напряжениям сдвига отражающими бронеплитами. Механоактивированная смесь через классификатор подавалась на дальнейшую переработку. О степени эффективности механоактивации судили по результатам флотации МБС-77 по методике [4]. Согласно экспериментальным данным, 45-50% МБС-77 прививается на свежееобразующую поверхность керамзитового песка и шлакопортландцемента. Эффект прививки силоксановых олигомеров и полимеров, полученных экспериментально, хорошо согласуется с данными [5].

R, МПа



Давление в соплах: 1 — 0,1 МПа, 2 — 0,2 МПа, 3 — 0,3 МПа; Состав вяжущего: 20 масс.ч. ШПЦ+800 масс.ч. ГШ

Рис. 1. Зависимость активности вяжущего от содержания МБС-77

Из результатов исследований следует, что наиболее полная реализация прививки на поверхность вяжущего МБС-77 протекает при давлении механоактивации 0,3 МПа. Оптимальным содержанием МБС-77 в композиции следует считать 1,5-2,5 масс.ч., при котором достигаются максимальные значения $R_{сж}$. Увеличение давления в соплах инжектора с 0,1 до 0,3 МПа приводит к повышению эффективности прививки молекул МБС-77 к поверхностям компонентов вяжущего. Распространение ультразвуковых волн в материалах, содержащих 1,5-2,5 масс.ч. МБС-77, наиболее интенсивно, что свидетельствует о совершенствовании структуры материала. Механизм структурообразования при твердении бетона в присутствии модификатора требует дальнейших физико-химических исследований. Косвенные результаты экспериментальных исследований указывают на возможность протекания ускоренных процессов структурообразования от новых центров кристаллизации, по-видимому, инфицированных МБС-77 и макромолекулами полимера.

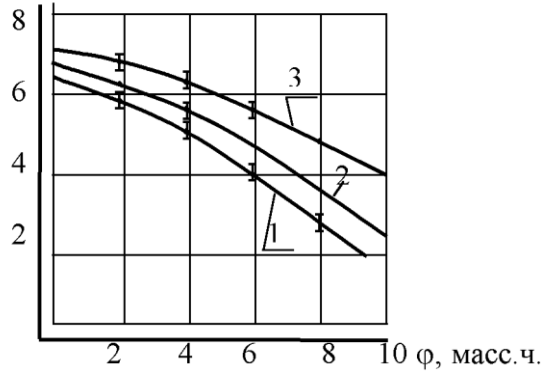
Механоактивированное вяжущее смешивали в струйно-вихревых установках вертикального типа с расчетным количеством керамзитового песка и отсева щебня с фракцией 140...630 мкм. Полученную формовочную смесь прессовали в закрытой пресс-форме при давлении пуансона 300 МПа на кулачково-рычажном вертикальном прессе с усилием 100 тс. В табл. 3 и на рис. 2 представлены физико-механические свойства лицевого кирпича, полученного по вышеприведенной технологии.

Таблица 3

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА

№ п/п	Наименование показателя	Образец		
		1	2	3
1	предел прочности при сжатии, МПа	25	27	32
2	предел прочности при изгибе, МПа	4,4	4,6	5,7
3	теплопроводность, Вт/м·К	0,91	0,92	0,90
4	водопоглощение, %	1,11	1,21	1,24
5	скорость распространения ультразвука, м/с 10 ³	3,3	3,8	4,5

Примечание: состав бетона 1 — 15 масс. ч. вяжущее + 77 масс. ч. керамзитовый песок и отсев щебня; 2 — 20 масс. ч. вяжущее + 73 масс. ч. керамзитовый песок и отсев щебня; 3 — 25 масс. ч. вяжущее + 69 масс. ч. керамзитовый песок и отсев щебня. Соотношение керамзитового песка и отсева щебня 1:1. Содержание МБС-77 — 2,0 масс. ч., СПТ-А — 5,0 масс. ч.

$V \cdot 10^2, \text{м/с}$ 

Давление формования 1 — 200 МПа; 2 — 300 МПа; 3 — 400 МПа.

Рис. 2. Скорость распространения ультразвука в бетоне

Из данных таблицы 3 следует, что лицевой кирпич отвечает требованиям ТУ 21-02844757-3-90 и может быть использован в строительстве. Теплофизические характеристики слабо зависели от композиционного состава и определялись в основном минеральным составом формируемого материала. Водопоглощение исследуемых материалов в 3-4 раза меньше аналогичных показателей, полученных традиционным способом.

Наименьший показатель распространения звуковых волн свидетельствует о предпочтительности использования минимального количества вяжущего, которое не согласуется с результатами прочностных характеристик, что объясняется, на наш взгляд, наличием значительного количества пор 1-го, 2-го и 3-го порядков. Резервом повышения прочности, как нам представляется, является оптимизация выбора типа заполнителей с учетом плотности их бимодальной упаковки в объеме материала.

С другой стороны, снижению скорости ультразвуковых волн в материале способствует содержание (ϕ) высокомолекулярных макромолекул СП-А в объеме материала (рис. 2).

Таким образом, результаты исследований показывают, что формирование материалов при сверхвысоких давлениях требует наиболее полного изучения химических свойств при выборе исходных компонентов для прогнозирования физико-химических процессов, протекающих в процессе формирования и оптимизации выбора заполнителей по минеральному и фракционному составу. Полученные результаты настоящих исследований показывают перспективность развития технологии смешения компонентов композиций при высоких напряжениях и формирования бетонных изделий при сверхвысоких давлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные технологии приготовления портландцементных сырьевых смесей / Под ред. С.И. Данюшевского. М.: Стройиздат, 1971. 275 с. ТУ 21-0284757-3-90.
2. Добролюбов Г.А., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат. 1983. 154 с.
3. ГОСТ 2687-86, ГОСТ 25137, ТУ 301-08-16-90, ГОСТ 3476-74.
4. Скрипачев В.И., Кузнецов В.И., Иванчев С.С. Механизм модифицирующего действия олигомеров в наполненных композициях на основе полиэтилена // Высокомолекулярные соединения. 1984. Т. 25. №12. С. 2553-2556.
5. Гуль В.Е. К вопросу о прочности полимерных композиционных материалов // Пластич. массы. 1983. №3. С. 19-22.

УДК 656.13(079.5):351.811.122

А.Е. РАЗАХОВ

Определение значимости факторов, влияющих на безопасность дорожного движения водителей

Возможности измерения информации и преобразования зависят от специфических особенностей исследуемого объекта, от полноты и надежности данных [1]. В случаях, когда для решения задачи нет достаточно полных и надежных данных, формализация информации может быть выполнена с помощью экспертов [2].

В исследовании системы БДД водителей мы иногда не можем точно рассчитать степень влияния некоторых факторов, но все эти факторы в целом оказывают существенное влияние на исследуемый параметр оптимизации. Поэтому в нашем исследовании предпочтительным является метод экспертных оценок. Он основан на использовании мнений группы экспертов квалифицированных специалистов в исследуемой области.

Анализ априорной информации методами экспертных оценок включает в себя следующие этапы:

- подготовка анкет;
- выбор экспертов;
- непосредственно само анкетирование;
- получение статистических данных и их математическая обработка.

Для решения поставленной задачи нами было выбрано 7 экспертов. Каждый эксперт при заполнении анкеты оценивал значимость того или иного фактора по шкале от 0 до 10, где 10 — максимальная оценка для наиболее значимого фактора.

Анкетирование производилось с использованием метода непосредственной оценки с последующим ранжированием (рис. 1).

Для того чтобы проранжировать оценки, полученные от каждого эксперта по каждому фактору, приписываем каждому из факторов число натурального ряда (1,...,10) таким образом, чтобы ранг 1 был присвоен максимальной оценке, а ранг 10 — минимальной (табл. 1).

Порядковый №	Наименование фактора	Шифр фактора	Оценка фактора
1	Техническое состояние автомобиля	X ₁	5
2	Стаж работы водителя	X ₂	8
3	Сезонный фактор	X ₃	4
4	Психофизиологическое состояние водителя	X ₄	5
5	День недели	X ₅	4
6	Время суток	X ₆	9
7	Поток автомобилей	X ₇	10
8	Психологический фактор	X ₈	10
9	Климатические условия	X ₉	1
10	Температурный фактор	X ₁₀	1

Рис. 1. Анкета оценки значимости факторов

Таблица 1

ПЕРЕВОД ОЦЕНОК В РАНГИ

Фактор	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Оценка	5	8	4	5	4	9	10	10	1	1
Ранг	4	3	5	4	5	2	1	1	6	6

По результатам ранжирования сформируем матрицу экспертных оценок (рис. 2)

Найдем среднее значение суммы рангов одного объекта, в нашем случае оно равняется:

$$A_{cp} = 1/2m (n + 1) = 0,5 \cdot 7(10 + 1) = 38,5,$$

где m — число экспертов в группе;

n — число факторов.

Найдем индивидуальные отклонения от этого среднего значения:

$$S_1 = 27,5 - 38,5 = -11;$$

$$S_2 = 22,5 - 38,5 = -16;$$

$$S_3 = 42 - 38,5 = 3,5;$$

$$S_4 = 33 - 38,5 = -4,5;$$

$$S_5 = 45 - 38,5 = 6,5;$$

$$S_6 = 16,5 - 38,5 = -22;$$

$$S_7 = 11,5 - 38,5 = -17;$$

$$S_8 = 14 - 38,5 = -24,5;$$

$$S_9 = 54,5 - 38,5 = 16;$$

$$S_{10} = 54,5 - 38,5 = 16.$$

№	Эксперт	Фактор (X _i)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	4,5	3	6,5	4,5	6,5	2	1,5	1,5	8,5	8,5
2	2	4,5	3,5	5	4,5	6	3,5	1	2	8	7
3	3	3,5	3,5	5	4	6	1	2,5	2,5	7	8
4	4	4	3,5	6,5	5	6,5	3,5	2	1	7	8
5	5	4	3	6,5	5	6,5	1,5	1,5	2	8	7
6	6	4	2	6,5	5	6,5	3,5	1	3,5	7,5	7,5
7	7	3	4	6	5	7	1,5	2	1,5	8,5	8,5
8	Суммарный ранг	27,5	22,5	42	33	45	16,5	11,5	14	54,5	54,5

Рис. 2. Матрица экспертных оценок

Сумма квадратов этих отклонений равна:

$$S = (-11)^2 + (-16)^2 + 3,5^2 + (-4,5)^2 + 6,5^2 + (-22)^2 + (-17)^2 + (-24,5)^2 + 16^2 + 16^2 = 2337.$$

Так как в нашем случае могло иметь место некоторое несоответствие числа рангов числу ранжируемых объектов, то коэффициент конкордации будем рассчитывать по формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 n^3 - n - m \sum_{j=1}^m T_j},$$

$$\text{где } T_j = \frac{1}{12} \sum_j t_j^3 - t_j ;$$

t_j — число одинаковых рангов в j -м ряду.

$$W = \frac{2337}{\frac{1}{12} 7^2 10^3 - 10 - 7 \cdot 8,5} = 0,59,$$

$$T_1 = \frac{1}{12} 2^3 - 2 + 2^3 - 2 + 2^3 - 2 + 2^3 - 2 = 2,$$

$$T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_7 = 1,$$

$$T_6 = \frac{1}{12} 2^3 - 2 + 2^3 - 2 + 2^3 - 2 = 1,5.$$

$$\sum_{j=1}^7 T_j = 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1,5 + 1 = 8,5.$$

Так как в нашем исследовании оценивается большое число факторов большим количеством экспертов, то оценим степень значимости коэффициента конкордации с помощью критерия χ^2 . Значения χ^2 будем находить по формуле:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn n + 1 - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j},$$

$$\chi^2 = \frac{2337}{\frac{1}{12} 7 \cdot 10 10 + 1 - \frac{1}{10-1} \cdot 8,5} = 36,97.$$

Сравним полученное значение с табличным значением χ^2 при степенях свободы $\nu = n-1=9$ и доверительной вероятности $p=0,99$:

$$2,09 < 36,97.$$

Таким образом, с вероятностью 0,99 мы можем сказать, что между экспертами существует удовлетворительная согласованность.

Предпочтительность выбранных факторов уточняем методом парных сравнений. Используя матрицу экспертных оценок, заполняем матрицу парных сравнений (А), изображенную на рис. 3.

Факторы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

[illegible]

Рис. 3. Матрица парных сравнений (А)

Полученные индивидуальные предпочтения усредняются. На основе этого строится матрица предпочтений (P), элементы которой p_{iq} представляют собой относительное число предпочтений, полученных от всех экспертов по каждому фактору перед каждым другим фактором. Результаты представлены на рис. 4.

Факторы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	сумма
1	0	0,14	1	1	0,86	0	0	0	1	1	5
2	0,86	0	1	1	1	0,14	0	0,14	1	1	6,14
3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
4	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4
5	0,14	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2,14
6	1	0,86	1	1	1	0	0,43	0,57	1	1	5,86
7	1	1	1	1	1	0,57	0	0,72	1	1	6,29
8	1	0,86	1	1	1	0,43	0,28	0	1	1	7,57
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,72	0,72
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0,28

Рис. 4. Матрица парных предпочтений (Р)

Для анализа разброса и согласованности оценок, полученных от экспертов, применим обобщенные статистические характеристики — средние и меры разброса, которые вычислим по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x - \bar{x}^2}{m-1}},$$

где x — оценки;

$\bar{x}$ — средняя арифметическая;

m — число оценок;

$$D = \sigma^2;$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100 \%$$

Результаты вычисления среднего квадратического отклонения σ , дисперсии D и коэффициента вариации V представлены в табл. 2.

Таблица 2

ОБОБЩЕННЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Фактор	σ	$D(\sigma^2)$	$V(\%)$
X_1	1,11	1,24	17,73
X_2	0,69	0,48	8,82
X_3	0,75	0,57	17,63
X_4	0,73	0,53	13,41
X_5	0,82	0,68	19,27
X_6	1,00	1,00	11,11
X_7	0,50	0,25	5,22
X_8	0,75	0,57	8,14
X_9	0,69	0,48	80,56
X_{10}	0,69	0,48	80,56

При исследовании системы обеспечения БДД водителей с помощью экспертных методов выявлены наиболее значимые факторы, оказывающие доминирующее влияние на аварийность с данной категорией участников дорожного движения. Факторы объединены в табл. 3 и сгруппированы по уровню значимости, начиная с наименьшего.

Таблица 3

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ФАКТОРЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БДД ВОДИТЕЛЕЙ

№ п/п	Шифр фактора	Наименование фактора	Значимость 1 → 2
1	X_6	время суток	0,77
2	X_5	стаж работы водителя	0,81
3	X_7	поток автомобилей	0,83
4	X_8	психологический фактор	1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1974. 159 с.
2. Бешелев С.Д. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 159 с.

УДК 612.014.45:622.243.95-752

К.Б. КЫЗЫРОВ
Г.Г. ТАТКЕЕВА

К вопросу расчета параметров средств виброизоляции при различных кинематических возбуждениях рабочего места на подземных транспортных машинах

Создание высокопроизводительных машин и скоростных транспортных средств, форсированных по мощностям, нагрузкам и другим рабочим характеристикам, неизбежно приводит к увеличению интенсивности и расширению спектра вибрационных и виброакустических полей. Вибрация оказывает непосредственное влияние и на человека, снижая его функциональные возможности и работоспособность [1].

При расчете средств виброизоляции оператора могут решаться следующие задачи:

- 1) определение фактических уровней вибрации на рабочем месте оператора при известных упруго-диссипативных свойствах (C , h) виброизолятора и сравнение их с допустимыми значениями;
- 2) выбор параметров виброизолятора (C , h) из условия того, что фактический уровень вибрации будет меньше допустимого;
- 3) выбор оптимальных значений параметров виброизолятора из условия, что фактический уровень вибрации в выбранном диапазоне изменения параметров виброизолятора будет минимальным при

дополнительном ограничении на перемещение сиденья (задача оптимального синтеза).

Решение задач оптимального синтеза связано с противоречивым характером требований, предъявляемым к системам виброзащиты оператора. На эти системы накладываются ограничения на абсолютные скорости или ускорения

$$\dot{A} \leq \bar{A},$$

где A — функционал от нормируемого параметра вибрации ω ,

а также на относительное перемещение сиденья

$$B \leq d,$$

где B — функционал от относительного перемещения δ

В качестве функционалов A и B могут быть выбраны следующие величины: при импульсном нагружении

$$A = \max |\omega_t|, \quad B = \max |\delta_t|,$$

при детерминированных колебаниях

$$A = \int_0^\infty \omega_t^2 dt, \quad B = \int_0^\infty \delta_t^2 dt,$$

при случайных колебаниях

$$A = \sigma_\omega^2, \quad B = \sigma_\delta^2,$$

где σ — дисперсия соответствующего процесса.

Приведенные ограничения имеют противоположный характер: уменьшение функционала A приводит к увеличению функционала B . Задача оптимального синтеза сводится к определению условного экстремума:

$$A = A_{\min}, \quad B \leq d.$$

Задача нахождения условного экстремума может быть сведена к нахождению безусловного экстремума путем введения обобщенного критерия вида

$$C = A + \rho B,$$

где ρ имеет смысл множителя Лагранжа.

Для решения задач оптимального синтеза применяются специальные методы поиска экстремума функционалов.

При произвольных воздействиях задачи расчета и проектирования средств виброзащиты приводят к необходимости применения ЭВМ. При этом появляется возможность оперативного контроля и коррекции структуры и параметров виброизолятора на любом этапе счета. Расчеты можно вести при любом кинематическом воздействии с учетом всех

ограничений на фазовые координаты и оптимизируемые параметры.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи кинематического возбуждения кабины оператора: гармоническое, полигармоническое, стационарное случайное и импульсное. При всех этих воздействиях расчет виброизолятора в первую очередь предполагает определение коэффициента передачи колебаний. Для двухмассовой динамической модели безынерционным линейным виброизолятором для первых трех видов воздействий этот коэффициент определяется формулой

$$K_1^2 = \frac{\omega^2 q_1 - a_3 \omega^2 + q_0 - a_2 \omega^2}{\omega^4 - q_2 \omega^2 + q_0 + \omega^2 q_1 - q_3 \omega^2}.$$

При виброзащите оператора относительное перемещение сиденья:

$$\delta_t = x_{nt} - x_{1t}$$

может оказаться недопустимо большим.

В пространстве изображений

$$\delta_p = x_{np} - x_{1p} = x_{np} [1 - W_{1(p)}] = W_{0p} x_{np},$$

где $W_{0(p)}$ — передаточная функция между перемещением кабины и относительным перемещением сиденья.

Определим далее квадрат модуля передаточной функции

$$|W_{0(\omega)}|^2 = K_0^2 = \omega^4 \frac{\omega^2 - \bar{m}_1 \omega_4^2 + 2\bar{m}_1 \varepsilon_4 \omega^2}{(\omega^4 - q_2 \omega^2 + q_0)^2 + \omega^2 q_1 - q_3 \omega^2},$$

где $q_0 = \omega_c^2 \omega_4^2$, $q_1 = 2 \varepsilon_4 \omega_c^2 + \varepsilon_c \omega_4^2$, $q_2 = \omega_c^2 + \bar{m}_1 \omega_1^2 + 4\varepsilon_4 \varepsilon_c$,

$$q_3 = 2 \varepsilon_c + \bar{m}_1 \varepsilon_4, \quad \bar{m}_1 = 1 + \bar{m}.$$

Подставляя сюда q_i и переходя к безразмерным параметрам, получим

$$K_0^2 = \lambda^4 \frac{\lambda^2 - \bar{m}_1 \lambda_0^2 + \lambda^2}{\left[\lambda^4 - \lambda^2 (1 + \bar{m}_1 \lambda_0^2 + n n_4 \lambda_0 + \lambda_0^2) \right]^2 + \lambda^2 \bar{m}_1 n_4 \lambda_0^2 + \lambda^2 \left[\lambda_0 n_4 + n \lambda_0 - \lambda^2 (n + \bar{m}_1 n_4 \lambda_0) \right]^2}.$$

Так как при расчете систем виброзащиты требуется определение только амплитудных значений вибрации сиденья, то через коэффициенты передач можно решить все ранее поставленные задачи расчета системы виброизоляции оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов Г.А., Старожук И.А., Тарасова Л.А. Общая вибрация и вибрационная болезнь / Под ред. Н.Ф. Измерова. М.: Типография ДИС АО «АвтоВАЗ», 2000. 152 с.

УДК 62-144.3

Георг.Г. ПИВЕНЬ

Влияние режимов работы на долговечность дизельных двигателей

Долговечность двигателей внутреннего сгорания определяется моторесурсом, который устанавливают по сроку службы наиболее ответственных деталей и узлов, подвергающихся в условиях эксплуатации двигателю процессу нормального механического истирания. Заводской ремонт дизеля вызывается необходимостью ремонта коленчатого вала. Текущий ремонт с разборкой цилиндро-поршневой группы обусловлен износом поршневых колец и цилиндрических втулок.

Износостойкость деталей дизелей зависит:

а) от конструктивных факторов — качества материала, смазки и топлива, удельного давления в зоне трения, скорости относительного перемещения деталей;

б) эксплуатационных факторов — температурного и скоростного режимов работы дизеля, частоты и качества фильтрации масла, воздуха и топлива.

Линейная величина износа цилиндрических втулок и поршневых колец A принимается пропорциональной среднему условному давлению трения $P_{тр}$ теплонапряженности q соответствующих деталей

$$\Delta = K_{тр} * P_{тр} * q * \eta * \tau, \quad (1)$$

где $K_{тр}$ — коэффициент пропорциональности износа;

η — скорость вращения вала дизеля, об/мин;

τ — время работы.

Предположение о линейной зависимости трения деталей дизеля от теплового потока справедливо лишь для повышенного теплового состояния.

Заменим тепловой поток q , входящий в зависимость (1), выражением

$$q = \beta_6 (t_{cm} - t_6), \quad (2)$$

где t_{cm}, t_6 — температура охлаждающей жидкости и внутренней поверхности стенки цилиндра, °C;

β_6 — коэффициент теплоотдачи от стенки к охлаждающей воде, ккал/м².

Тогда будем иметь линейную зависимость износа трущихся деталей от их температурного состояния, которая характерна лишь для нерабочей зоны температур стенки цилиндра.

На рисунке 1 приведена опытная кривая износа гильзы от температуры охлаждающей жидкости.

Испытаниями установлено, что приращение температуры внутренней поверхности стенки цилиндра двигателя находится в линейной зависимости от приращения температуры охлаждающей жидкости. Поэтому приведенную кривую износа также можно представить как функцию температуры трущихся деталей. Из рисунка 1 видно, что она аналогична вязкостно-температурной кривой смазочных масел.

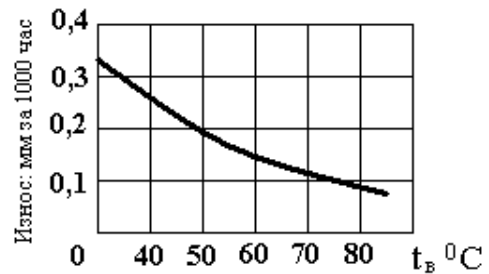


Рис. 1. Зависимость износа гильзы цилиндра от температуры охлаждающей жидкости

Смазочное масло, покрывающее зеркало цилиндра, приобретает температуру стенки. Температура коренных и шатунных шеек коленчатого вала зависит от температуры смазочного масла. Отсюда очевидно влияние на износ коленчатого вала и цилиндров двигателя теплового режима его работы, определяемого температурой охлаждающей жидкости и масла.

С повышением температуры охлаждающей жидкости и, следовательно, смазочного слоя, на зеркале цилиндра уменьшается вязкость масла. Это приводит к снижению силы трения и повышению механического к.п.д. Одновременно сокращается конденсация паров серной кислоты на стенках цилиндра и износ последних.

Однако уменьшение износа стенок цилиндра при повышении температуры жидкости ограничивается возможностью нарушения при высоких температурах стенок ($t_{cm} \geq 160-80$ °C) целостности масляной пленки на зеркале цилиндра, сильного окисления масла и уменьшения радиального зазора между поршнем и зеркалом цилиндра.

Вследствие этого повышение температуры охлаждающей жидкости для каждого двигателя и применяемых сортов масел имеет свой предел, который колеблется у существующих конструкций дизелей в интервале 110-120 °C.

В реальных условиях работы подшипников скольжения, и особенно поршней дизеля, наблюдается режим полужидкостного трения.

Масляный слой нарушается изменением давления и направления движения. При разрыве масляной пленки происходит износ сопряженной трущейся пары. Увеличение износа трущихся деталей сопровождается пропорциональным ростом работы сил трения. Учитывая это, можно записать:

$$\Delta = K_{тр} * \varpi, \text{ мк}, \quad (3)$$

где ϖ — удельная работа сил трения.

При этом полагается, что трущиеся детали двигателя подвергаются нормальному процессу абразивного износа, а изменение геометрических форм трущихся пар не влияет на интенсификацию износа.

Изложенная концепция полностью согласуется с распространенным энергетическим критерием износа, представляющим отношение объема продуктов истирания к работе сил трения, а также с законом изнашивания.

Количественной мерой износа трущихся деталей служит вес продукта абразивного износа или линейная величина механического истирания деталей. Косвенной мерой величины износа в единицу времени δ может служить удельная работа сил трения в двигателе:

$$\delta = \frac{\Delta}{\tau} = \frac{\hat{E}_{\delta\delta}}{\partial_{\delta} F_n} * N_{\delta\delta}, \quad (4)$$

где $m_{\text{ш}}$ — количество цилиндров;
 F_n — площадь поршня.

При предельно допустимом износе в эксплуатации в шейках коленчатого вала и гильзах цилиндров моторесурс дизеля составит:

$$\dot{I} = \tau_{\max} = \frac{\Delta_{i\delta} * \partial_{\delta} F_n}{\hat{E}_{\delta\delta} * N_{\delta\delta}}. \quad (5)$$

Заменяя в (5) известным выражением

$$N_{\delta\delta} = \frac{\partial_{\delta} v_h}{4500 * i} * n * D_{\delta\delta}, \quad (6)$$

получим

$$\dot{I} = 150 \frac{\Delta_{i\delta}}{\hat{E}_{\delta\delta}} * \frac{1}{\tilde{N}_i * D_{\delta\delta}}, \quad (7)$$

где i — коэффициент тактности, $i = 1, 2$;
 C_m — средняя скорость поршня, м/с;
 P_{mp} — среднее условное давление трения.

Переменный сомножитель из удельных параметров

$$\hat{E}_i = \frac{i}{C_{\delta\delta} * D_{\delta\delta}}. \quad (8)$$

можно принять в качестве комплексного критерия долговечности двигателей при сравнительной оценке их на износ.

Мощность механических потерь на трение можно представить в виде:

$$N_{\delta\delta} = \frac{\dot{I} * \varpi}{75} = \frac{\pi}{75 * 30} * \dot{I} * n, \quad (9)$$

где M_c — момент сопротивления двигателя, н*м;
 ϖ — угловая скорость вращения вала дизеля, рад/с.

Момент сопротивления прокручиванию вала двигателя приближенно выражается известной эмпирической зависимостью:

$$\dot{I}_{\tilde{n}} = \hat{E}_{\tilde{n}} * \sqrt{n * \eta}, \quad (10)$$

где η — параметр абсолютной вязкости масла, н*с/м²;
 K_c — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей двигателя. Тогда

$$N_{\delta\delta} = \frac{\hat{E}_{\tilde{n}} * \pi}{75 * 30} * \dot{I}^{1.5} * \eta^{0.5}. \quad (11)$$

Кривые зависимости механической потери мощности на трение в зависимости от температуры дизельного масла и скорости вращения вала дизеля Д50М показаны на рис.2.

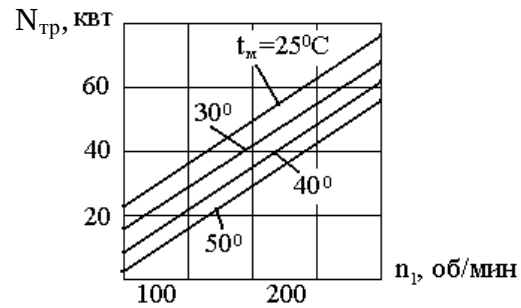


Рис. 2. Потери мощности на механическое трение в зависимости от скорости вращения вала дизеля Д50М при различных температурах дизельного масла

Подставив выражение (11) в (5), получим ещё одну функцию моторесурса двигателя:

$$\dot{I} = \frac{\Delta_{n\delta} * m_{\delta} * F_n}{\hat{E}_{\delta\delta} * \hat{E}_{\tilde{n}}} * \frac{1}{h^{1.5} * \eta^{0.5}}. \quad (12)$$

В отличие от функции (7), представляющей зависимость моторесурса двигателя от конструктивных параметров, формула (12) отражает зависимость долговечности дизеля от режимов эксплуатации (рис. 3).

Для определения износостойкости важнейших трущихся деталей дизеля в формуле (3) заменим выражение удельной работы сил трения:

$$\varpi_{mp} = \mu * \rho * v * \tau, \quad (13)$$

где μ — коэффициент трения скольжения;
 ρ — нормальное удельное давление;
 v — относительная скорость скольжения.
 Тогда

$$\mu = \tau_{\max} = \frac{\Delta_{\delta\delta}}{\hat{E}_{\delta\delta} * \mu * \rho * v}. \quad (14)$$

Произведение $\rho * v$ принято считать мерой износа трущихся деталей. Для обеспечения их долговечности оно не должно превосходить норм, выработанных практикой.

При определении моторесурса двигателя по ответственным деталям и узлам, ограничивающим срок его службы и имеющим равномерный износ, представляет интерес лишь наибольшая величина их местных износов. Максимальный местный износ гильзы цилиндра находится в зоне камеры сгорания от трения первых поршневых колец, а у всех — коленчатого вала — во внутренней образующей шейки (между щеками).

Условия работы сил трения в этих зонах должны приниматься при практических расчетах. В соответствии с этим наиболее точное значение срока службы двигателя может быть получено по исходному выражению (14) с принятием местных значений коэффициента трения, скорости скольжения и нормальных давлений, создаваемых давлением рабочих газов на поршень и силами инерции движущего механизма.

Удельную силу трения $\mu * \rho$ в применении к трущимся деталям двигателя внутреннего сгорания выразим через постоянное по углу поворота кривошипа среднее за цикл давление трения:

$$\mu_i * \rho_i = \beta_i \frac{D_{\delta\delta}}{i} * \frac{F_n}{F_{\delta\delta i}},$$

где F_n — площадь поршня;
 F_{mpi} — площадь рассматриваемой поверхности в дизеле;
 β_i — доля среднего давления трения, приходящаяся на рассматриваемую поверхность трения.

Работа сил трения распределяется в дизеле на трение: в цилиндрах (цилиндрических втулках $\beta_u = 0,55 \div 0,65$), в шейках коленчатого вала ($\beta_{\delta} = 0,35 + 0,45$) и в распределительном механизме в насосах всех систем ($\beta_{np} = 0,03 + 0,05$).

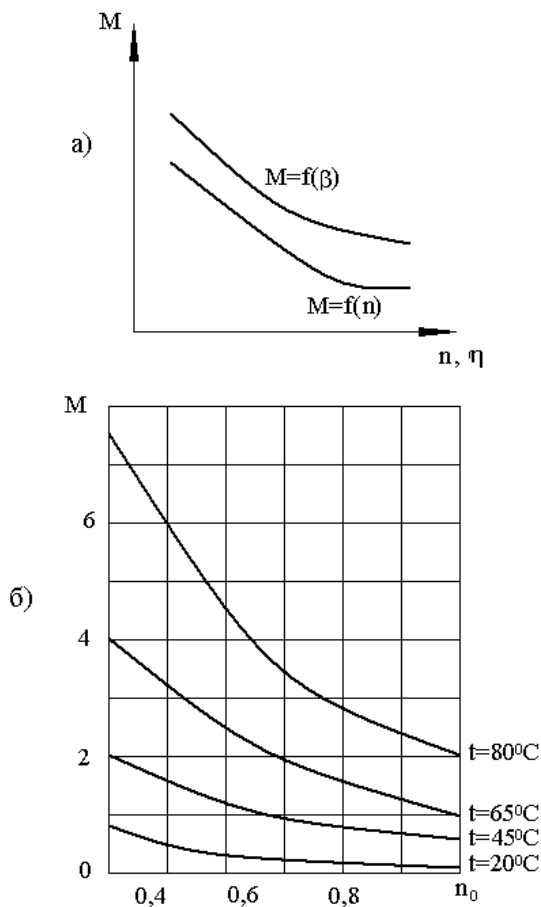


Рис. 3. Зависимость моторесурса дизеля от скорости вращения вала и вязкости дизельного масла

Площадь проекции поверхности коренной шейки коленчатого вала

$$F_{mpi} = F_{\delta} = d_{\delta} * l_{\delta},$$

а окружная скорость ее скольжения

$$g_{\delta} = \frac{\pi * d_{\delta} * n}{60} = \frac{\pi * d_{\delta} * \tilde{N}_{\delta}}{2S},$$

где d_{δ} и l_{δ} — диаметр и длина шейки;
 S — путь трения.

Пренебрегая трением поршня о стенки цилиндра, площадь трения определим по поверхности соприкосновения колец с гильзой:

$$F_{mpi} = F_u = \pi * D * h_k * m_k,$$

где h_k — рабочая ширина поршневого кольца;
 m_k — количество колец на поршне.

С учетом приведенных зависимостей получим следующее выражение моторесурса двигателя по износу коренных шеек коленчатого вала:

$$\dot{I}_{\delta} = \frac{2\lambda * l_{\delta} * \Delta_{\delta\delta}}{\pi^2 * \hat{E}_{\delta\delta} * \beta_{\delta} * \ddot{A}} * \frac{i}{D_{\delta\delta} * \tilde{N}_{\delta\delta}} \quad (15)$$

и цилиндрических втулок

$$\dot{I}_{\delta} = \frac{m_k * h_k * \Delta_{\delta\delta}}{\hat{E}_{\delta\delta} * \beta_{\delta} * \ddot{A}} * \frac{i}{D_{\delta\delta} * \tilde{N}_{\delta\delta}}. \quad (16)$$

Полученные выражения подобны между собой и формуле (7). Из формул (11) и (12) видно, что работа сил трения, а следовательно, и моторесурс двигателя внутреннего сгорания определяются в эксплуатации скоростным и температурным режимом его работы.

Из полученных выражений видно, что моторесурс двигателя при переменных режимах работы не зависит от нагрузки. Входящая в отдельные выражения величина среднего давления трения не зависит от нагрузки и определяется теми же параметрами, что и момент сопротивления: $P_{mp} = f(n, \eta)$. Отсюда режимы холостого и груженого хода при одинаковых h и η оказывают на долговечность двигателя примерно одинаковое влияние.

Таким образом, моторесурс дизеля не зависит от следующих основных факторов: степени форсирования, диаметра цилиндра, числа оборотов коленчатого вала, жесткости конструкции и заложенного в ней уровня напряжений, а также удельных давлений между трущимися поверхностями, что косвенно может быть оценено удельным весом двигателя. Значительное влияние на моторесурс оказывают применяемые сорта топлива и масла, режимы работы и пр.

Установим зависимость моторесурса дизеля с помощью теории множественной корреляции от параметров

$$\frac{P_z}{P_e}, g_{\delta\delta},$$

где D — диаметр цилиндра, см;

n — число оборотов коленчатого вала, об/мин;

$\frac{P_z}{P_e}$ — показатель степени форсирования;

$g_{\delta\delta}$ — удельный вес дизеля, кг/э.л.с.

Зависимость моторесурса дизеля от каждого из

аргументов D , n , $\frac{P_z}{P_e}$, $g_{\delta\delta}$ вначале устанавливалась

методом парной корреляции, а затем было выведено уравнение множественной корреляции, учитывающее совместное влияние перечисленных выше параметров на долговечность дизеля.

В линейной корреляционной связи моторесурса и диаметра цилиндра показателем тесноты связи этих двух величин является коэффициент корреляции, вычисленный по формуле:

$$r_{I\bar{A}} = \frac{\sum \dot{I} \ddot{A}}{m} - \dot{\bar{I}} * \ddot{\bar{A}}, \quad (17)$$

где r_{MD} — коэффициент корреляции;
 m — количество исходных величин в
 статистической выборке.

$$\bar{\dot{I}} = \frac{\sum \dot{I}}{m}; \quad \bar{\ddot{A}} = \frac{\sum \ddot{A}}{m} -$$

среднее значение моторесурса и диаметра цилиндра.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum \dot{I}^2}{m} - \overline{\dot{I}}^2}; \quad \sigma_{\ddot{A}} = \sqrt{\frac{\sum \ddot{A}^2}{m} - \overline{\ddot{A}}^2} -$$

среднеквадратичное отклонение, характеризующее степень рассеяния фактических значений моторесурса и диаметра цилиндра от средней величины.

Коэффициент корреляции при линейной форме связи между M и D равняется 0,972, а линейное корреляционное уравнение имеет вид

$$M = -7486,6 + 1170,2 * D, \quad (18)$$

т.е. чем больше D , тем больше M . Коэффициент корреляции между параметрами M и n равен $(-0,88)$, а корреляционное уравнение имеет вид:

$$M = 41560 - 22 * n. \quad (19)$$

В качестве показателя степени форсирования дизеля принято отношение $\frac{P_z}{P_o}$. Коэффициент

корреляции для зависимости моторесурса от степени форсирования равняется $(-0,633)$, а сама зависимость описывается уравнением

$$M = 39650 - 1974,8^* \frac{P_z}{P_x}. \quad (20)$$

Расчет зависимости моторесурса от P_{ϵ} , $\frac{N_{\dot{a}}}{\sum F} * N_{\ddot{o}}$

показывает, что коэффициент корреляции между M и этими величинами гораздо меньше 0,5.

На моторесурс существенное влияние оказывает удельный вес дизеля $g_{\text{диз}}$, что подтверждает численное значение коэффициента корреляции, равное 0,925, связь между M в $g_{\text{диз}}$ характеризует уравнение:

$$M = 11050 + 1250 * q_{du3} \quad (21)$$

При изучении корреляционной зависимости моторесурса дизеля от четырех факторов ограничимся наиболее простым и важным для практических расчетов случаем прямолинейной корреляции, описанной в общем виде уравнением:

$$\dot{I} = \hat{a}_1 + \hat{a}_2 \ddot{A} + \hat{a}_3 n + \hat{a}_4 \frac{P_z}{P} + \hat{a}_5 g_{\hat{a}\hat{e}\hat{c}}. \quad (22)$$

Для удобства расчета выразим все переменные и зависимости между ними в стандартизированном масштабе и, проведя ряд математических преобразований [3], получим систему нормальных уравнений:

$$r_{\hat{A}} = \beta_2 + \beta_3 r\ddot{A}_{\hat{r}} + \beta_4 r\ddot{A}_{\hat{\theta}} + \beta_5 r\ddot{A}^* g_{\ddot{e}c},$$

$$r_{\hat{I}\hat{J}} = \beta_2 r \ddot{A}_{\hat{I}} + \beta_3 + \beta_4 r_{\hat{E}\hat{I}} + \beta_5 r_{\hat{I}}^* g_{\hat{a}\hat{e}\hat{c}},$$

$$r_{\hat{I} \hat{E}} = \beta_2 r_{\hat{E}} \ddot{A}_{\hat{I}} + \beta_3 r_{\hat{E} \hat{I}} + \beta_4 + \beta_5 r_{\hat{E}}^* g_{\ddot{a} \ddot{e} c},$$

$$r_{\dot{I} \, q\ddot{a}e\dot{c}} = \beta_2 * g_{\ddot{a}e\dot{c}} \ddot{A} + \beta_3 g_{\ddot{a}e\dot{c}} * n + \beta_4 \beta_5 r^* g_{\ddot{a}e\dot{c}} + \beta_4,$$

где $r_{\text{модуиз}}, r_{mn}$ — коэффициенты корреляции;

$\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ — стандартизированные коэффициенты уравнения множественной регрессии;

$$K — \text{отношение } \frac{P_z}{P_0}.$$

Определив коэффициенты корреляции $r_{\partial n}$, $r_{\partial k}$, $r_{\partial g_{\partial u i z}}$, $r_{l k}$, $r_{m g_{\partial u i z}}$, $r_{k g_{\partial u i z}}$ и используя ранее полученные коэффициенты парной корреляции, найдем численные значения стандартизованных коэффициентов. Подставив значения этих коэффициентов в стандартизованное уравнение

$$\begin{aligned} \dot{I} - \bar{I} = & \beta_3 \frac{\dot{A} - \bar{A}}{\sigma_{\bar{A}}} + \beta_2 \frac{n - \bar{n}}{\sigma_{\bar{A}}} \frac{\sigma_i}{\sigma_{\bar{A}}} + \\ & + \beta_4 \frac{k - \bar{k}}{\sigma_{\bar{A}}} + \beta_5 \frac{g_{\bar{a}\bar{e}\bar{c}} - \overline{g_{\bar{a}\bar{e}\bar{c}}}}{g_{\bar{a}\bar{e}\bar{c}}} \frac{\sigma_i}{\sigma_{\bar{A}}}, \end{aligned} \quad (23)$$

получим уравнение множественной корреляции, характеризующее зависимость моторесурса дизеля от

$$D, n, \frac{P_z}{P}, g_{\text{оиз}}$$

Выводы

1. Полученную для расчета моторесурса формулу (24) можно применять для определения долговечности дизелей.

2. Указанная формула (23) справедлива для номинального режима работы дизеля. Зная среднее значение P_z , P_e , $g_{\text{диз}}$, n , D при эксплуатации в определенных климатических зонах и при конкретных режимах работы дизеля, можно ориентировочно оценить влияние режимов эксплуатации на ресурс двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колюко В.М. Влияние параметров рабочего процесса на срок службы двигателей внутреннего сгорания // Энергомашиностроение. 1988. № 8. С. 123.
2. Buttner S. Mototvorwamung bei Diesel-lokomotiven. Dentsche Eisenbahu technik №10. 1988. С. 15-20.
3. Лукомский Я.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. М.: Госстатиздат, 1961. С. 320.
4. Григорьев М.А. и др. Ускоренные испытания автомобильных двигателей на надежность и долговечность автомобильных двигателей. М.: НИИНавтопром, 1991. С. 215.

Раздел 5

Информационные технологии. Экономика промышленности

УДК 681.3:656.02

В.В. ЯВОРСКИЙ
Л.К. СУЛЕЙМЕНОВА

Расчетные методы определения пассажиропотоков

Решение большинства задач организации пассажирских перевозок основано на данных о пассажиропотоке на маршруте. Причем для различных задач требуются данные о пассажиропотоках разной степени детализации и точности. Так, для задачи распределения подвижного состава по маршрутам необходима информация о величине максимального пассажиропотока на наиболее напряженном участке маршрута в часы пик, а при составлении расписаний движения автобусов — почасовые данные о величине пассажиропотока на маршруте. Для получения этой информации обычно используется наиболее простой метод обследования — визуальный.

Более трудоемкие методы (табличный, талонный и др.) применяются для получения часовых и суточных матриц корреспонденций пассажиров.

Нами предложен расчетный метод получения матрицы корреспонденций, исходя из данных о числе входящих и выходящих на остановках пассажиров.

Этот метод нашел широкое применение, поскольку при значительно меньшей трудоемкости обследования обеспечивается достаточная точность результатов. Достоинством данного метода является возможность автоматизации обследования за счет использования датчиков для определения числа вошедших и вышедших на остановках пассажиров, что исключает непосредственный контакт с ними.

Расчетный метод основан на гипотезе о максимальной энтропии стохастической коммуникационной системы, частицами которой являются пассажиры, а коммуникациями — связи между остановочными пунктами.

С учетом информации, задаваемой множеством H , модель взаимосвязи потоков в маршрутных сетях с корреспонденциями между транспортными районами может быть представлена в виде системы линейных уравнений, имеющих следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h_{ij} \in M_{\zeta\eta}^k} P_{ijs} x_{ij} = d_{\zeta\eta}^k. \quad (1)$$

Здесь $M_{\zeta\eta}^k$ — множество путей передвижения, содержащих маршрутную связь k -го маршрута; P_{ijs} — вероятность выбора s -го пути из множества путей H_{ij} , соединяющих районы i и j ; n — число элементов в рассматриваемой системе управления; x_{ij} — корреспонденции между районами. Вероятность P_{ijs} выбора пути передвижения является функцией, зависящей от параметров путей между районами i и j . К основным параметрам этой функции относятся затраты времени на передвижение t_{ijl} и количество пересадок с одного маршрута на другой q_{ijl} для путей, образующих совокупность H_{ij} :

$$P_{ijs} = F(t_{ijl}, q_{ijl} | h_{ijl} \in H_{ij}). \quad (2)$$

Представим систему уравнений (1) в виде

$$Px = d, \quad (3)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — упорядоченный вектор неизвестных, соответствующий корреспонденциям, а $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ упорядоченный вектор, соответствующий известным потокам на маршрутных связях.

Как было указано выше, для решения системы уравнений (3) необходимо начальное приближение решения x^0 , которое предлагается находить с помощью энтропийного моделирования с использованием данных об обследовании средних данных по городу и различных коэффициентов, полученных во время предшествующих обследований и приведенных в специальной литературе. Этот метод заключается в распределении пассажиропотоков, отправляющихся из транспортных районов города (остановок) в другие районы в соответствии с функцией тяготения, отражающей трудность передвижения между парой районов. Так как для дальнейшего решения системы достаточно найти только грубое приближение, то для реализации была выбрана экспоненциальная модель функции тяготения, простая и не требующая громоздких расчетов и дополнительных данных. Она представляется в виде $\tilde{d}^{1/l_{cp}}$, где l — расстояние между транспортными районами, а l_{cp} — средняя дальность поездки по городу. Но после такого распределения сумма прибывающих корреспонденций по районам не будет соответствовать данным обследования. Матрица потенциальных корреспонденций (МПК) получается как бы перекошенной, т.е. мы знаем, какими должны быть суммы ее строк и столбцов, но в полученной матрице с этими значениями совпадают только суммы строк (отправления из транспортных районов). Для выравнивания матрицы (достижения совпадения также и сумм столбцов с полученными данными) нужно применить так называемую балансировку корреспонденций. Известно несколько таких методов балансировки корреспонденций: наименьших квадратов, Вашингтона и др. При решении данной задачи мы используем метод балансировки корреспонденций Ю.А. Шацкого, в котором расчет ведется в несколько итераций с использованием балансирующих коэффициентов до достижения необходимой точности выравнивания МПК.

Рассмотрим методику расчета взаимных корреспонденций районов (т.е. нахождения элементов МПК λ_{ij}). Расчет будем вести по отправлениям из районов. Очевидно, что пассажиры, отправившиеся из района i , прибывают во все остальные районы. Если считать корреспонденции λ_{ij} пропорциональными потоку отправляющихся из района i пассажиров и вероятности передвижения между районами по трудности сообщения, оцениваемой функцией тяготения d_{ij} , то

$$\lambda_{ij} = \tilde{I}_i^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} \frac{\tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} d_{ij}}{\sum_j \tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} d_{ij}}, \quad (4)$$

где $\tilde{I}_i^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$ — поток входящих в транспорт в районе i (отправляющихся) пассажиров;

$\tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$ — поток выходящих из транспорта в районе j (прибывающих) пассажиров.

Мы рассчитываем корреспонденции в предположении полной сбалансированности города по связям, т.е. когда сумма потоков пассажиров, входящих в районах отправления, в точности равна сумме потоков пассажиров, выходящих в районах прибытия:

$$\sum_i \tilde{I}_i^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} = \sum_j \tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}. \quad (5)$$

При расчете корреспонденций по (4) условие (5) всегда выполняется автоматически. Этого, однако, мало. Необходимо, чтобы были сбалансированы по отправлениям и прибытиям все транспортные районы, т.е. в результате расчета корреспонденций по отправлениям сумма прибытий из всех районов отправления i в любой район прибытия j , равная $\sum_i \tilde{I}_{ij}$, в точности соответствовала потоку

прибывающих в этот район пассажиров $\tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$ (условие равенства количества отправок из районов i потоку отправляющихся из этих районов пассажиров $\tilde{I}_i^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$ при этом выполняется автоматически), т.е.

$$\sum_i \tilde{I}_{ij} = \tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}. \quad (6)$$

В отличие от (5) условие (6) при расчете корреспонденций по (4) выполняется автоматически только при равновероятном тяготении, когда $d_{ij} = 1$. При любой другой функции тяготения результаты однократного расчета корреспонденций не удовлетворяют условию (6). Поэтому возникает необходимость корректировки результатов расчета (балансировки корреспонденций) так, чтобы соблюдалось равенство (6). Ниже приведено описание метода Ю.А. Шацкого применительно к нашей задаче.

В выражение (4) для расчета корреспонденций в ту часть, где рассчитывается вероятность передвижения между районами, вводятся нормирующие множители для балансировки корреспонденций по прибытиям. В результате выражение примет вид:

$$\tilde{I}_{ij} = \tilde{I}_i^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} \frac{k_{j(n)} \tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} d_{ij}}{\sum_j k_{j(n)} \tilde{I}_j^{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} d_{ij}}, \quad (7)$$

где $k_{j(n)}$ — нормирующие множители для j -го района прибытия и n -й итерации.

Корректировка проводится итерационным расчетом (методом последовательных приближений), в котором расчет по (4) при нормирующих множителях $k_{j(n)}$, равных единице, представляет собой лишь первую процедуру (нулевую итерацию).

При балансировке корреспонденций итерационным методом Шацкого нормирующие множители k_j на всех итерациях, кроме нулевой, при расчете по отправлениям вычисляют как отношения:

$$k_{j(n+1)} = \frac{\ddot{I}_{j(n)}^{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}}{\sum_i \ddot{I}_{ij(n)}}, \quad (8)$$

где $k_{j(n+1)}$ — нормирующие множители на $n+1$ итерации;
 n — номер предыдущей итерации.

Балансировку ведут при заданной точности ε выравнивания матрицы корреспонденций до выполнения следующего условия (для всех j):

$$\left| 1 - \frac{\ddot{I}_{j(n)}^{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}}{\sum_i \ddot{I}_{ij(n)}} \right| \leq \varepsilon. \quad (9)$$

УДК 658.286:621.86.001.18

Р.А. ТОРГАЕВ

К оценкам влияния параметров транспортной системы на эффективность затрат гибкой производственной системы

Эксплуатационные затраты гибкой производственной системы (ГПС) обычно рассчитываются с использованием соотношения

$$Z_i = C_i + Z_{3i} + Z_{ni} + Z_{pi},$$

где C_i — стоимость единицы оборудования i -го типа;

Z_{3i} — затраты на эксплуатацию единицы оборудования, $Z_{3i} = \delta C_i \tau_0$,

здесь δ — доля стоимости оборудования, расходуемая в год на его эксплуатацию (обычно $\delta = 0.1$);

τ_0 — время производства отливок, лет;

Z_{ni} — затраты на производственную площадь, занимаемую единицей i -го оборудования,

$Z_{ni} = \chi_n u_i \tau_0$,

здесь χ_n — стоимость единицы производственной площади за год;

u_i — площадь, занимаемая оборудованием;

Z_{pi} — заработная плата рабочих, обслуживающих единицу i -го оборудования, $Z_{pi} = \chi_p z_i \tau_0$,

здесь χ_p — заработная плата рабочего за год;

z_i — число рабочих, обслуживающих единицу i -го оборудования.

Тогда

$$Z_i = C_i + \delta C_i \tau_0 + \chi_n u_i \tau_0 + \chi_p z_i \tau_0.$$

Полные затраты на производство деталей определяются по формуле

$$\hat{O} = N \sum_{i=1}^l (C_i + \delta C_i \tau_0 + \chi_n u_i \tau_0 + \chi_p z_i \tau_0) K_i.$$

При этом предполагается постоянство значений δ , χ_n , χ_p .

Применительно к ГПС, когда система управления учитывает внешние и внутренние возмущающие воздействия, необходимо уточнение вышеприведенных соотношений. К числу внешних возмущающих воздействий отнесены изменения цен

Для большинства задач подходит точность выравнивания $\varepsilon = 1\%$.

В заключение отметим, что изложенный метод является еще одним примером анализа сложной стохастической системы с помощью энтропийной гипотезы.

на электроэнергию, а в качестве внутреннего возмущающего фактора — моральное старение оборудования ГПС и, как следствие, уменьшение их справедливой стоимости и соответствующее увеличение суммы статьи расходов.

В связи с вышеизложенным в целях оценки эффективности затрат на транспортную систему ГПС эксплуатационные расходы при работе в одну смену предложено выделить с использованием следующей обобщенной формулы:

$$\begin{aligned} \dot{Y} = & k_1 P + k_2 TP + k_3 A + k_4 V + k_5 \dot{O} + k_6 \hat{E}_{\text{св}} + \\ & + k_7 \ddot{I} + k_8 S + [k_9 \Sigma N(i) + k_{10} \Sigma N(j)] 10^{-3} + \sum_{i=1}^n \Delta_{im}, \end{aligned}$$

где P — списочная численность работников;

TP , A , V , T , K_{30} , Π — стоимости, соответственно, транспорта, локальной автоматики, УВК, трассы, здания; перегрузочных устройств;

S — площадь в цехе, занимаемая транспортной системой;

$N(i)$, $N(j)$ — суммарные мощности подъемно-транспортных машин (ПТМ) соответственно с одно- и многомоторными электроприводами;

Δ_{im} — значение расходов по i -му ПТМ за счет переоценки с учетом справедливой стоимости;

$k_1, \dots, k_{10}$ — коэффициенты.

Конкретные значения коэффициентов определяются методом наименьших квадратов.

На основании обработки экспертных данных по соотношению затрат на транспортные системы, заложенных в типовых проектных решениях ГПС, может быть предположено:

- затраты на работников, локальную автоматику, УВК постоянны;

- суммарные эксплуатационные расходы на ПТМ пропорциональны квадрату или кубу величины потребляемой ими электроэнергии;

- доля потребляемой ПТМ электроэнергии составляет основную часть по транспортной системе в целом.

В этой связи рассмотрена модель, когда количественные значения параметров модели, выражающие зависимость эксплуатационных расходов на транспортную подсистему ГПС от объемов потребляемой электроэнергии, определяются по формулам:

$$C_{\partial \bar{n}} = \dot{a}_i + \dot{a}_1 \dot{Y}_{\bar{e}} + \dot{a}_2 \dot{Y}_{\bar{e}}^3$$

$$\text{или } C_{\partial \bar{n}} = b_i + b_1 \dot{Y}_{\bar{e}} + b_2 \dot{Y}_{\bar{e}}^2,$$

где Z_{mc} — затраты на транспортную систему;

$\mathcal{E}_l$ — потребление электроэнергии транспортной системой;

a_i, b_i — параметры, рассчитываются методом наименьших квадратов.

Данные предположения могут быть в последующем проверены применительно к конкретным транспортным системам ГПС.

Для оценки эффективности затрат в качестве параметра рассмотрены удельные расходы электроэнергии транспортной системы на единицу затрат

$$\hat{E}_{\bar{y}\bar{o}}^{\bar{e}} = \frac{\dot{Y}_{\bar{e}}}{C_{\partial \bar{n}}}.$$

С учетом этого условие экономичной работы транспортной системы представлено в следующем общем виде:

$$\frac{\dot{Y}_{\bar{e}}}{\hat{E}_{\bar{y}\bar{o}}^{\bar{e}}} = \dot{a}_i + \dot{a}_1 \dot{Y}_{\bar{e}} + \dot{a}_2 \dot{Y}_{\bar{e}}^3.$$

Может быть показано, что, используя каноническое уравнение «сборки» для выходной переменной $\mathcal{E}_l$, можно в конечном итоге определить момент недопустимого роста затрат под влиянием изменения

параметров транспортной системы. При этом значение $\hat{E}_{\bar{y}\bar{o}}^{\bar{e}}$ задается по соображениям экономической эффективности эксплуатационных затрат конъюнктуры рынка. В дальнейшем могут проводиться расчеты эксплуатационных затрат на транспортную систему при различных вариантах рассматриваемых внешних и внутренних воздействий. При задании зависимостей цен на электроэнергию и снижении справедливой стоимости ПТМ от времени может быть определен момент, определяющий область неустойчивости транспортной системы в условиях ГПС.

Справедливая стоимость основных элементов транспортной системы ГПС, а именно ПТМ, может быть оценена по степени влияния их количественных и качественных сопоставимых параметров. Соответствующая методика имеется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров В.А. Транспортно-накопительные системы для ГПС. Л.: Машиностроение, 1989.
2. Торгаев Р.А., Торгаева И.Р. К оценке эффективности затрат на транспортные подсистемы гибких производственных систем механообработки // Труды Междун. науч. конф. «Наука и образование — ведущий фактор стратегии «Казахстан — 2030» / Карагандинский государственный технический университет. Караганда, 2003.

Раздел 6

Энергетика. Автоматика и управление

УДК 614.841.47:004

*Л.А. АВДЕЕВ
Ю.Н. БЫРЬКА
Д.С. ТАРАСЕНКО
В.Н. ШАТОХИН*

Определение концентрации CO и H_2 по показаниям датчиков с перекрестной чувствительностью при контроле признаков эндогенных пожаров

В угледобывающей промышленности одним из широко применяющихся способов обнаружения ранних признаков эндогенных пожаров является газоаналитический. Согласно требованиям действующих ПБ (п.561) в шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, должен быть организован контроль за ранними признаками самовозгорания угля. В местах, подлежащих контролю, необходимо определять фон окиси углерода (CO) и водорода (H_2) и следить за его изменением. В случае нарастания концентрации указанных газов необходимо принимать соответствующие меры безопасности (работы должны быть прекращены, люди выведены, источники появления этих газов выявлены и локализованы).

Как показал анализ мировой практики применения датчиков на содержание CO и H_2 , наиболее подходящими для использования в разрабатываемой предприятием «Углесервис» УД ОАО «Миттал Стил Темиртау» автоматизированной системе раннего обнаружения эндогенных пожаров являются выпускаемые германской фирмой WOELKE INDUSTRIELEKTRONIK GMBH стационарные датчики окиси углерода типа MONIMET-GMM 03.05 и водорода типа MONIMET-GMM 11.05, основанные на электрохимическом принципе действия.

Указанные датчики рассчитаны для использования в шахтных условиях, имеют необходимый уровень взрывозащиты, выполнены на высоком техническом уровне и соответствуют современным требованиям, предъявляемым к средствам отбора информации (имеют широкий диапазон измерений, высокую чувствительность, встроенный микроконтроллер, автоматическую компенсацию влияния давления и температуры газа, индикаторную панель для местного контроля, возможность выбора вида унифицированного выходного сигнала для дистанционной передачи и т.д.).

Однако в процессе опытной эксплуатации системы на шахте им. Костенко УД ОАО «Миттал Стил Темиртау» выявлен их существенный недостаток, заключающийся в перекрестной чувствительности сенсоров этих датчиков к контролируемым газам. Сенсор датчика CO реагирует кроме окиси углерода и на водород, а сенсор датчика H_2 , в свою очередь, чувствителен к наличию окиси углерода. Поскольку анализируемая газовая смесь, поступающая к датчикам из контролируемой пожароопасной зоны, содержит смесь указанных (а также других) газов, выходные сигналы сенсоров, формирующие показания датчиков, являются суммарной реакцией на концентрации как

измеряемого (контролируемого датчиком) газа, так и влияющего газа. Соответственно, получаемые с выходных устройств системы «показания» отражают результат воздействия на каждый датчик как измеряемого, так и влияющего газа, тогда как для оценки стадии самонагрева угля необходимо знание фактических (действительных) значений концентраций контролируемых газов.

Аналитически указанные зависимости при линейных статических характеристиках датчиков можно представить в следующем виде:

$$\tilde{N} \dot{e} \dot{c} i = \tilde{N} \dot{I} + \hat{e}_1 \dot{I}_2, \quad (1)$$

$$\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i = \dot{I}_2 + \hat{e}_2 \tilde{N} \dot{I}, \quad (2)$$

где $CO_{изм}$, $H_{2изм}$ — измеренные значения концентраций CO и H_2 , т.е. показания датчиков, ррм;

CO , H_2 — действительные значения концентраций CO и H_2 в анализируемой газовой смеси, подаваемой в датчики, ррм;

κ_1 — коэффициент, характеризующий чувствительность датчика CO к водороду ($\kappa_1 < 1$);
 κ_2 — то же, датчика H_2 к окиси углерода ($\kappa_2 < 1$).

Решая совместно уравнения (1), (2) относительно CO и H_2 , находим:

$$\tilde{N} \dot{I} = \frac{\tilde{N} \dot{e} \dot{c} i - \hat{e}_1 \dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i}{1 - \hat{e}_1 \hat{e}_2}; \quad (3)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i - \hat{e}_2 \tilde{N} \dot{I} \dot{e} \dot{c} i}{1 - \hat{e}_1 \hat{e}_2}. \quad (4)$$

По формулам (3), (4) можно определить, на основе показаний датчиков, действительные значения концентраций CO и H_2 в газовой смеси, подаваемой в оба датчика.

При работе датчиков в составе системы в показаниях выходных устройств системы содержатся в общем случае также погрешности информационных каналов (ИК) по каждому контролируемому параметру, которые для дальнейшего анализа представим в виде систематических погрешностей Δco и Δn_2 (Δco — по ИК «концентрация окиси углерода», а Δn_2 — по ИК «концентрация водорода»). В этом случае измеренные значения контролируемых параметров системы $CO_{изм}$ и $H_{2изм}$ можно представить в виде:

$$\tilde{N} \dot{e} \dot{c} i = \tilde{N} \dot{I} + \hat{e}_1 \dot{I}_2 + \Delta \tilde{n}; \quad (5)$$

$$\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i = \dot{I}_2 + \hat{e}_2 \tilde{N} \dot{I} + \Delta \dot{i}_2. \quad (6)$$

Решая совместно уравнения (5), (6) относительно CO и H_2 , получим:

$$\tilde{N} \dot{I} = \frac{\tilde{N} \dot{e} \dot{c} i - \hat{e}_1 \dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i + \hat{e}_1 \Delta \dot{i}_2 - \Delta \tilde{n}}{1 - \hat{e}_1 \hat{e}_2}; \quad (7)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i - \hat{e}_2 \tilde{N} \dot{I} \dot{e} \dot{c} i + \hat{e}_2 \Delta \tilde{n} - \Delta \dot{i}_2}{1 - \hat{e}_1 \hat{e}_2}. \quad (8)$$

Значения погрешностей Δco и Δn_2 ИК системы можно определить, используя формулы (5), (6), по известным значениям концентрации $CO_{изм}$ и $H_{2изм}$ на выходных устройствах системы при известных действительных значениях концентрации CO и H_2 в

газовой смеси (например, по результатам лабораторного анализа проб газовой смеси, набранных в момент фиксации $CO_{изм}$ и $H_{2изм}$, либо путем подачи одновременно на входы обоих датчиков чистого воздуха, обеспечивая выполнение условия $CO=0$, $H_2=0$). В последнем случае значения концентрации газов на выходе системы $CO'_{изм}$ и $\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i$ соответствуют значениям погрешностей, т.е. $CO'_{изм} = \Delta co$, а $\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i = \Delta \dot{i}_2$.

Значения коэффициентов перекрестной чувствительности сенсоров определяются экспериментально путем подачи на вход каждого датчика влияющего газа определенной (известной) концентрации и фиксации показаний датчика. Отношение показаний датчика к значению концентрации влияющего газа характеризует соответствующий коэффициент чувствительности. Так, по сведениям фирмы-поставщика датчиков, перекрестная чувствительность сенсоров CO и H_2 характеризуется следующими данными:

- при подаче в датчик CO (типа GMM 03.05) газа с концентрацией водорода, равной 1000 ррм, показания датчика CO составляют 250 ррм (коэффициент чувствительности $\kappa_1 = 250/1000 = 0,25$);

- при подаче в датчик H_2 (датчик GMM 11.05) газа с концентрацией окиси углерода, равной 300 ррм, показания датчика H_2 составляют 60 ррм (коэффициент чувствительности $\kappa_2 = 60/300 = 0,2$).

Для количественной оценки влияния перекрестной чувствительности сенсоров, а также указанных выше погрешностей Δco , Δn_2 на показания датчиков, рассмотрим пример. Пусть в процессе функционирования системы значения контролируемых параметров по показаниям выходных устройств системы составляют: $CO_{изм} = 50$ ррм, $H_{2изм} = 40$ ррм. При подаче на входы датчиков чистого воздуха показания составили: $CO'_{изм} = \Delta co = 10$ ррм, а $\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i = \Delta \dot{i}_2 = 6$ ррм.

Определим действительные значения концентраций CO и H_2 , используя формулы (7), (8)

$$\dot{C} \dot{I} = \frac{50 - 0,25 \cdot 40 + 0,25 \cdot 6 - 10}{1 - 0,25 \cdot 0,2} = \frac{50 - 10 + 1,5 - 10}{0,95} = 33,2 \text{ ррм};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{40 - 0,2 \cdot 50 + 0,2 \cdot 10 - 6}{1 - 0,25 \cdot 0,2} = \frac{40 - 10 + 2,0 - 6}{0,95} = 27,4 \text{ ррм},$$

т.е. показания выходных устройств системы завышены. Погрешности контроля, обусловленные наличием перекрестной чувствительности датчиков и систематическими погрешностями информационных каналов системы, в рассматриваемом примере составляют:

по ИК «концентрация окиси углерода» (δ_{co})

$$\delta_{\tilde{N} \dot{I}} = \frac{\tilde{N} \dot{e} \dot{c} i - \tilde{N} \dot{I}}{\tilde{N} \dot{I}} 100 = \frac{50 - 33,2}{33,2} 100 = 50,6\%;$$

по ИК «концентрация водорода» (δ_{i_2})

$$\delta_{\dot{I}_2} = \frac{\dot{I}_2 \dot{e} \dot{c} i - \dot{I}_2}{\dot{I}_2} 100 = \frac{40 - 27,4}{27,4} 100 = 46\%.$$

При $\Delta c_o = 0$ и $\Delta n_2 = 0$, т.е. при исключении систематических погрешностей показания выходных устройств системы составят (формулы (1), (2))

$$\tilde{I}_2 \hat{e}_{\zeta i} = 33,2 + 0,25 \cdot 27,4 = 40 \text{ ppm};$$

$$\hat{I}_2 \hat{e}_{\zeta i} = 27,4 + 0,2 \cdot 33,2 = 34 \text{ ppm},$$

а погрешности контроля, обусловленные перекрестной чувствительностью датчиков, при указанных значениях контролируемых параметров составят соответственно 20,5 % и 24,1 %.

Следует отметить, что завышения показаний датчиков вследствие перекрестной чувствительности их сенсоров могут быть весьма значительными (завышенными в несколько раз) и зависят от фактического соотношения действительных значений концентрации контролируемых параметров.

Например, при концентрациях $CO = 60 \text{ ppm}$ и $H_2 = 3 \text{ ppm}$ завышение показаний датчика H_2 составит

$$\frac{\hat{I}_2 \hat{e}_{\zeta i}}{\hat{I}_2} = \frac{\hat{I}_2 + \hat{e}_2 CO}{\hat{I}_2} = \frac{3 + 0,2 \cdot 60}{3} = \frac{3 + 12}{3} = 5,$$

т.е. при действительном значении концентрации

$H_2 = 3 \text{ ppm}$ показания датчика $H_{2изм} = 15 \text{ ppm}$ – завышены в 5 раз!

Таким образом, использование в автоматизированных системах контроля датчиков индикаторных пожарных газов с перекрестной чувствительностью приводит к завышению показаний концентрации контролируемых газов. Для установления действительных значений текущей концентрации необходим пересчет (корректировка) показаний датчиков в соответствии с приведенными выше формулами, что должно быть предусмотрено при разработке программного обеспечения системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах (ПОТ РК 0-0280-99). Караганда, 2001.
2. MONIMENT-SYSTEM CO-Monitor тип GMM 03.05, H2-Monitor тип GMM 11.05. Руководство по эксплуатации и обслуживанию, 2003.

УДК 62-83.621.313.223.2

Г.А. ЭМ

К вопросу о выборе генераторных режимов работы четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока

На современном этапе развития производства технологические режимы работы различных машин и механизмов требуют применения электропривода, позволяющего осуществлять непрерывное регулирование его выходных параметров. В общем количестве используемых в горной промышленности регулируемых электроприводов значителен удельный вес электропривода постоянного тока. Для управления электроприводом постоянного тока используются силовые управляемые преобразователи. В качестве таких устройств широко применяются полупроводниковые тиристорные преобразователи, которые характеризуются высокими технико-экономическими показателями и позволяют обеспечивать управляемые двигательный и генераторные режимы. При этом преимущественное распространение в электроприводе постоянного тока получила система «тиристорный преобразователь-двигатель» (ТП-Д). Данный тип электропривода достаточно широко применяется в горной промышленности, в частности, система ТП-Д используется в шахтных подъемных установках, экскаваторах, крановом хозяйстве и угледобывающих комбайнах.

В электроприводе шахтных подъемных машин система ТП-Д в последние годы заменила ранее использовавшуюся систему «генератор — двигатель»

и стала основным видом привода мощных подъемных установок. Как отмечается в [1], реверсивный электропривод ТП-Д обеспечивает требуемое качество управления во всех режимах работы подъемных установок независимо от их типа, исполнения и назначения. Согласно существующим нормам технологического проектирования подъемных установок для шахт и рудников, скиповые подъемные установки с мощностью привода свыше 2500 кВт, а также клетевые с мощностью привода свыше 2000 кВт следует оснащать тихоходными двигателями постоянного тока. В [1] указывается, что для этих целей следует использовать двигатели постоянного тока независимого возбуждения с шихтованными станинами, в которых не возникают вихревые токи. Указанное условие необходимо для формирования желаемых переходных процессов в цепи возбуждения, уменьшения потерь и эффективного значения якорного тока, увеличения допустимой скорости нарастания тока. Питание этих двигателей осуществляют от тиристорных преобразователей унифицированных серий. Практически привод по системе ТП-Д применяется для машин мощностью 1000-4000 кВт [1-3].

Работа подъемной установки включает разгон, равномерное движение, замедление до полной остановки и паузу, затем цикл повторяется с

изменением направления движения. В связи с этим электропривод шахтных подъемных машин должен обеспечивать режимы пуска, разгона, замедления и реверсирования. Как правило, замедление осуществляется в режиме динамического торможения либо с применением механического тормоза (в режиме «свободного выбега»). В последние годы в требования к тиристорному электроприводу постоянного тока подъемных установок включают обеспечение рекуперативного режима работы. Распространение получил привод с реверсированием по цепи обмотки возбуждения, которая в этом случае питается от двухкомплектного реверсивного тиристорного преобразователя. Подобный способ реверсирования по сравнению с реверсом по цепи якоря требует меньших затрат, однако его быстродействие значительно ниже. Но поскольку быстрое изменение момента привода подъемных машин из-за опасности механических перегрузок недопустимо, несколько большая инерционность электропривода в данном случае существенного значения не имеет. Диапазон регулирования скорости электропривода шахтных подъемных машин должен составлять 1:100 [1,2].

Широкое применение тиристорный электропривод постоянного тока получил в различных механизмах экскаваторов. В приводах механизмов экскаватора используются некомпенсированные двигатели независимого возбуждения в диапазоне мощности 10-200 кВт, а диапазон регулирования скорости составляет 1:10. Работа электроприводов основных механизмов экскаваторов характеризуется большой частотой включений, резкими изменениями нагрузки, частым реверсированием, необходимостью обеспечения управляемого тормозного режима [4,5].

В угледобывающих комбайнах система ТП-Д получила распространение в электроприводах механизмов подачи. Регулируемый привод электрического механизма подачи из-за ограничения по максимальному моменту двигателей исполнительного органа комбайна должен осуществлять стабилизацию максимального момента. Диапазон регулирования скорости обеспечивается в диапазоне 1:25. В ходе технологического процесса по добыче полезных ископаемых возникает необходимость в перемещении комбайна со скоростью, превышающей номинальную скорость подачи. В этом случае используют режим работы двигателя постоянного тока с ослаблением магнитного потока, что позволяет значительно сократить время на второстепенные операции и повысить производительность добычного комплекса. При движении комбайна вниз (при отработке угольных пластов с определенным углом падения, когда составляющая веса комбайна превышает силу сопротивления движению) выполняется электрическое торможение машины. При этом за время, необходимое для переключения системы в тормозной режим и создание требуемого тормозного усилия, скорость подачи не должна достигать недопустимого значения. Так, для комбайнов серии SL фирмы «Айкхофф» (Германия) время переключения составляет 4 сек. Мощность электропривода постоянного тока, применяемого в

механизме подачи очистного комбайна, находится в диапазоне от 2×10 до 2×60 кВт [6].

Согласно [7,8] система ТП-Д применяется для крановых механизмов при необходимости обеспечения высококачественного регулирования при мощностях привода свыше 60 кВт. В настоящее время система устанавливается на мощных мостовых кранах, перегружателях, бетоноукладчиках, высокопроизводительных башенных кранах и др. Мощность электроприводов таких крановых комплексов может достигать 400-600 кВт. Распространение получили регулируемые электроприводы на основе крановых двигателей постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением. Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов кранов, определяются необходимостью обеспечения заданных показателей регулирования при высокой степени надежности и невысоком уровне эксплуатационных издержек. Особенно жесткие требования предъявляются к электроприводам механизмов подъема, для которых важным является не только регулирование скорости от номинального до минимального значения, но и обеспечение повышенных скоростей при перемещении легких грузов. В результате электроприводы механизмов подъема должны обеспечивать двухзонное регулирование скорости в диапазоне от 1:10 до 1:30 с регулированием скорости в верхней зоне в диапазоне от 1,5:1 до 4:1. Для всех электроприводов башенных кранов регулирование должно осуществляться как в двигательном, так и в тормозном режимах работы. Как правило, электрическое торможение совмещается с одновременным наложением механического тормоза [8].

Таким образом, в приводе шахтных подъемных установок, экскаваторов, угледобывающих комбайнов и мощных крановых комплексов различного назначения востребован четырехквadrантный тиристорный электропривод постоянного тока с двухзонным регулированием. Диапазон скорости, в котором привод должен обеспечивать непрерывное управление тормозным моментом, определяется технологическими требованиями, предъявляемыми к двигательному режиму. Предельные значения тормозного момента также определяются предельными значениями момента, развиваемого электроприводом в двигательном режиме.

В процессе эксплуатации вышеуказанных машин и механизмов необходим как двигательный, так и генераторные режимы работы. Двигательный режим тиристорного электропривода постоянного тока изучен достаточно полно [9,10]. В отличие от них генераторные режимы системы ТП-Д, а также динамика ее перехода из двигательного режима в генераторный и обратно в составе регулируемого четырехквadrантного электропривода исследованы в недостаточной степени [11].

В электроприводе горных машин и механизмов, позволяющих реализовать управляемое торможение в технологических режимах, используют три возможных способа электрического торможения:

- динамическое торможение;

- торможение противовключением;
- рекуперативное торможение (с отдачей энергии в сеть).

Причем, если первые два режима широко применяются, то рекуперативный режим не столь распространен, что, очевидно, связано с недостаточной изученностью данного генераторного режима.

Между тем следует отметить, что рекуперативный генераторный режим позволяет реализовать:

- преобразование потенциальной энергии объекта управления в электрическую с последующей отдачей ее в сеть, что позволяет использовать энергию электропривода другими электропотребителями;
- плавность и непрерывность управления технологическим торможением;
- управление тормозным моментом вплоть до его максимального значения во всем диапазоне угловой скорости;
- увеличение коэффициента полезного действия электропривода.

При динамическом торможении электрическая энергия рассеивается в токоограничивающих резисторах — этот способ приводит к значительным потерям энергии. Кроме того, организация динамического торможения требует значительных затрат, связанных с дополнительными схмотехническими решениями в силовой части электропривода и системе управления как в реверсивном, так и нереверсивном приводе [9,12].

Таким образом, режим рекуперативного торможения наиболее полно соответствует энергосберегающим технологиям в четырехквadrантном тиристорном электроприводе, не требуя дополнительных изменений в силовой части. Однако в приводе, где реализована большая глубина регулирования по скорости, не представляется возможным осуществление максимального тормозного момента при малых значениях угловой скорости, поскольку внутреннее сопротивление двигателя и источника питания не позволяют обеспечить ток в цепи якоря, необходимый для развития максимального значения момента [9,13]. В то же время технологическими условиями работы рассмотренных машин и механизмов востребован реверс, осуществляемый в режиме противовключения. В связи с этим представляется целесообразным обеспечивать своевременный перевод электропривода из рекуперативного режима работы в режим противовключения при снижении угловой скорости до некоторого граничного значения.

Представленный материал позволяет сделать следующие выводы:

1. Четырехквadrантный тиристорный электропривод по системе ТП-Д с двигателем постоянного тока независимого возбуждения в настоящее время является наиболее приемлемым для регулируемого электропривода шахтных подъемных машин, механизмов экскаваторов, угледобывающих комбайнов и крановых подъемных механизмов.

2. Для реализации четырехквadrантного электропривода постоянного тока, обеспечивающего стабилизацию скорости как в двигательном, так и

генераторных режимах работы, целесообразно совместное использование генераторных режимов торможения противовключением и рекуперации энергии в сеть.

3. Для построения систем автоматического регулирования четырехквadrантного тиристорного электропривода необходимо определить граничные значения скорости, при которых следует обеспечить своевременный переход из рекуперативного режима работы в режим противовключения и обратно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрификация стационарных установок шахт: Справочное пособие / С.А. Волотковский, Д.К. Крюков, Ю.Т. Разумный и др.; Под общ.ред. Г.Г. Пивняка. М.: Недра, 1990. 399 с. : ил.
2. Католиков В.Е., Динкель А.Д., Седунин А.М. Тиристорный электропривод с реверсом возбуждения двигателя рудничного подъема. М.: Недра, 1990. 382 с. : ил.
3. Комплексные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др. М.: Энергоатомиздат, 1988. 319 с. : ил.
4. Краново-металлургические и экскаваторные двигатели постоянного тока: Справочник / Под ред. Ю.В. Алексеева. М.: Энергоатомиздат, 1985. 168 с. : ил.
5. Электропривод и электрификация открытых горных работ / Б.П. Белых, В.И. Щуцкий, Б.И. Заславец и др. М.: Недра, 1983. 269 с. : ил.
6. Тиристорный электропривод рудничных и взрывозащищенных электроустановок: Справочное пособие / Б.Л. Коринев, А.А. Дубинский, В.А. Скрышник и др.; Под ред. А.И. Пархоменко. М.: Недра, 1991. 173 с. : ил.
7. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 344 с. : ил.
8. Башенные строительные краны: Справочник / Л.А. Невзоров, Г.Н. Пазельский, Е.М. Певзнер. М.: Машиностроение, 1992. 320 с. : ил.
9. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с. : ил.
10. Шипилло В.П. Автоматизированный вентильный электропривод. М.: Энергия, 1969. 400 с.
11. Брейдо И.В., Дайч Л.И., Эм Г.А. Требования к системам стабилизации скорости в 4-квadrантных тиристорных электроприводах постоянного тока // Тезисы докладов Международ. науч.-практ. конф. «Инженерная наука на рубеже XXI века». Алматы: ИА РК, 2001. С.142.
12. Сен П. Тиристорные электроприводы постоянного тока / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985. 232 с. : ил.
13. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с. : ил.

Раздел 7

Высшая школа

УДК 378.02:372.8:004.9

Г.Т. ДАНЕНОВА

Применение программного комплекса ANSYS в решении задач сопротивления материалов

В условиях информатизации институты и учреждения высшего образования пересматривают многие традиционные системы. Стремительное развитие информационных технологий обуславливает новые перспективы инженерного образования, которые заключаются в создании современной информационной среды в системе высшего образования и науки, развитии материальной базы вузов и организационной инфраструктуры для обеспечения доступа к современным информационным ресурсам, в том числе и международным. Это и применение ЭВМ в управлении учебным процессом, в том числе на основе телекоммуникаций при дистанционном обучении, открывающем возможности интегрирования в мировую образовательную систему.

Карагандинским государственным техническим университетом (КарГТУ) постоянно приобретаются и внедряются в учебный процесс лицензионные пакеты прикладных программ. Лицензионная версия самой распространенной программы конечно-элементного анализа ANSYS установлена на ряде кафедр КарГТУ. На основе данной системы выполняется статический и динамический анализ конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности, ползучести и пластичности, линейной и нелинейной устойчивости конструкций, стационарных и нестационарных задач теплофизики с учетом фазового перехода; гидро-газодинамика, электромагнитные поля (в т.ч. высокочастотный анализ), акустика, усталость, а также связанные задачи (например, взаимодействие жидкости с конструкцией) и оптимизация.

В рамках дисциплины «Сопротивление материалов» собраны примеры решения основных статических задач на конечно-элементном комплексе ANSYS. Рассмотрены следующие разделы: центральное растяжение и сжатие прямых стержней, задачи кручения, плоский изгиб рам и балок, статический расчет ферм, сложное сопротивление и устойчивость сжатых стержней.

В данной работе решена задача выбора фермы наиболее рациональной конструкции с использованием программного комплекса ANSYS, а также проведено сопоставление полученных результатов с аналитическими данными.

Под наиболее рациональной понимается такая конструкция, при которой усилия в стержнях фермы оказываются минимальными, что позволяет уменьшить расход материала, а значит и ее собственный вес. Кроме того, необходимо принимать во внимание вопросы, связанные с технологией изготовления, транспортировки и монтажа конструкций ферм.

Статический расчет фермы заключается в определении реакций в ее опорах и нахождении усилий в ее стержнях. Для статически определимых ферм для решения данной задачи, как известно, достаточно только уравнений равновесия. Составив для каждого узла по два уравнения равновесия проекций всех сил на вертикальную и горизонтальную оси, получим замкнутую систему уравнений, решив которую, найдем усилия во всех стержнях фермы и реакции опор [1]. Кроме того, статический расчет фермы может быть выполнен с применением

программных комплексов на основе метода конечных элементов.

Рассмотрим четыре фермы, перекрывающие один и тот же пролет — 30 м, имеющие одинаковую высоту в середине пролета — 5 м, характеризующиеся одним и тем же числом панелей — 6 и находящиеся под действием одной и той же нагрузки — ко всем узлам верхнего пояса приложены направленные вертикально вниз силы величиной 10 кН, а ко всем узлам нижнего пояса — 30 кН.

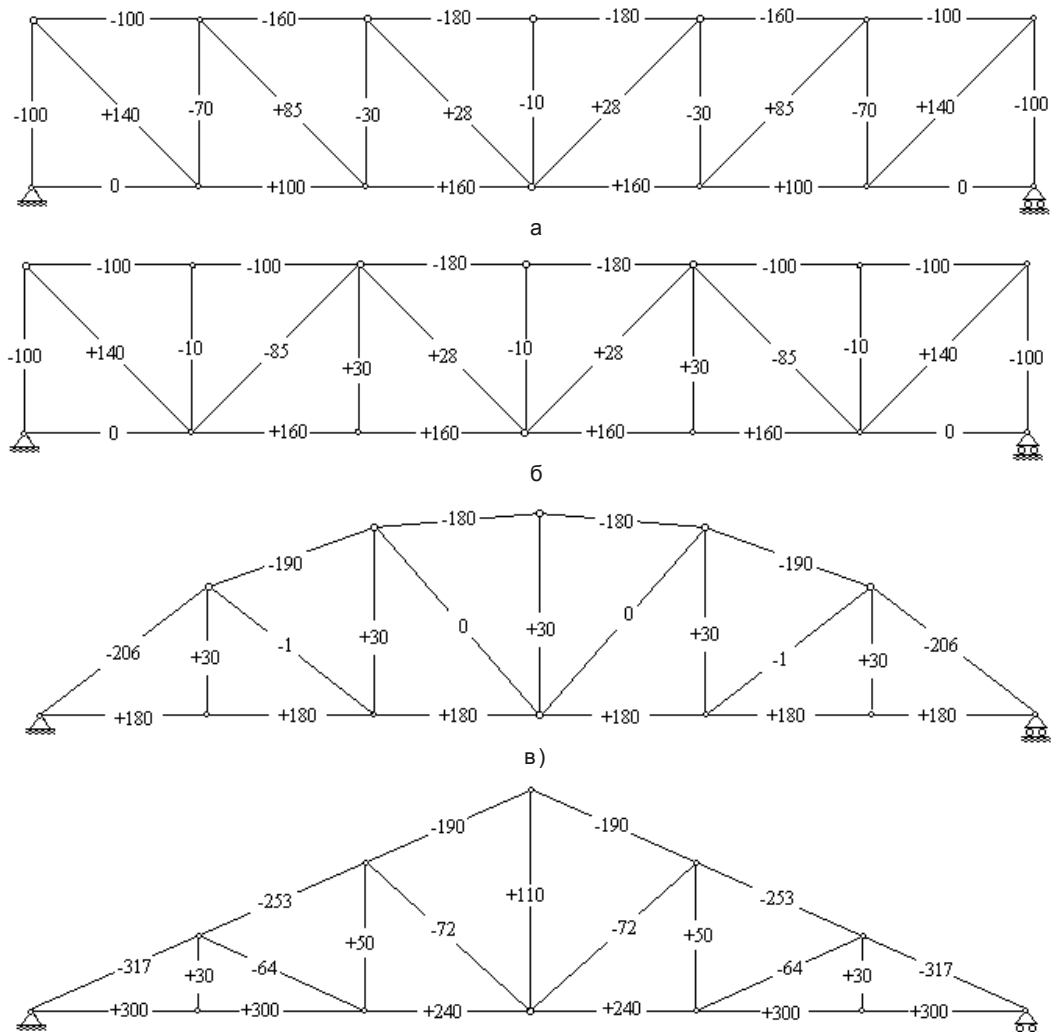
Первая ферма — с параллельными поясами и нисходящими раскосами (рис. 1а), вторая — с параллельными поясами и треугольной решеткой с дополнительными вертикальными стойками (рис. 1б), третья — с параболическим очертанием верхнего пояса и нисходящими раскосами (рис. 1в), четвертая — треугольная стропильная ферма с нисходящими раскосами (рис. 1г). На рисунке приводятся значения усилий (кН) в стержнях ферм, полученные в результате их статического расчета классическими методами сопротивления материала [1].

В данной работе рассмотрен расчет фермы с помощью ПК ANSYS на примере фермы с параллельными поясами и нисходящими раскосами (рис. 1а). Для моделирования и расчета фермы с помощью ПК ANSYS необходимы размеры конструкции, сечения и значение приложенной нагрузки.

На этапе препроцессора /PREP7 для построения модели (рис.2) необходимо задать геометрию ферменной конструкции (меню «Create»), определить свойства материала (меню «Material Props»), тип конечного элемента (меню «Element Type»), указать размеры конечного элемента (меню «Size Cntrls») и разбить конструкцию на конечные элементы (меню «Mesh»). Отметим, что подходящим конечным элементом для расчета ферм является линейный элемент типа LINK1. Минимальный набор опций для его определения задается в меню «Real constants»: площадь поперечного сечения (AREA).

Приложение нагрузок и получение решения осуществляется на этапе процессора /SOLU (меню «Apply»). Для элемента LINK1 силы F являются положительными, если их направления совпадают с положительным направлением оси Oy . Наоборот, распределенные нагрузки q считаются положительными, если их направления противоположны направлению $+y$.

В результате расчета были определены деформированное состояние фермы (рис.3) и усилия в стержнях (рис.4). Графическое построение эпюр опирается на команду PLLS постпроцессора /POST1. Также на рис. 5 приведены эпюры усилий и для остальных типов балочных ферм.



г)

Рис. 1. Балочные фермы различных типов:
 а) ферма с параллельными поясами и треугольной решеткой с дополнительными вертикальными стойками;
 б) ферма с параллельными поясами и треугольной решеткой с дополнительными вертикальными стойками;
 в) ферма с параболическим очертанием верхнего пояса и нисходящими раскосами;
 г) треугольная стропильная ферма с нисходящими раскосами

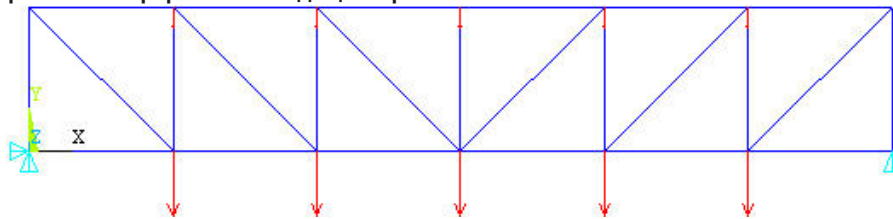


Рис. 2. Конечно-элементная модель фермы

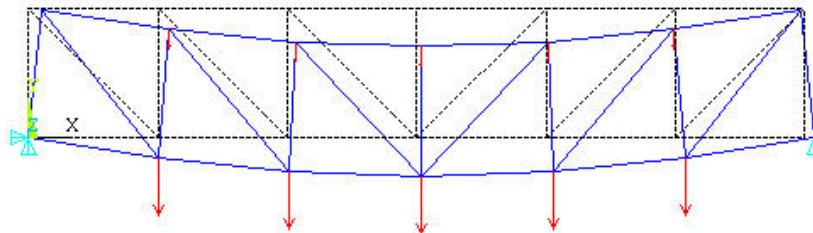


Рис. 3. Прогиб фермы

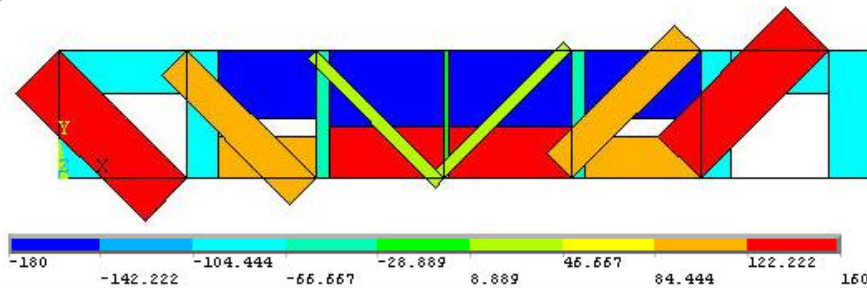
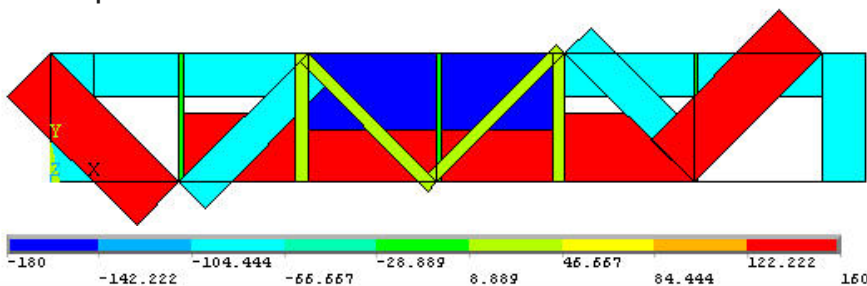
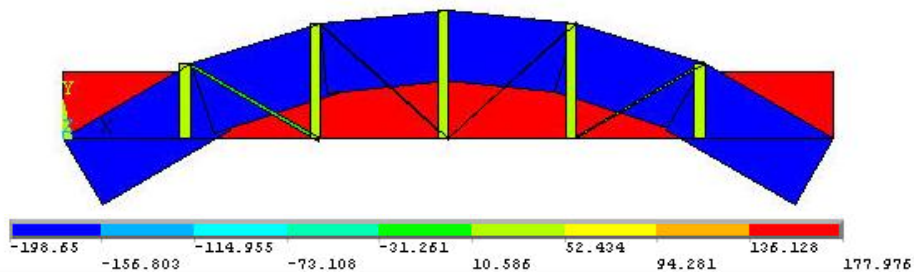


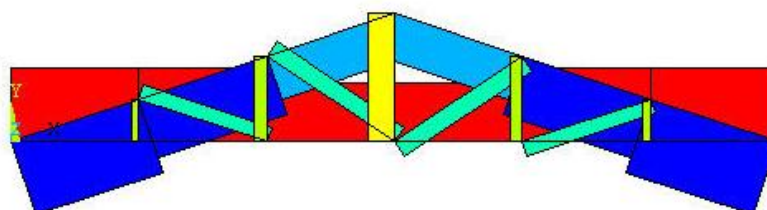
Рис. 4. Эпюра усилий в стержнях



а



б



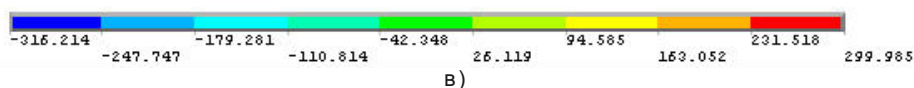


Рис. 5. Эпюра усилий в стержнях балочных ферм
 а) ферма с параллельными поясами и треугольной решеткой с дополнительными вертикальными стойками;
 в) ферма с параболическим очертанием верхнего пояса и нисходящими раскосами;
 г) треугольная стропильная ферма с нисходящими раскосами

Проведем анализ полученных результатов. Как и следовало ожидать, стержни верхнего пояса во всех четырех случаях оказались сжатыми, а нижнего — растянутыми.

В балочных фермах с параллельными поясами в стержнях верхнего и нижнего поясов усилия увеличиваются от опор к центру пролета. Поэтому если стержни верхнего и нижнего поясов выполняются постоянного по длине пролета сечения, то материал стержней поясов вблизи опор используется нерационально. Изготовление же стержней поясов фермы переменного по длине фермы сечения обычно является нерациональным из технологических соображений. Поэтому фермы с параллельными поясами не используют при очень больших пролетах и нагрузках, когда задача экономии материала и облегчения конструкции фермы приобретает особую важность.

Нисходящие раскосы в фермах с параллельными поясами работают на растяжение, восходящие — на сжатие, причем замена раскоса с нисходящего на восходящий приводит к изменению знака усилия в нем, но абсолютная величина усилия остается постоянной.

Балочные фермы с параболическим очертанием верхнего пояса лишены основного недостатка ферм с параллельными поясами. Усилия в стержнях нижнего пояса постоянны по длине пролета, а верхнего пояса — меняются незначительно. Раскосы в такой ферме вообще практически не работают. То есть ферма этого типа представляется наиболее выгодной с точки зрения напряженного состояния. В то же время технология такой фермы несколько сложнее. Поэтому фермы с параболическим очертанием верхнего пояса используют для перекрытия весьма больших пролетов и при действии достаточно высокой нагрузки.

В треугольной ферме величины усилий в стержнях заметно выше, чем в фермах других типов. Усилия в верхнем и нижнем поясах распределены крайне неравномерно по длине пролета, увеличиваясь от середины пролета к опорам. Таким образом, треугольные фермы являются наименее выгодными по сравнению с фермами других типов. Их имеет смысл использовать там, где применение ферм других типов нерационально по конструктивным соображениям, например, в качестве стропильных ферм в двускатных зданиях небольшой ширины [1].

Сравнивая полученные результаты на основе ANSYS с аналитическими, мы видим, что погрешность составляет $\approx 2\%$. Анализ результатов показал отличную сходимость. Таким образом, данный подход вполне применим и для других задач сопротивления материалов.

Самостоятельное выполнение заданий — как традиционным путем, так и с использованием ANSYS — позволяет студентам творчески осмыслить полученную информацию и закрепить приобретенные знания.

Описанная программа ANSYS активно используется в учебном процессе при выполнении лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования. В настоящее время разрабатывается многофункциональный интерфейс, который позволит пользователям, не имеющим специальные знания ПК ANSYS, решать стандартные задачи.

В Карагандинском государственном техническом университете ведется большая и плодотворная работа по обучению студентов современным компьютерным технологиям. Такой творческий подход к процессу обучения позволяет университету выпускать специалистов высокой квалификации, способных работать на современном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишман Б.А. Статика сооружений: Учебник для техникумов. М.: Стройиздат, 1989. 384 с.

УДК 624.04

Н.Т. ЖАДРАСИНОВ
А.Г. ЗАЙКИНА

Методы решения задач оптимизации строительной механики

Задачи оптимального проектирования связаны со стремлением обеспечить максимальную технико-экономическую эффективность конструкции при соблюдении условий надежности, долговечности, технологичности, а также эстетических требований [1].

Проблемой оптимального проектирования является выбор критерия оптимальности. Общим критерием служит стоимость конструкции. Но учесть

все факторы, влияющие на стоимость, представляется затруднительным, исходя из этого на практике применяются чаще всего более простые критерии. Наибольшее развитие получили задачи, в которых в качестве критерия оптимальности принят вес или объем при соблюдении условий прочности, жесткости и устойчивости.

Существуют такие задачи, в которых условие наименьшего объема удастся заменить еще более

простым (например, критерий равнопрочности для статически определимых систем или критерий наибольшей жесткости при заданном объеме).

В математическом отношении задачи оптимального проектирования являются задачами оптимизации, т.е. поиска экстремума (чаще всего условного) какой-либо (целевой) функции (минимум стоимости, объема, максимум жесткости) и значений параметров, при которых этот экстремум достигается. Если требуется отыскать конечное число оптимальных параметров, то задача относится к *математическому программированию*; если же оптимизируемыми параметрами являются функции одной или нескольких переменных, то задача называется *вариационной*.

Вариационные задачи могут быть классическими (если дополнительных условий нет или они имеют форму равенств) и *неклассическими* (с дополнительными условиями в форме неравенств).

Задачи оптимизации решаются также *теорией оптимального управления*. Непрерывный вариант этой теории относится к вариационному исчислению, дискретный — к математическому программированию. Многие задачи оптимального проектирования конструкций могут быть сформулированы в терминах теории оптимального управления, и тогда для их решения можно применять аппарат этой теории — метод *динамического программирования* (преимущественно для дискретных задач) и *принцип максимума* Л.С. Понтрягина (преимущественно для непрерывных задач).

Для одной и той же задачи оптимального проектирования часто можно выбрать различные математические модели, относящиеся к различным из указанных выше классов. Кроме того, решение многих неклассических вариационных задач ищется только методами математического программирования с помощью дискретизации. Иногда оказывается, наоборот, удобным сформулировать и решать непрерывный аналог дискретной задачи.

Методы решения задач оптимизации делятся на две большие группы. В одну из них войдут методы, основанные на использовании *необходимых условий экстремума*. Это, например, классические методы математического анализа для отыскания экстремума функции одной или нескольких переменных; методы Эйлера — Лагранжа, Ритца, Бубнова — Галеркина и др. для вариационного исчисления; принцип максимума Л.С. Понтрягина для непрерывных и дискретных задач оптимального управления [2]. Вторую группу составляют методы математического программирования: *линейное, выпуклое и динамическое программирование, методы случайного поиска* и др.

Это деление, конечно, условно. Динамическое программирование, например, дает не только процедуру перебора, но и необходимые условия экстремума. Геометрическое программирование дает такие необходимые условия, с помощью которых исходная нелинейная экстремальная задача сводится к задаче линейного программирования. Использование необходимых условий экстремума часто приводит к слишком сложной системе уравнений. По этой

причине наиболее выгодным может оказаться синтез методов первой и второй групп.

Бывает, что в ряде случаев для решения частных задач применяются отличные от вышеназванных специальные методы. Некоторые из них позволяют только улучшить конструкцию, т.е. решить задачу частичной оптимизации (например, метод заданных напряжений для расчета статически неопределимых систем). Так как в результате «полной» оптимизации, например, по критерию наименьшего объема, часто получаются слишком сложные, нетехнологичные конструкции, то указанные специальные методы могут в некоторых случаях давать практически лучшие результаты, чем «точные» математические методы оптимизации.

Задачи оптимизации можно разделить также на одномерные и многомерные.

Формулировка задачи *одномерной оптимизации* выглядит следующим образом: найти наименьшее (или наибольшее) значение целевой функции $y = f(x)$, заданной на множестве σ , и определить значение проектного параметра $x \in \sigma$, при котором целевая функция принимает экстремальное значение.

Существование решения постоянной задачи вытекает из следующей теоремы Вейерштрасса: всякая функция $f(x)$, непрерывная на отрезке $[a, b]$, принимает на этом отрезке наименьшее и наибольшее значения, т.е. на отрезке $[a, b]$ существуют такие точки x_1 и x_2 , что для любого $x \in [a, b]$ имеют место неравенства

$$f(x_1) \leq f(x) \leq f(x_2).$$

Эта теорема не доказывает единственности решения. Возможно, равные экстремальные значения достигаются сразу в нескольких точках данного отрезка (периодические функции, имеющие на отрезке несколько периодов).

Самый простой метод оптимизации, если функция дифференцируема на отрезке $[a, b]$. Функция $y = f(x)$ задана аналитически, и может быть найдено явное выражение производной. Функция достигает экстремума либо в точках отрезка « a » и « b », либо в критических точках, где производная равняется нулю. Следовательно, для нахождения функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ необходимо вычислить значение функции во всех критических точках данного отрезка и в его граничных точках, а далее сравнить полученные значения, экстремальные из них и будут искомыми значениями. В случаях, когда целевая функция задана в табличном виде или может быть вычислена при некоторых дискретных значениях аргумента, применяются различные *методы поиска*.

В инженерной практике встречаются функции, которые имеют на данном отрезке только один экстремум, такие целевые функции называются *унимодалыми функциями*.

В большинстве реальных задач оптимизации, представляющих практический интерес, целевая функция зависит от многих проектных параметров, такие задачи называются *многомерными задачами оптимизации*.

Минимум дифференциальной функции $U = f(x_1, x_2, x_3)$ — можно найти, исследуя ее значения в критических точках, которые определяются из решения системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} = 0.$$

Изложенный метод хорош для дифференцируемой целевой функции. Но и здесь могут возникнуть трудности при решении системы нелинейных уравнений.

Во многих случаях никакой формулы для целевой функции нет, имеется только возможность определения ее значений в произвольных точках рассматриваемой области при помощи некоторого вычислительного алгоритма. В таком случае задача состоит в приближенном определении наименьшего значения функции во всей области при известных ее значениях в отдельных точках.

Для решения подобной задачи в области проектирования G , в которой ищется минимум целевой функции $U = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, можно ввести дискретное множество точек (узлов) путем разбиения интервалов изменения параметров $x_1, x_2, \dots, x_n$ — с шагом $h_1, h_2, \dots, h_n$. В полученных узлах можно вычислить значения целевой функции и среди этих значений найти наименьшее.

В многомерных задачах оптимизации, где достигается большое число проектных параметров, такие методы, как метод перебора требуют слишком большого объема вычислений, поэтому не пригодны. Существуют специальные численные методы, основанные на целенаправленном поиске. Практические исследования показали, что одним из наиболее удобных методов для решения таких инженерных задач оптимизации, в которых нет явно выраженной формулы целевой функции, является метод покоординатного спуска, описанный ниже.

Пусть требуется найти наименьшее значение целевой функции $U = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. В качестве начального приближения выберем в n -мерном пространстве некоторую точку M_0 с координатами $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$. Зафиксируем все координаты функции U , кроме первой. Т.е. функция $u = f(x_1, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ — становится функцией одной переменной x_1 . Решаем одномерную задачу оптимизации для этой функции,

т.е. от точки M_0 переходим к точке $M_1(x_1^{(1)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$, в которой функция U принимает наименьшее значение по координате x_1 при фиксировании значения остальных координат. Это есть первый шаг процесса оптимизации, т.е. осуществляется спуск по первой координате x_1 .

Далее зафиксируем все координаты, кроме x_2 , и рассмотрим функцию этой переменной $U = f(x_1^{(1)}, x_2, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$. Снова решается одномерная задача оптимизации при $x_2 = x_2^{(1)}$, т.е. в точке $M_2(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$. Аналогично проводится спуск по координатам $x_3, x_4, \dots, x_n$, а затем процедура снова повторяется от x_1 до x_n и т. д.

В результате этого процесса получается последовательность точек $M_0, M_1, M_2, \dots$, в которых значения целевой функции составляют монотонно убывающую последовательность $f(M_0) \geq f(M_1) \geq \dots$, в которых значения целевой функции убывают.

На любом k -м шаге этот процесс можно прервать, и значение $f(M_k)$ принимается в качестве наименьшего значения целевой функции в рассматриваемой области.

Таким образом, метод покоординатного спуска сводит задачу о нахождении наименьшего значения функции многих переменных к многократному решению одномерных задач оптимизации по каждому проектному параметру.

Геометрическая интерпретация этого метода функции двух переменных $z = f(x_1, x_2)$ — поверхность уровня в трехмерном пространстве. Важным является вопрос о сходимости процесса оптимизации, т. е. будет ли последовательность значений целевой функции $f(M_0), f(M_1), f(M_2), \dots$, сходится к наименьшему ее значению в данной области. Это зависит от вида самой функции и выбора начального приближения.

Так, для функции двух переменных этот метод неприменим в случае наличия изломов в линиях уровня, что соответствует так называемому оврагу (ямке) на поверхности [3]. При использовании метода следует убедиться в отсутствии оврагов. Для гладких функций при удачно выбранном начальном приближении (в некоторой окрестности минимума) процесс сходится к минимуму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. М.: Мир, 1982. 298 с.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1975. 340 с.
3. Турчак Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987. 324 с.

УДК 531.1

А.К. КОЖАХМЕТОВА
У.Л. УМБЕТАЛИЕВА
Т.С. ФИЛИППОВА

Анализ и оценка самостоятельной работы студентов по теоретической механике

Важным элементом обучения современного специалиста является привитие ему навыков самостоятельной работы, творческого подхода,

умения нешаблонно мыслить и быстро перестраиваться на новое.

Формирование специалиста как творческой личности требует внедрения в учебный процесс активных методов обучения. Большое значение для привития студентам навыков самостоятельной работы приобретают содержание и методы организации практических и лабораторных занятий по изучаемым дисциплинам. Необходимо, чтобы они обеспечивали активность и самостоятельность студентов, проблемное обучение и профессиональную направленность.

В процессе практических и лабораторных занятий необходимо не только обучить студента решению типовых задач, но и добиться критической оценки решенной задачи, осуществление анализа решения, и это оказывается куда более интересным, но и более трудным, чем просто приобрести навыки решения типовых задач.

Критическая оценка дает возможность усовершенствовать любое решение задачи и позволяет глубже осмыслить ее. Критическая оценка решения подразумевает постановку ряда дополнительных вопросов к решению, закономерно возникающих при творческом подходе, что вполне естественно при использовании математических методов исследования.

Приведем ряд подобных вопросов с комментарием к ним.

Какова размерность полученного результата и не противоречит ли полученный результат здравому смыслу?

Каковы границы применения полученного результата?

Нельзя ли получить тот же результат другим путем?

Нельзя ли проверить ход решения задачи?

Что показывает анализ полученных результатов с точки зрения инженерной практики?

По размерности полученного результата можно в определенной степени судить о правильности решения задачи. Рассмотрим горизонтальное движение материальной точки массы m при силе сопротивления движению $\vec{R} = -\mu\vec{v}$ и начальной скорости v_0 . Дифференциальное уравнение движения точки приводит к следующей формуле, определяющей скорость точки $v = v_0 e^{-\mu t/m}$. Это означает, что при заданных условиях точка может двигаться бесконечно долго. Это абсурдно, и причина заключается в тех предпосылках, которые легли в основу составленного дифференциального уравнения. В действительности, закон сопротивления среды, в которой будет двигаться точка, значительно сложнее. С учетом этого нужно давать соответствующие пояснения.

Рассмотрим пример из кинематики. Даны уравнения движения точки: $x = 2t$, $y = 4t^2 - 1$. Требуется определить траекторию движения точки. Траекторией будет парабола, определяемая уравнением $y = x^2 - 1$ с вершиной в точке $(0; -1)$. Парабола симметрична относительно оси Oy , ее ветви направлены вверх. Однако не вся парабола является траекторией точки. Найдем рабочую часть параболы, т.е. ту ее часть, которая является траекторией точки.

Из уравнений движения следует, что рабочей частью параболы будет только ее правая ветвь.

Решая инженерную задачу, необходимо изучить различные методы, чтобы всякий раз выбирать наиболее экономный способ. При определении скоростей точек сложных механизмов часто мгновенный центр скоростей отдельных звеньев механизма находится вне предела чертежа. Целесообразно показать, что в этих случаях особенно удобно применять построение плана скоростей.

Обучая студентов по задачкам с готовыми ответами, необходимо подчеркивать, что при проектировании реальных объектов ответы заранее не даются, их нет. В ряде инженерных задач (например, в теории механизмов и машин) требуется проводить касательные к различным кривым. Если задать соответствующую кривую в параметрическом виде и представить ее как траекторию движения точки, то можно, найдя вектор скорости, получить точное положение касательной к кривой.

В задачах теоретической механики, теории механизмов и машин (ТММ), особенно взятых из инженерной практики, часто не столько интересно само решение задачи, сколько важен анализ полученных результатов, преломление их в практических инженерных расчетах. Например, решая задачу определения натяжения троса движущегося лифта в зависимости от кинематического характера его движения, уместно подчеркнуть, что динамическая реакция связи, в общем случае, отлична от статической реакции, а в расчетах на прочность должна учитываться именно максимально возможная динамическая реакция.

Очевидно, что, во-первых, вопросы, относящиеся к анализу и критической оценке решения задачи, ни в коей мере не ограничиваются поставленными выше вопросами. Во-вторых, в решаемых задачах нужно ставить не все вопросы. В-третьих, можно требовать от студентов освещения отдельных вопросов анализа не только во время практических и лабораторных занятий, но и на контрольных работах, при выполнении и защите курсовых заданий, курсового проекта, при сдаче зачета и экзамена. Таким образом, анализ и критическая оценка решаемых задач есть неотъемлемый элемент качественного обучения, активизирующего мыслительную деятельность и творческую работу студентов на практических и лабораторных занятиях.

Студент, получив индивидуальные задания (курсовые задания по теоретической механике, курсовой проект по ТММ) в начале семестра, должен к установленному сроку проработать соответствующий лекционный материал, разобрать приведенные на лекции примеры, решить предложенные задачи.

Задания включают задачи, способствующие приобретению исследовательских навыков, например, задачи прикладного характера с расчетами механизмов или задачи, требующие анализа полученных результатов. Для постепенного формирования у каждого студента умения самостоятельно овладевать знаниями, целесообразно подбирать курсовые задания по принципу нарастания

сложности, включая задачи, решаемые по образцу, реконструктивно-вариативные, частично-поисковые, а также задачи исследовательского характера. В реконструктивно-вариативном задании студент должен комбинировать известные ему способы и приемы решения задач, и новые методы изучаемой темы. Задания, составленные на межпредметной основе, служат для вовлечения студентов в выполнение частично-поисковых и исследовательских заданий. Задания, построенные таким образом, позволяют работать всем студентам, при этом возможна самооценка понимания изучаемой дисциплины. Вместе с тем, преподаватель имеет возможность оценить индивидуальные способности и знания студентов, оперативно видоизменять задание, учитывая его сложность и объем, т.е. целенаправленно управлять познавательной деятельностью студентов.

Курсовой проект по ТММ является первой самостоятельной инженерной работой у студентов второго-третьего курса и подготавливает их к выполнению курсовых проектов по спецдисциплинам. Курсовое проектирование имеет большое значение в развитии навыков самостоятельной творческой работы студентов, так как оно позволяет путем решения конкретных производственных задач приобщить студентов к практике, прививает им навыки научно-исследовательской работы, пользования справочной литературой, а также навыки производства расчетов и составления расчетно-пояснительных записок к проектам. При выполнении курсового проекта студенты закрепляют знания, полученные на лекциях, практических и лабораторных занятиях, и пополняют их путем самостоятельного обращения к специальной литературе, справочникам и пособиям в процессе работы над решением конкретной инженерно-технической задачи проекта. Это способствует эффективному обучению, развивает способность самостоятельного суждения, творческую деятельность и техническое воображение, являющиеся необходимыми условиями успешной учебной и научной работы будущего инженера.

Времени, отводимого настоящими учебными планами на изучение теоретической механики, ТММ, мало. Поэтому обучение студента умению оперировать основными механическими понятиями неизбежно приводит к упрощенным постановкам решаемых задач (углы считаются равными 30° , 45° , 60° ; силы считаются постоянными; дифференциальные уравнения динамики трактуются как линейные алгебраические и т.п.). Такие упрощения не оставляют места для применения ЭВМ. Наиболее целесообразный путь внедрения ЭВМ в учебный процесс по указанным дисциплинам — применять их в курсовых заданиях по теоретической механике и курсовом проектировании по ТММ. Основная цель — освободить студента от трудоемкой вычислительной работы и решать такие задачи, которые вручную решить практически невозможно. К работе студент прилагает программу и результаты счета, выведенные ЭВМ. По нашему мнению, такое выполнение курсовых заданий по теоретической механике и курсового проекта по ТММ намного предпочтительнее перед старыми традиционными

способами. Такая возможность на сегодняшний день имеется.

В свете внедряемой кредитной технологии обучения часы, отведенные на СРСП (самостоятельная работа студентов под руководством преподавателя), предлагаем проводить как учебный семинар. Цель такого семинара — расширение и закрепление материала по всем разделам дисциплины. На семинар могут быть вынесены вопросы теории, а также ее приложений, которые не вошли в курс изучаемых дисциплин. На семинаре с докладами выступают студенты, а преподаватель продумывает тематику и организует обсуждение докладов. Тогда СРСП как семинар будет одной из форм активной самостоятельной работы студента, развивающий навык самостоятельного изучения имеющихся теоретических и прикладных исследований.

При дистанционном обучении основу образовательного процесса составляет целенаправленная и контролируемая интенсивная самостоятельная работа обучающегося. Дистанционное обучение представляет собой интерактивный процесс взаимодействия субъектов и объектов обучения между собой и со средствами обучения. Преподаватель обеспечивает координирование познавательного процесса, корректировку преподаваемой дисциплины, консультирование и т.д. Дистанционная форма обучения требует от студента определенного набора знаний, умений и навыков обращения с компьютером и средствами телекоммуникаций. Процесс обучения включает в себя самостоятельное изучение электронного учебника, выполнение контрольных заданий и тестирование по электронному учебнику. Например, на кафедре теоретической механики разработан и используется в учебном процессе электронный учебник по теоретической механике, а электронный учебник по ТММ — в стадии разработки.

Оценка полученных знаний определяется экзаменом, который проводится как в традиционной форме (по экзаменационным билетам), так и в тестовой форме (на персональных компьютерах автоматизированным методом). При сдаче экзамена в традиционной форме студент наряду с ответом по теории должен решить задачу. Экзаменационный тест представляет собой задание специфической формы, позволяющее определить объем и уровень знаний студентов. Следует отметить, что в какой бы форме не определялась итоговая оценка, необходимо, чтобы каждый студент воспринял ее как справедливую, объективно оценивающую его знания.

На кафедре теоретической механики разработаны и используются в учебном процессе тестовые задания по теоретической механике и ТММ по всем формам: закрытой, открытой, на соответствие и на последовательность (на казахском и русском языках); они внесены в систему компьютерного тестирования в программе «Base». Как показывает опыт применения тестовых заданий, более надежным и пригодным по теоретической механике и ТММ является тест, включающий следующие виды тестовых заданий: закрытый, открытый и на соответствие. Тест на последовательность в силу своей специфики плохо работает при оценке полученных знаний по указанным

дисциплинам. Этой формой заданий устанавливается последовательность технологических операций, алгоритм решения той или иной задачи и т.д. Одно из основных требований к алгоритму решения задачи — это *однозначность* по трактовке, т.е. наличие только одного алгоритма. Тогда как при решении задач по теоретической механике и ТММ осуществить это практически сложно. Следует добавить, что при апробации тестовых заданий на казахском языке обнаружился недостаток в программе «Base», который заключается в том, что студент не может отвечать на вопросы тестовых заданий открытой формы (когда студент набирает ответ с клавиатуры). Программа не работает в диалоговом режиме, т.е. она не учитывает языка, на котором тестируется испытуемый. Это необходимо учесть в дальнейшей работе как авторам программы «Base», так и преподавателям, разрабатывающим тесты.

В заключение заметим, что в вопросах самостоятельной работы студентов коренным образом меняется роль преподавателя. Он должен не только передавать студентам информацию в готовом виде, но и осуществлять целевое управление их самостоятельной познавательной деятельностью.

УДК 622.272:622.06. А.С. САГИНОВ, Л.И. ШУЛЯТЬЕВА. **Интегральная оценка технико-технологического потенциала угольных шахт.**

Рассмотрены показатели интегральной оценки технико-технологического потенциала угольных шахт.

УДК 622.3.2.2.3.234.42, 622.27:3.2.2.3. Б.Т. БЕРКАЛИЕВ, М.Б. БАЙЗБАЕВ. **Исследование взаимодействия подземных техногенных пространств с массивом горных пород.** *Изложены результаты исследований взаимодействия подземных техногенных пространств с массивом горных пород. Произведены расчеты для различных соотношений модулей упругости и твердеющих материалов и боковых пород висячего борта камеры, напряженно-деформированного состояния по методу конечных элементов. Анализ полученных зависимостей показывает, что стабилизация смещений наблюдается на расстоянии 20-25 метров от потолочины.*

УДК 622.083. К.К. КУШЕКОВ, Д.В. СОН. **Анализ и синтез технологических схем вскрытия и подготовки оставленных на верхних горизонтах запасов.**

Рассмотрены вскрывающие комплексы при вскрытии и подготовке маломощных пластов, оставленных на верхних горизонтах действующих шахт. На основе методов анализа и синтеза определены оптимальные технологические схемы вскрытия и подготовки.

УДК 622.278. А.В. ЖИВАЕВА. **К вопросу о прогреве вмещающих пород при подземном сжигании угля.**

Рассматривается применение известного в теории теплопроводности решения задачи о точечном источнике тепла применительно к расчету прогрева вмещающих пород при подземном сжигании угля, с учетом угла наклона реакционной поверхности пласта.

УДК 622.817.47. А.В. САДЧИКОВ. **Определение оптимального режима каптажа газа из газодобывающих скважин угольной шахты.**

Рассматриваются вопросы оптимизации режима каптажа газа, при котором достигается максимальный дебит метана из газоотводящих скважин. Приводятся методика и расчетные формулы, по которым определяются требуемые значения разрежения на каждой скважине.

УДК 628.543.614. А.А. ЖАНБАТЫРОВ. **Мониторинг, оценка уровня и прогноз загрязнения атмосферы на территории рудника Ушкатын-III.**

Рассмотрены источники загрязнения атмосферы на территории и прилегающих площадях рудника Ушкатын, установлены конкретные виды загрязнителей с выявлением количественно-качественных показателей их влияния на экологию региона.

УДК 622.86:622.26.004.5. А.К. АКИМБЕКОВ, Т.В. ДЕМИНА, В.Ф. ДЕМИН. **Выбор оптимальных параметров работы высокопроизводительных очистных забоев с обеспечением безопасного выполнения производственных процессов.**

ЭОЖ 622.272:622.06. Э.С. САФЫНОВ, Л.И. ШУЛЯТЬЕВА. **Көмір шахталарының техника-технологиялық потенциалын интегралдық бағалау.**

Көмір шахталарының техника-технологиялық потенциалын интегралдық бағалау көрсеткіштері қарастырылған.

ЭОЖ 622.3.2.2.3.234.42, 622.27:3.2.2.3. Б.Т. БЕРКАЛИЕВ, М.Б. БАЙЗБАЕВ. **Техногенді жер асты кеңістіктерінің тау жыныстары массивімен өзара әрекеттесуін зерттеу.** *Техногенді жер асты кеңістіктерінің тау жыныстары массивімен өзара әрекеттесуін зерттеу нәтижелері баяндалған. Қатаюшы материалдардың және камераның аспалы беткейінің бүйірлік тау жыныстарының серпінділігі модульдарының, кернеулі-деформацияланған күйдің әр түрлі қатынастары үшін ақырлы элементтер әдісі бойынша есептеулер жүргізілген. Алынған тәуелділіктерді талдау төбеден 20-25 метр ара қашықтықта ығысулардың тұрақтануы байқалатынын көрсетеді.*

ЭОЖ 622.083. К.К. КУШЕКОВ, Д.В. СОН. **Жоғарғы деңгейліктерде қалдырылған қорларды ашу мен дайындаудың технологиялық сұлбаларын талдау және синтездеу.**

Қолданылып жүрген шахталардың жоғарғы деңгейліктерінде қалдырылған, аз қуатты қатпарды ашу мен дайындау кезіндегі ашу кешендері қарастырылған. Талдау мен синтездеу әдістерінің негізінде ашу мен дайындаудың оңтайлы технологиялық сұлбалары анықталған.

ЭОЖ 622.278. А.В. ЖИВАЕВА. **Көмірді жер астында жағу кезінде жанас жыныстардың қыздырылуы туралы мәселеге.**

Қаттың реакциялық бетінің көлбеу бұрышын есепке алғанда, көмірді жер астында жағу кезінде жанас жыныстардың қыздырылуын есептеуге қатысты жылудың нүктелік көзі туралы есептің жылу өткізгіш ірі теориясында белгілі шешімін қолдану қарастырылады.

ЭОЖ 622.817.47. А.В. САДЧИКОВ. **Көмір шахтасының газ өндіру ұңғымаларынан газ жиғыштың оңтайлы режимін анықтау.** *Ол кезде газ шығаратын ұңғымалардан метанның максимум өнімділігіне қол жеткізілетін, газ жиғыштың режимін оңтайландыру мәселелері қарастырылады. Әдісте емесі және олар бойынша әрбір ұңғымадағы сиретудің талап етілетін мәндері анықталатын, есептік формулалар келтіріледі.*

ЭОЖ 628.543.614. А.А. ЖАНБАТЫРОВ. **Ұшкатын-III кенішінің территориясында атмосфераның ластану деңгейін бағалау және болжау, мониторингі.**

Ұшкатын-III кенішінің территориясында және оған тиесілі аудандарда атмосфераның ластану көздері қарастырылған, олардың аймақтың экологиясына әсер етуінің саңдық-сапалық көрсеткіштерін айқындау арқылы ластанушылардың нақты түрлері анықталған.

ЭОЖ 622.86:622.26.004.5. Ә.Қ. ӘКІМБЕКОВ, Т.В. ДЕМИНА, В.Ф. ДЕМИН. **Өндірістік процестердің қауіпсіз орындалуын қамтамасыз ету арқылы жоғары өнімді тазарту забойлары жұмысының оңтайлы параметрлерін таңдау.**

Максимум үнемділікті және оларды жүргізудің

UDC 622.272:622.06. A.S. SAGINOV, L.I. SHULYATYEVA. **Integral Evaluation of Technical — and — Technological Potential of Coal Mines.**

Indices of the integral evaluation of the technical — and — technological potential of coal mines have been considered.

UDC 622.3.2.2.3.234.42, 622.27:3.2.2.3. B.T. BERKALYEV, M.B. BAIZBAYEV. **Investigation of Interaction of Underground Technogenic Spaces with Rock Mass.**

The results of investigating the interaction of underground technogenic spaces with the rock mass have been stated. The calculations for different relations of moduli of elasticity of hardening materials and side rocks of a hanging chamber side, the stressed — strained states have been done using the method of finite elements. The analysis of the obtained dependences shows that stabilizing shifts is observed at the distance of 20-25 meters from the ceiling.

UDC 622.083. K.K. KUSHEKOV, D.V. SON. **Analysis and Synthesis of Production Schemes of Opening and Developing Stocks Left in Upper Levels.**

Opening complexes have been considered in opening and developing thin layers left on the upper levels of operating mines. The optimal production schemes of opening and developing have been determined on the basis of the methods of analysis and synthesis.

UDC 622.278. A.V. ZHIVAYEVA. **To Problem of Warming — Up Enclosing Rocks in Underground Coal Burning.**

Using a solution known in the heat conduction theory concerning the problem of a point heat source to the calculation of warming — up enclosing rocks in underground coal burning taking into account the slope of a reaction layer surface is considered.

UDC 622.817.47. A.V. SADCHIKOV. **Determining Optimal Conditions of Gas Capping from Gas Producing Wells of Coal Mine.**

The problems of optimizing the conditions of gas capping, at which the maximum methane discharge from gas carrying wells is reached, are considered. The methods and calculation formulae are given according to which the required values of vacuum in each well are determined.

UDC 628.543.614. A.A. ZHANBATYROV. **Monitoring, Estimating Level and Forecasting Atmosphere Pollution on Territory of Ushkatyn-III Ore Mine.**

Sources of the atmosphere pollution on the territory of the ore mine Ushkatyn and its adjoining areas have been considered, specific types of contaminants have been stated, the qualitative and quantitative indices of their influence on the region ecology being revealed.

UDC 622.86:622.26.004.5. A.K. AKIMBEKOV, T.V. DYEMINA, V.F. DYEMIN. **Selecting Optimal Parameters of Operation of Highly Productive Breakage Face with Providing Safe Fulfilment of Production Processes.**

Optimal parameters of stoping have been

Определены оптимальные параметры очистных работ по фактору обеспечения максимальной экономичности и минимальной травмоопасности их ведения.

УДК 622.411.332(574.31). Н.Ф. ГРАЩЕНКОВ, Ж.Г. ЛЕВИЦКИЙ. **Динамика скопления метана в малых куполах подготовительных выработок.**

Рассмотрен процесс вымывания метана из куполов небольших размеров под действием свободных турбулентных струй. Получена зависимость для определения средней концентрации метана в куполах, образующихся при проведении подготовительных выработок.

УДК 621.311.22. Н.К. ЦОЙ. **Оценка влияния параметров выбросов вредных веществ на значение максимальной приземной концентрации.**

Описаны существующие источники загрязнения атмосферы взвешенными веществами, приведены результаты исследований по зависимости максимальной приземной концентрации цементной пыли от температуры отходящих газов и высоты источника выброса.

УДК 515.2+612.2. В.И. ИЛКУН, М.И. СИТКИН. **О системном подходе к проектированию деталей машин.**

Рассмотрены вопросы проектирования деталей как совокупности элементов, входящих в более крупные композиции — части деталей с учетом выбора материала и назначения.

УДК 621.746. Л.А. ДАХНО, А.З. ИСАГУЛОВ, К.И. ЖАРКЕШОВ, А.Н. КЛИМУШКИН, А.А. СМОЛЬКИН. **Качество поверхности листового металлопроката.**

Исследована природа и установлены источники образования поверхностных дефектов в конструкционной холоднокатаной листовой стали. Показано, что основным источником дефектов на поверхности листов служат плены и неметаллические включения.

УДК 621.771.014. А.Б. НАЙЗАБЕКОВ, С.Н. ЛЕЖНЕВ, К.А. НОГАЕВ, С.Ю. ГОЛУМБОВСКАЯ. **Роль конструктивных параметров кузнечных инструментов при реализации поперечного сдвига заготовок.**

Исследовано влияние конструктивных параметров инструментов на возможность реализации поперечного сдвига одних слоев заготовки относительно других в бойках, в конструкцию которых включены упругие элементы.

УДК 662.87:536.468. Т.И. ЧЕРНЫШОВА, В.И. ГОВОРОВ. **Об экспериментальной методике определения температуры самовоспламенения аэрозвесей пылеугольных топлив.**

На основе анализа методик, используемых в СНГ и дальнем зарубежье, предложен экспериментальный метод определения температуры самовоспламенения аэрозвесей пылеугольных топлив.

УДК 537.533.212. К.Р. КУРБАНОВ, В.Д. КУЛИКОВ, В.П. МАКАРОВ. **Температурная зависимость концентрации носителей заряда в щелочно-галогидных кристаллах и оксоголоенидах висмута и сурьмы при возбуждении рентгеновским излучением.** Приведены результаты исследования процессов радиационно-индуцируемой проводимости при облучении материалов рентгеновским излучением. Представлена модель механизма, основанная на Оже-переходах в валентной зоне диэлектриков и широкозонных полупроводников.

минимум жарақат қауіптілігін қамтамасыз ету факторы бойынша тазарту жұмыстарының оңтайлы параметрлері анықталған.

ӨЖ 622.411.332(574.31). Н.Ф. ГРАЩЕНКОВ, Ж.Г. ЛЕВИЦКИЙ. **Дайындау қазбаларының шағын күмбездерінде метанның жинақталу динамикасы.**

Бос турбулентті ағындардың әсер етуімен шағын өлшемді күмбездерден метанның шайылу процесі қарастырылған. Дайындау қазбаларын жүргізу кезінде түзілетін күмбездерде метанның орташа шоғырлануын анықтауға арналған тәуелділік алынған.

ӨЖ 621.311.22. Н.К. ЦОЙ. **Зиянды заттар лақтырыстары параметрлерінің жердегі максимум шоғырлану мәніне әсер етуін бағалау.**

Атмосфераның салынды заттармен ластануының бар болатын көздері сипатталған, цемент шаңының жердегі максимум шоғырлануының шығарылған газдардың температурасына және лақтырыс көзінің биіктігіне тәуелділігі бойынша зерттеулер нәтижелері келтірілген.

ӨЖ 515.2+612.2. В.И. ИЛКУН, М.И. СИТКИН. **Машиналар тетіктерін жобалауға жүйелі ыңғай туралы.**

Аса ірі композицияларға — материалды таңдауды және оның тағайындалуын есепке алғанда тетіктердің бөлікті еріне кіретін элементтердің жиынтығы ретінде тетіктерді жобалау мәселелері қарастырылған.

ӨЖ 621.746. Л.А. ДАХНО, А.З. ИСАҒҰЛОВ, К.И. ЖАРКЕШОВ, А.Н. КЛИМУШКИН, А.А. СМОЛЬКИН. **Қаңылтыр металды илемдеу бетінің сапасы.**

Конструкциялық суықтай соғылған болатта беттік ақаулардың табиғаты зерттелген және пайда болу көздері анықталған. Қаңылтырлар бетіндегі ақаулардың негізгі көзі бет ақаулары және металл емес кірмелер болатыны көрсетілген.

ӨЖ 621.771.014. А.Б. НАЙЗАБЕКОВ, С.Н. ЛЕЖНЕВ, К.А. НОГАЕВ, С.Ю. ГОЛУМБОВСКАЯ. **Дайындамалардың көлденең ығысуын іске асыру кезде ұсталық құрал-саймандардың конструкциялық параметрлерінің атқаратын ролі.**

Құрал-саймандардың конструкциялық параметрлерінің дайындаманың бір қабатының конструкциясына серпімді элементтер қосылған соққыштардағы басқа қабаттарға қатысты көлденең ығысуын іске асыру мүмкіндігіне әсер етуі зерттелген.

ӨЖ 662.87:536.468. Т.И. ЧЕРНЫШОВА, В.И. ГОВОРОВ. **Шаңды көмір отындары аэрозүзіндерінің өздігінен тұтану температурасын анықтаудың эксперименттік әдістемесі туралы.**

ТМД-да және алыс шет елдерде пайдаланылатын әдістемелерді талдау негізінде, шаңды көмір отындары аэрозүзіндерінің өздігінен тұтану температурасын анықтаудың эксперименттік әдісі ұсынылған.

ӨЖ 537.533.212. К.Р. КУРБАНОВ, В.Д. КУЛИКОВ, В.П. МАКАРОВ. **Рентгендік сәуле шығарумен қоздыру кезінде сілтілік-галогидты кристалдарда және висмут пен сурьманың оксоголоенидтерінде заряд тасушылар шоғырлануының температуралық тәуелділігі.** Материалдарды рентген сәулелерімен сәулелендірген кезде радиациялық-индукцияланатын өткізгіштік процестерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Диэлектриктер мен кең аймақты жартылай өткізгіштердің валенттік аймағындағы Оже-өтулерге негізделген, механизмнің моделі ұсынылған.

determined on the factor of providing the maximum efficiency and the minimum injury hazard of their carrying out.

UDC 622.411.332(574.31). N.F. GRASHCHENKOV, Zh.G. LEVITSKY. **Dynamics of Methane Accumulation in Small Domes of Development Workings.**

The process of methane wash-out from domes of small sizes under the action of free turbulent jets has been considered. The dependence has been obtained to determine the average methane concentration in domes forming at driving development workings.

UDC 621.311.22. N.K. TSOY. **Estimating Influence of Harmful Substances Ejection on Value of Maximum Concentration near Earth.**

The existing sources of the atmosphere pollution with suspended matters has been described, the results of investigations of the dependence of the maximum cement powder concentration near the earth on the waste gas temperature and the ejection source height have been given.

UDC 515.2+612.2 V.I. ILKUN, M.I. SITKIN. **About System Approach to Designing Machine Elements.**

The problems of designing elements as a set of elements entering larger compositions — parts of elements taking into account selecting the material and the purpose have been considered.

UDC 621.746. L.A. DAKHNO, A.Z. ISAGULOV, K.I. ZHARKESHOV, A.N. KLIMUSHKIN, A.A. SMOLKIN. **Sheet Surface Quality.**

The nature has been studied and the sources of forming surface defects in structural cold-rolled sheet steel have been stated. It has been shown that the main source of defects on the sheet surface is rolling skins and non-metallic inclusions.

UDC 621.771.014. A.B. NAYZABEKOV, S.N. LEZHNYEV, K.A. NOGAYEV, S.Yu. GOLUMBOVSKAYA. **Role of Structural Parameters of Forging Tools at Realizing Lateral Shear of Pieces.**

The influence of structural parameters of tools on the possibility to realize a lateral shear of one layers of a piece relatively to the others in heads into the design of which elastic elements were included has been investigated.

UDC 662.87:536.468. T.I. CHERNYSHOVA, V.I. GOVOROV. **About Experimental Methods of Determining Temperature of Pulverized — Coal Air — Suspension Self — Ignition.**

An experimental method of determining the temperature of pulverized coal air — suspension self-ignition has been suggested on the basis of the analysis of methods used in the CIS and foreign countries.

UDC 537.533.212. K.R. KURBANOV, V.D. KULIKOV, V.P. MAKAROV. **Temperature Dependence of Charge Carrier Concentration in Alkaline Halogen Crystals and Oxo Halides of Bismuth and Antimony at X-Ray Excitation.**

The results of investigating processes of the radiation-induced conduction at x-raying materials are given. The mechanism model is presented which is based on Auger transition in the valence band of dielectrics and wide-band semiconductors.

УДК 666.7÷621.74. А.З. ИСАГУЛОВ, В.Ю. КУЛИКОВ, С.В. ГАВРИЛОВ, Г.Б. АЛСЕНОВА. **Оптимизация режима регенерации шамотных кирпичей.**

Рассмотрены результаты проведенных исследований по оптимизации режима регенерации шамотных кирпичей. Определена формула для определения оптимального давления прессования шамотных кирпичей. Показана возможность регенерации шамотных кирпичей в условиях литейного цеха.

УДК 624.131. А.С. ЖАКУЛИН. **Методы определения параметров деформируемости грунта на компрессионном приборе.**

Рассматриваются методы определения параметров деформируемости (коэффициенты компрессии и декомпрессии, консолидации) в стандартных приборах компрессионного типа с измерением порового давления. Коэффициенты компрессии и декомпрессии необходимы при расчете напряженного состояния грунтовых оснований с применением упругопластической модели среды, а коэффициент консолидации — для определения осадок фундаментов во времени.

УДК 666.3:678.046.3. А.Н. ИМАНОВ, Э.Т. АЛДОЖАНОВА, Д.О. БАЙДЖАНОВ. **Оптимизация состава бетона для гиперпрессования стеновых материалов.**

Приведены результаты исследований структурной модификации бетона в процессе смешения компонентов смеси при высоких скоростях сдвига и последующего формирования при сверхвысоких давлениях. Установлено, что полученные по предложенной технологии стеновые материалы обладают высокими эксплуатационными свойствами.

УДК 656.13(079.5):351.811.122. А.Е. РАЗАКХОВ. **Определение значимости факторов, влияющих на безопасность дорожного движения водителей.**

Определена значимость факторов, влияющих на количество нарушений правил дорожного движения водителями. При анализе сложной многофакторной системы, которой является безопасность дорожного движения водителей, математической обработке подвергаются только значимые факторы.

УДК 612.014.45:622.243.95-752. К.Б. КЫЗЫРОВ, Г.Г. ТАТКЕЕВА. **К вопросу расчета параметров средств виброизоляции при различных кинематических возбуждениях рабочего места на подземных транспортных машинах.**

Рассмотрены наиболее часто встречающиеся случаи кинематического возбуждения кабины оператора: гармоническое, полигармоническое, стационарное случайное и импульсное. Предложен метод расчета через коэффициент передачи колебаний.

УДК 62-144.3. Георг.Г. ПИВЕНЬ. **Влияние режимов работы на долговечность дизельных двигателей.**

Приведены результаты исследования зависимости ряда показателей надежности и долговечности дизельных двигателей от условий эксплуатации, конструктивных и эксплуатационных факторов. Приведена расчетная методика определения моторесурса дизельного двигателя.

УДК 681.3:656.02. В.В. ЯВОРСКИЙ, Л.К. СУЛЕЙМЕНОВА. **Расчетные методы определения пассажиропотоков.**

Предложен расчетный метод определения

ЭОЖ 666.7÷621.74. А.З. ИСАГУЛОВ, В.Ю. КУЛИКОВ, С.В. ГАВРИЛОВ, Г.Б. АЛСЕНОВА. **Шамот кірпіштерді қайта өңдеу режимдерін оңтайландыру.**

Шамот кірпіштерді қайта өңдеу режимін оңтайландыру бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері қарастырылған. Шамот кірпіштерді баспалаудың оңтайлы қысымын анықтауға арналған формула анықталған. Құю цехі жағдайларында шамот кірпіштерін қайта өңдеу мүмкіндігі көрсетілген.

ЭОЖ 624.131. А.С. ЖАКУЛИН. **Компрессиялық аспапта грунттың деформациялылығы параметрлерін анықтау әдістері.**

Кеуектік қысымды өлшеу арқылы компрессиялық типті стандарттық аспапта деформациялық параметрлерін (компрессия, декомпрессия, консолидация коэффициенттерін) анықтау әдістері қарастырылады. Компрессия пен декомпрессия коэффициенттері — ортаның серпімді-ілімді моделін қолдану арқылы грунтты негіздердің кернеулі күйін есептеу кезінде, ал консолидация коэффициенті іргетастардың уақытта шөгін анықтау үшін қажет.

ЭОЖ 666.3:678.046.3. А.Н. ИМАНОВ, Э.Т. АЛДОЖАНОВА, Ж.О. БАЙДЖАНОВ. **Қабырғалық материалдарды гипербаспалау үшін бетонның құрамын оңтайландыру.**

Ығысудың жоғары жылдамдықтары кезінде қоспа құрамдарын араластыру және аса жоғары қысымдар кезінде кейіннен қалыптау процесінде бетонды құрылымдық түрлендіруді зерттеу нәтижелері келтірілген. Ұсынылған технология бойынша алынған қабырғалық материалдардың жоғары пайдаланушылық қасиеттері бар екендігі анықталған.

ЭОЖ 656.13(079.5):351.811.122. А.Е. РАЗАКХОВ. **Жүргізушілердің жол қозғалысы қауіпсіздігіне әсер ететін факторлардың маңыздылығын анықтау.**

Жүргізушілердің жол қозғалысы ережелерін бұзу санына әсер ететін факторлардың маңыздылығы анықталған. Жүргізушілердің жол қозғалысы қауіпсіздігі болып табылатын, көп факторлы жүйені талдау кезінде, тек маңызды факторлар ғана математикалық өңдеуге ұшырайды.

ЭОЖ 612.014.45:622.243.95-752. Қ.Б. ҚЫЗЫРОВ, Г.Г. ТАТКЕЕВА. **Жер асты тасымалдау машиналарында жұмыс орнының әртүрлі кинематикалық қозуы кезінде тірілден оқшаулау құралдарының параметрлерін есептеу мәселесіне.**

Оператор кабинасының кинематикалық қозуының жиі кездесетін жағдайлары қарастырылған: гармоникалық, полигармоникалық, тұрақты кездейсоқ және импульстік. Тербелістерді тарату коэффициенті арқылы есептеу әдісі ұсынылды.

ЭОЖ 62-144.3. Георг.Г. ПИВЕНЬ. **Жұмыс режимдерінің дизельді қозғалтқыштардың шыдам мерзіміне әсер етуі.**

Дизельді қозғалтқыштардың сенімділігі мен шыдам мерзімінің біркәтар көрсеткіштерінің пайдалану шарттарына, конструкциялық және пайдаланушы факторларына тәуелділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Дизельді қозғалтқыштың моторесурсын анықтаудың есептік әдісі емесі келтірілген.

ЭОЖ 681.3:656.02. В.В. ЯВОРСКИЙ, Л.К. СУЛЕЙМЕНОВА. **Жолаушылар ағындарын анықтаудың есептік әдістері.**

Арнайы датчиктердің көмегімен тескеруді ав-

UDC 666.7÷621.74. A.Z. ISAGULOV, V.Yu. KULIKOV, S.V. GAVRILOV, G.B. ALSENOVA. **Optimizing Regime of Regenerating Chamotte Bricks.**

The results of the carried — out investigations in optimizing the regime of regenerating chamotte bricks have been considered. The formula of determining the optimal pressure of compacting chamotte bricks has been determined. The possibility of regenerating chamotte bricks in the conditions of foundries has been shown.

UDC 624.131. A.S. ZHAKULIN. **Methods of Determining Parameters of Ground Deformability with Compression Instrument.**

The methods of determining the parameters of deformability (coefficients of compression and decompression, consolidation) in standard instruments of a compression type with measuring steam pressure are considered. The coefficients of compression and decompression are necessary to calculate the stressed state of ground foundations using an elastic — and — plastic medium model, and the coefficient of consolidation is necessary to determine the foundation precipitation in time.

UDC 666.3:678.046.3. A.N. IMANOV, E.T. ALDOZHANOVA, D.O. BAYDZHANOV. **Concrete Composition Optimization for Hypercompacting Wall Materials.**

The results of investigating the structural modification of concrete in the process of mixing the components of the mixture at a high rate of shear and the following moulding at superhigh pressures have been given. It has been stated that the wall materials obtained according to the suggested technology possess high service properties.

UDC 656.13(079.5):351.811.122. A.E. RAZAKHOV. **Determining Significance of Factors Influencing Road Safety of Drivers.**

The significance of factors influencing the number of violations of traffic rules by drivers has been determined. Only significant factors are subjected to mathematical processing in the analysis of a complex multifactor system which is the drivers' road safety.

UDC 612.014.45:622.243.95-752. K.B. KIZIROV, G.G. TATKEYEVA. **To Problem of Calculating Parameters of Vibration Isolation Means at Different Kinematic Excitations of Operating Place in Underground Transport Machines.**

The cases of kinematic excitation of an operator's cab which occur more often have been considered: harmonic, polyharmonic, stationary random and impulse. A method of calculating with the vibration gain has been suggested.

UDC 62-144.3 Georg.G. PIVEN. **Influencing Modes of Operation on Diesel Engines Life.**

The results of investigating dependences of a number of indices of reliability and durability of diesel engines on the service conditions, structural and operating factors have been given. The calculation methods of determining the diesel engine service life have been given.

UDC 681.3:656.02. V.V. YAVORSKY, L.K. SULEYMENOVA. **Calculation Methods of Determining Passenger Traffic Flow.**

The calculation method of determining the

пассажиропотоков, обеспечивающий автоматизацию обследования при помощи специальных датчиков.

УДК 658.286:621.86.001.18. Р.А. ТОРГАЕВ. **К оценкам влияния параметров транспортной системы на эффективность затрат гибкой производственной системы.**

Приведена обобщенная модель полных затрат гибкой производственной системы с учетом затрат на ее транспортную систему. На основе предположений о характере зависимости затрат на транспортную систему от ее энергопотребления предложена математическая модель оценки их эффективности.

УДК 614.841.47:004. Л.А. АВДЕЕВ, Ю.Н. БЫРКА, Д.С. ТАРАСЕНКО, В.Н. ШАТОХИН. **Определение концентрации СО и Н₂ при автоматизированном контроле признаков эндогенных пожаров.**

Рассматривается возможность повышения точности автоматизированного контроля содержания пожарных индикаторных газов (окись углерода, водород) с применением газоаналитических датчиков, сенсоры которых имеют взаимную перекрестную чувствительность к указанным газам, с целью раннего обнаружения признаков возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах.

УДК 62-83.621.313.223.2. Г.А. ЭМ. **К вопросу о выборе генераторных режимов работы четырехквadrантного тиристорного электропривода постоянного тока.**

Рассматривается использование энергосберегающих режимов работы электроприводов, позволяющих значительно снизить себестоимость добываемой продукции.

УДК 378.02:372.8:004.9 Г.Т. ДАНОНОВА. **Применение программного комплекса ANSYS в решении задач сопротивления материалов.**

Решена задача выбора фермы наиболее рациональной конструкции с использованием программного комплекса ANSYS, а также проведено сопоставление полученных результатов с аналитическими данными.

УДК 624.04. Н.Т. ЖАДРАСИНОВ, А.Г. ЗАЙКИНА. **Методы решения задач оптимизации строительной механики.**

Дана классификация задач оптимального проектирования по числу оптимальных параметров, критериям оптимизации, а также по методам решения. Рассмотрен алгоритм наиболее удобного для решения задач оптимизации метода по координатного спуска, применяемого при отсутствии явно выраженной формулы целевой функции.

УДК 531.1. А.К. КОЖАХМЕТОВА, У.Л. УМБЕТАЛИЕВА, Т.С. ФИЛИПОВА. **Анализ и оценка самостоятельной работы студентов.**

Изложены вопросы совершенствования анализа и оценки самостоятельной работы студентов при изучении теоретической механики и теории механизмов и машин.

томатизацию пассажиропотоков, обеспечивающий автоматизацию обследования при помощи специальных датчиков.

ЭОЖ 658.286:621.86.001.18. Р.А. ТОРГАЕВ. **Көлік жүйесі параметрлерінің икемді өндірістік жүйе шығындарының тиімділігіне әсер етуін бағалауға.**

Оның көлік жүйесіне жұмсалатын шығындарын есепке алумен, икемді өндірістік жүйенің толық шығындарының жинақталған моделі келтірілген. Көлік жүйесіне жұмсалатын шығындардың оның энергияны тұтынуына тәуелділігінің сипаты туралы болжамдар негізінде олардың тиімділігін бағалаудың математикалық моделі ұсынылған.

ЭОЖ 614.841.47:004. Л.А. АВДЕЕВ, Ю.Н. БЫРКА, Д.С. ТАРАСЕНКО, В.Н. ШАТОХИН. **Эндогенді өрттердің белгілерін автоматизированно бақылау кезінде СО және Н₂ шоғырлануын анықтау.**

Көмір шахталарында эндогенді өрттердің пайда болу белгілерін ерте байқау мақсатымен, олардың сенсорларының көрсетілген газдарға өзара айқастырма сезімталдығы бар, газ-аналитикалық датчиктерді қолдану арқылы өрттік индикаторлық газдардың құрамын (көміртекті оттығы, сутек) автоматтандырылған бақылаудың дәлділігін арттыру мүмкіндігі қарастырылады.

ЭОЖ 62-83.621.313.223.2. Г.А. ЭМ. **Тұрақты токтың төрт квадрантты тиристорлық электр жетегі жұмысының генераторлық режимдерін таңдау туралы мәселеге.** Өндірілетін өнімнің өзіндік құнын едәуір төмендетуге мүмкіндік беретін, электр жетектері жұмысының энергия жинақтаушы режимдерін пайдалану қарастырылады.

ЭОЖ 378.02:372.8:004.9. Г.Т. ДАНОНОВА. **Материалдар кедрегі есептерін шешуде ANSYS программалық кешенін қолдану.**

ANSYS программалық кешенін пайдалану арқылы аса ұтымды конструкциялы ферманы таңдау есебі шешілген, сондай-ақ алынған нәтижелерді аналитикалық деректермен салыстыру жүргізілген.

ЭОЖ 624.04. Н.Т. ЖАДРАСИНОВ, А.Г. ЗАЙКИНА. **Құрылыс механикасын оңтайландыру есептерін шешу әдістері.**

Оңтайлы параметрлер саны, оңтайландыру критерийлері бойынша, сондай-ақ шешу әдістері бойынша оңтайлы жобалау есептерін жіктеу берілген. Мақсатты функцияның анық көрсетілген формуласы жоқ болғанда қолданылатын, координаталар бойынша түсіру әдісін оңтайландыру есептерін шешу үшін аса ыңғайлы алгоритм қарастырылған.

ЭОЖ 531.1. А.К. КОЖАХМЕТОВА, Ұ.Л. УМБЕТАЛИЕВА, Т.С. ФИЛИПОВА. **Студенттердің дербес жұмысын талдау және бағалау.** Студенттердің теориялық механиканы және механизмдер мен машиналар теориясын зерделеуі кезіндегі дербес жұмысын талдау мен бағалауды жетілдіру мәселелері баяндалған.

passenger traffic flow providing automatization of surveying with special sensors has been suggested.

UDC 658.286:621.86.001.18. R.A. TORGAYEV. **To Estimations of Transport System Parameters Influence on Effectiveness of Expenditure of Flexible Production System.**

The generalized model of the full expenditure of a flexible production system taking into account the expenses on its transport system has been given. A mathematical model of estimating the expenditure effectiveness has been suggested on the basis of assumptions on the character of the dependence of expenditure on the transport system upon its power consumption.

UDC 614.841.47:004. L.A. AVDEYEV, Yu.N. BYRKA, D.S. TARASENKO, V.N. SHATOKHIN. **Determining CO and H₂ Concentrations at Automatized Control of Endogenic Fires Systems.**

The possibility of increasing the accuracy of automatized control of fire indication gases (carbon monoxide, hydrogen) content using gas-analyzing gauges the sensors of which have a mutual crossing sensitivity to the gases mentioned is considered with the aim of the early detection of symptoms of occurring endogenic fires in coal mines.

UDC 62-83.621.313.223.2. G.A. EM. **To Problem of Selecting Generator Regime of Operation of Four — Quadrant Thyristor D.C. Drive.**

Using power-saving regimes of drives operation permitting considerably to low the cost of products is considered.

UDC 378.02:372.8:004.9. G.T. DANENOVA. **Using Programme Complex ANSYS in Solving Problem of Strength of Materials.**

The problem of selecting a truss of a more rational design using the programme complex ANSYS has been solved, and the comparison of the results obtained with the analytical data has been carried out as well.

UDC 624.04. N.T. ZHADRASINOV, A.G. ZAIKINA. **Methods of Solving Problems of Optimizing Structural Mechanics.**

The classification of problems of optimal design according to the number of optimal parameters, criteria of optimization and methods of solving has been done. The algorithm of the method of coordinate by coordinate lowering, more suitable for solving the optimization problems and used when the obviously expressed formula of efficiency function is absent, has been considered.

UDC 531.1. A.K. KOZHAKHMETOVA, U.L. UMBETALIYEVA, T.S. FILIPPOVA. **Analysis and Estimate of Students' Independent Work.**

The problems of improving the analysis and the estimate of the students' independent work in studying theoretical mechanics and theory of mechanisms and machines have been stated.

Правила оформления и представления статей

Статья представляется в редакционно-издательский отдел в двух экземплярах. Прилагаются дискета с файлами, направление организации. Приводится аннотация на казахском, русском и английском языках, указывается индекс УДК. Объем статьи не должен превышать 8 страниц машинописного текста. Текст статьи печатается через два интервала (между строками 6 мм) на одной стороне листа форматом 210x297 мм; **поля со всех сторон по 2 см**; страницы нумеруются. На дискете текст необходимо набирать в редакторе Word 97 либо Word 2000 (не ниже) **шрифтом Times New Roman, размер шрифта (кегель) — 14.**

Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в тексте.

Рекомендуется компьютерная графика. Рисунки могут иметь расширения, совместимые с Word 97, Word 2000, т.е. CDR, JPG, PCD, TIF, BMP.

Для рисунков должен применяться шрифт Arial. Размер шрифта (кегель) 14. Рисунки должны быть хорошего качества.

Для таблиц рекомендуется шрифт Times New Roman, размер шрифта (кегель) 14.

Формулы должны быть набраны в формуляторе MathType или Equation.

В статье не должно быть сложных и громоздких формул и уравнений, особенно формульных таблиц, а также промежуточных математических выкладок. Все сокращения и условные обозначения в формулах следует расшифровать, размерности физических величин давать в системе СИ, названия иностранных фирм, их продуктов и приборов – в транскрипции первоисточника с указанием страны.

Список литературы (только органически связанной со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. В тексте ссылки на литературу отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно [1, 2]. В конце статьи следует указывать название организации, где выполнена работа, контактный телефон, факс и адрес электронной почты. Статья должна быть подписана всеми авторами с указанием ученой степени, служебного и домашнего адресов и телефонов.

Публикация неверно оформленных статей задерживается.

Статья должна носить авторский характер, т.е. принадлежать лично автору или группе авторов, причем количество последних не должно быть более пяти. В одном номере журнала может быть напечатано не более одной статьи одного автора. В исключительных случаях, по решению редакционного совета, может быть опубликовано две статьи одного автора.

Предпочтение отдается статьям, имеющим исследовательский характер и содержащим элементы научной новизны. Рекомендуется аналитические результаты научных исследований подтверждать данными, полученными экспериментальным путем или методами имитационного моделирования.

Статья должна иметь законченный характер, то есть в ней рекомендуется отобразить кратко историю рассматриваемого вопроса, поставить задачу, определить методику ее решения, привести результаты решения задачи, сделать выводы и заключение, привести список литературы. Не допускается использование в статьях фрагментов текста, рисунков или графиков из работ других авторов (или из Internet) без ссылки на них.



90 лет

МЭТРУ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ
И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
Абылкасу

Сагиновичу

Сагинову

ПОЗДРАВЛЯЕМ!

ПОЧЕТНОГО ГРАЖДАНИНА ГОРОДА КАРАГАНДЫ, ГЕРОЯ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА, АКАДЕМИКА НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН, ЛАУРЕАТА ГОСУДАРСТВЕННЫХ
ПРЕМИЙ КАЗАХСКОЙ ССР, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК,
ПРОФЕССОРА

АБЫЛКАСА САГИНОВИЧА САГИНОВА

С ЮБИЛЕЕМ

ЖЕЛАЕМ ВАМ МНОГИХ ЛЕТ ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ
НА БЛАГО РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН!

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА
2005. №4. 78 с.

№ 1351-ж тіркеу куәлігін 2000 жылдың 4 шілдесінде Қазақстан Республикасының Мәдениет, ақпарат және қоғамдық келісім министрлігі берген

Регистрационное свидетельство № 1351-ж от 04.07.2000 года выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Әдеби редакторлар — Литературные редакторы

Т.В. Рустемова, Р.С. Исакова, Б.А. Асылбекова

Аудармашылар — Переводчики

А.С. Қордабаева, Л.В. Евдокимова

Компьютерлік ажарлау және беттеу — Компьютерный дизайн и верстка

М.М. Утебаев

Басуға қол қойылды	29.11.2005	Подписано в печать
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	12,2	Объем, п.л.
Таралымы	500	Тираж
Тапсырыс	3225	Заказ
Индексі	75857	Индекс
Келісімді баға		Цена договорная

Редакцияның мекен-жайы — Адрес редакции

100027, г. Караганда, бульвар Мира, 56. Издательство КарГТУ, тел. 56-20-62

