

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(сопредседатель)
ТРУБЕЦКОЙ К.Н.
(сопредседатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КУЛАГИН В.П.
МАХОВИКОВ Б.С.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В.
ДАНИЛИНА И.С.

Телефоны редакции:

(499) 269-53-97, 269-55-10

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru

<http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДСТАВЛЯЕМ КАФЕДРУ

Трифанов Г.Д. Кафедра "Горные и нефтепромысловые машины" Пермского национального исследовательского политехнического университета 2

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Трифанов Г.Д., Князев А.А., Трифанов М.Г., Стрелков М.А. Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных регистратором параметров 6
Николаев А.В., Алыменко Н.И. Применение системы кондиционирования воздуха с учетом тепловых депрессий, действующих между стволами 12
Воробель С.В., Трифанов Г.Д. Влияние диаграммы скорости на динамические нагрузки в системе "подъемный сосуд-жесткая армировка" и деформацию рамы подъемного сосуда 16
Трифанов Г.Д. Наладка тормозной системы шахтных подъемных установок с помощью аппаратуры "Силькан" 20

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Седунин А.М., Чалов И.А., Сидельников Л.Г. Классификация высоковольтных вводов силовых трансформаторов и проблемы их эксплуатации на предприятиях горной промышленности 24

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Толкачев Г.М., Козлов А.С. Технологии и опыт строительства скважин для решения задач комплексного освоения калийных и нефтяных месторождений 29

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Валиев Н.Г., Лагунова Ю.А., Симисинов Д.И., Гарифов В.С. Совершенствование конструкции и обеспечение технологичности и ремонтпригодности камнерезной машины 33
Островский В.Г., Пещеренко С.Н., Каплан А.Л. Методика моделирования гидроабразивного износа ступеней нефтяных насосов 38

НАУЧНЫЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Муравский А.К. Определение эффективности работы зубьев ковша активного действия 43

ИНФОРМАЦИЯ

Поздравляем юбиляра! 47

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 378

Г.Д. Трифанов, канд. техн. наук, доц., зав. каф., ПНИПУ, г. Пермь

E-mail: kanat@vetlan.ru

Кафедра "Горные и нефтепромысловые машины" Пермского национального исследовательского политехнического университета

Приведены история развития и результаты деятельности сотрудников кафедры "Горные и нефтепромысловые машины" по подготовке горных инженеров-механиков и научной работе.

Ключевые слова: кафедра, горный инженер-механик, стационарные установки, канаты, повышение эффективности и безопасности эксплуатации.

G.D. Trifanov

Mining and Oil-Field Machines Department State National Research Polytechnic University of Perm

The development history and employers work results of Mining and Oil-Field Machines department in preparation of the mining mechanical engineers and scientific work.

Keywords: department, mining mechanical engineer, fixed plants, rope, increasing efficiency and operational safety.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ) – один из ведущих технических вузов России. Его длинная славная история начинается с 1953 г., когда был образован Пермский горный институт. Сегодня ПНИПУ обеспечивает подготовку студентов по большому спектру направлений, основными из которых являются нефтяная и горная промышленность, машиностроение, строительство, средства связи и телекоммуникации и др. Среди выпускников вуза – ученые, руководители крупных промышленных предприятий, политики.

Одним из четырех приоритетных направлений развития ПНИПУ в рамках национального исследовательского университета является: добыча и переработка нефти, газа и полезных ископаемых. Основным полигоном развития научного направления является горно-нефтяной факультет университета. На факультете сложился высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав, состоящий в основном из выпускников нашего университета. В настоящее время около 70 % работающих на кафедрах

преподавателей имеют ученые степени и звания; в их числе более 20 докторов наук, профессоров.

Кафедра "Горные и нефтепромысловые машины" является одной из старейших профилирующих кафедр. Она была организована в Молотовском (Пермском) горном институте в 1958 г. Тогда это была кафедра "Горная электро-механика" (ГЭМ). В этом же году кафедра осуществила первый выпуск горных инженеров-электромехаников. Заведующим кафедрой был избран кандидат технических наук, доцент Георгий Викторович Верстаков – специалист в области шахтного подъема, ученик академика А.П. Германа.

В 1960 г. после окончания строительства главного корпуса Пермского политехнического института кафедра получила новые площади и возможности по расширению лабораторной базы для учебной и научно-исследовательской работы. Созданы учебные лаборатории горной механики электроснабжения горных предприятий. Смонтированы современные действующие установки: автоматизированная подъемная машина 2БМ 2000/1030 поршневой компрессор 2ВП

10/8, вентиляторные, водоотливные, холодильная и др. Приобретена уникальная разрывная машина с разрывным усилием до 250 тс ($\approx 2,5$ МН). Она позволяла проводить испытания шахтных подъемных канатов практически любого диаметра.

На кафедре сложился творческий коллектив, способный решать сложные проблемы фундаментальной и прикладной науки. В этом же году в целях развития научно-исследовательских работ в области шахтных стационарных установок совместным Распоряжением-приказом заместителя председателя Совета народного хозяйства Пермского экономического района и заместителя министра высшего и среднего специального образования РСФСР организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория шахтных стационарных установок. После расформирования Совнархозов отраслевая лаборатория перешла в структуру Министерства угольной промышленности СССР. Одним из основных направлений деятельности кафедры было повышение эффективности и безопасности эксплуатации шахтных подъемных установок и подъемных канатов Кизеловского угольного бассейна. По результатам этих исследований заведующий кафедрой Г.В. Верстаков в 1966 г. защитил в Ленинградском горном институте докторскую диссертацию "Исследование вертикального подъема с двухслойной навивкой канатов на барабан". На кафедре была открыта аспирантура.

Другим направлением научной деятельности кафедры становятся исследования в области создания современных систем торможения шахтных подъемных машин. Научно-исследовательские работы проводились по координационным планам Минуглепрома СССР совместно с ВНИИГМ им. М.М. Федорова. Лаборатория участвовала в разработке системы управления регулируемым предохранительным торможением для подъемных машин с дисковыми тормозами.

В этот период кафедра одной из первых в вузе была оснащена современной вычислительной техникой и аппаратурой для осциллографирования, тензометрирования, вибродиагностики, использование которой в научных исследованиях позволило значительно сократить время на обработку многочисленных экспериментальных данных, расширить применение математического аппарата, математического и физического моделирования.

В 1969–1973 гг. профессор Г.В. Верстаков совместно с доцентами А.Г. Степановым и А.Д. Динкелем выпустил учебное пособие "Руд-

ничные подъемные установки" в трех частях общим объемом более 30 печатных листов. В 1975 г. в издательстве "Недра" вышло в свет учебное пособие для вузов "Шахтные стационарные установки", написанное Г.В. Верстаковым совместно с профессором С.С. Смородиным (Ленинградский горный институт). Вторая часть этого пособия "Шахтные подъемные установки" до настоящего времени является методической основой изучения теории шахтного подъема.

Результаты исследования шахтных подъемных канатов неоднократно докладывались на научных семинарах-симпозиумах по проблемам прочности и долговечности стальных канатов, регулярно проводимых в Одессе. Следствием тесного сотрудничества кафедры с Одесским политехническим институтом стало приглашение в 1974 г. профессора Г.В. Верстакова в Одессу. Заведующим кафедрой ГЭМ был назначен Анатолий Григорьевич Степанов, который в 1975 г. защитил докторскую диссертацию на тему "Теоретические основы предохранительного торможения шахтных подъемных установок".

Под руководством профессора А.Г. Степанова на кафедре продолжились работы по разработке тормозных систем шахтных подъемных машин, обеспечивающих снижение динамических нагрузок в шахтных подъемных канатах, исключаящих набегание подъемного сосуда на канат при предохранительном торможении.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, проводимых на кафедре под руководством профессора А.Г. Степанова, разработаны промышленные образцы новых машин, устройств, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования. В их числе:

разработка технического задания на создание подъемных машин с дисковым тормозом и регулируемым предохранительным торможением;

создание тормозных устройств и систем регулируемого предохранительного торможения наклонных подъемных установок;

внедрение регулятора хода шахтных подъемных машин.

Разработанные отраслевой лабораторией системы управления тормозами малых подъемных машин были внедрены на шахтах Донецкого, Печерского и Кузбасского угольных бассейнов. Эти системы позволяют устранить явление набегания подъемного сосуда на канат при торможении подъемных машин, установленных на наклонных стволах с малыми и переменными по длине трассы углами наклона.

Теоретические основы динамических процессов в шахтных подъемных и других установках и машинах изложены в монографиях А.Г. Степанова "Динамика шахтных подъемных установок" и "Динамика машин", изданных Уральским отделением Российской академии наук соответственно в 1994 и 1999 гг.

Другим важным научным направлением кафедры является разработка и модернизация оборудования для добычи калийных руд. Основоположником этого направления является доцент Леонид Иванович Старков, под руководством которого разработан ряд буровых станков для калийных рудников. В 1975 г. им в соавторстве со своим учителем академиком О.Д. Алимовым и И.Д. Мухиным в издательстве "Недра" опубликована монография "Механизация буровых работ в калийных рудниках". В начале 1990-х гг. доцентом Л.И. Старковым разработан принципиально новый комбайн для добычи калийной руды. Ему удалось изготовить опытный образец комбайна "Урал-Ротор" с исполнительным органом бурового типа и провести его испытания на калийном руднике. Испытания показали, что параметры комбайна "Урал-Ротор" выше, чем у серийно-выпускаемых тогда комбайнов. Комбайн получил отличные отзывы производственников, однако в силу ряда обстоятельств в серийное производство он не пошел. В 2007 г. Л.И. Старков в соавторстве с А.Н. Земсковым и П.И. Кондрашовым издал книгу "Развитие механизированной разработки калийных руд", в которой приведена история развития механизации добычи калийных руд, даны подробные технические характеристики горного оборудования. Готовится к изданию учебное пособие "Машины и оборудование для механизации горных работ в калийных рудниках".

В 2001 г. после выхода на пенсию второй заведующий кафедрой ГЭМ профессор А.Г. Степанов уехал в США, где продолжает решать теоретические задачи в области динамики машин. В 2010–2011 гг. им опубликовано в журнале "Горное оборудование и электромеханика" четыре статьи. Информация о своем пребывании в Америке и краткие сведения о себе А.Г. Степанов разместил на сайте mysite.verizon.net/vze126xep/.

В апреле 2001 г. заведующим кафедрой "Горная электромеханика" назначен автор настоящей статьи. Первым шагом нового заведующего кафедрой было получение лицензии на подготовку инженеров по специальности "Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов". Это связано с тем, что в 1990-е гг. были закрыты все шахты Кизеловского угольного бассейна, и

потребность в горных инженерах-механиках уменьшилась. В то же время в регионе росла добыча нефти и газа и предприятия нуждались в специалистах, обеспечивающих обслуживание нефтепромыслового оборудования. В этот период многие машиностроительные предприятия Перми стали выпускать нефтепромысловое оборудование. Они также нуждались в квалифицированных кадрах.

После получения лицензии на право подготовки инженеров-механиков для нефтяных промыслов кафедра была переименована. Новое название кафедры "Горные и нефтепромысловые машины" полностью отражает ее деятельность по подготовке горных инженеров по специальности "Горные машины и оборудование" и инженеров по специальности "Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов".

Сотрудники кафедры в современных непростых условиях продолжают оказывать консультационные услуги промышленным предприятиям, вести научные разработки в области промышленной безопасности. В основу взаимовыгодного сотрудничества с предприятиями положены разработки сотрудников кафедры в предыдущие годы. Так, по результатам исследований стальных канатов сотрудниками кафедры разработаны Инструкции по эксплуатации грузовых канатов с металлическим сердечником в условиях Верхнекамских калийных рудников и на рудниках ОАО Донской ГОК, Руководство по эксплуатации стальных канатов на экскаваторах, Руководство потребителям стальных талевых канатов и потребителям стальных канатов для шахтных стволов. Сотрудники кафедры принимали участие в разработке нормативных документов Ростехнадзора:

методических указаний по проведению экспертизы промышленной безопасности шахтных копровых шкивов (РД-15-03-2006), ленточных конвейерных установок (РД-15-04-2006) и сосудов шахтных подъемных установок (РД-15-05-2006);

методических указаний о порядке проведения испытаний стальных канатов на канатно-испытательных станциях (РД-15-12-2007).

Продолжая традиции, заложенные профессором Г.В. Верстаковым, сотрудники кафедры постоянно участвуют в работе международных научно-технических конференций по проблемам производства и эксплуатации стальных канатов, ежегодно проводимых Международной ассоциацией исследователей стальных канатов (МАИСК) в Одессе. В 2011 г. автор повторно избран президентом МАИСК.

С приходом на кафедру кандидата технических наук Александра Александровича Князева, имеющего большой опыт разработки микропроцессорных систем измерения и контроля технологических процессов, на кафедре были начаты разработки измерительных приборов и приборов безопасности для горно-шахтного оборудования. А.А. Князевым были впервые в России разработаны компьютерные системы мониторинга шахтных подъемных установок "Ветлан", успешно внедренные на подъемных установках рудников России, Казахстана и Белоруссии. После выхода новой редакции Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03–553–03) все шахтные подъемные установки должны быть оснащены устройствами для регистрации основных параметров режимов работы подъемной машины. Для выполнения этого требования был разработан типоряд регистраторов параметров РПУ-03.х, обеспечивающий выполнение требований п. 352 ПБ 03-553-03 и ст. 1 п. 3–6 Федерального закона РФ "Об обеспечении единства измерений" № 102-ФЗ.

Под руководством А.А. Князева и при его непосредственном участии изготовлено, смонтировано на шахтных подъемных установках и пущено в эксплуатацию более 190 регистраторов параметров, повышающих эффективность эксплуатации подъемных установок за счет оперативного выявления неисправностей и сокращения времени на техническое обслуживание и ремонт. Для успешного применения обслуживающим персоналом полученной с регистраторов информации разработано учебное пособие "Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок", позволяющее разобраться в записях и правильно их расшифровать. Пособие разослано большинству предприятий, эксплуатирующих шахтные подъемные установки. Электронная версия учебного пособия выложена на сайте www.vetlan.ru.

Одновременно со стационарными системами контроля в практику эксплуатации шахтных подъемных установок внедрены переносные приборы, предназначенные для контроля, диагностики и наладки тормозных систем, снятия тахограмм движения подъемных сосудов, наладки и анализа состояния систем управления приводом шахтных подъемных установок. Это системы измерительные (СИ) "Силькан", впервые в практике применения таких приборов сертифицированные как средство измерения. В настоящее время СИ "Силькан" используются при ре-

визии и наладке шахтных подъемных установок в России, Белоруссии, Казахстане и Украине.

В соответствии с п. 47 ПБ 03-553-03 эксплуатация стационарных рудничных установок осуществляется в соответствии с утвержденным в установленном порядке и обязательным к исполнению технологическим регламентом. Накопленный сотрудниками кафедры опыт исследований режимов работы стационарных рудничных установок, их ревизии и наладки позволил разработать для ряда горных предприятий "Технологические регламенты эксплуатации шахтных подъемных установок и стволов, эксплуатации вентиляторов главного проветривания". Эти регламенты учитывают особенности организации технического обслуживания и ремонта, устанавливают сферу ответственности руководящего и технического персонала при эксплуатации оборудования. Основным разработчиком технологических регламентов является научный сотрудник кафедры Анатолий Петрович Кошкин. Кроме технологических регламентов А.П. Кошкиным изданы: учебный справочник "Цвета сигнальные и знаки безопасности", учебные пособия "Поверочный расчет тормоза шахтной подъемной машины" и "Канаты для подъемных установок".

Результаты выполняемых для производства работ широко используются в учебном процессе при выполнении дипломных работ, в учебно-исследовательской работе студентов. Студенческие доклады на научных конференциях вузов Москвы и Санкт-Петербурга неоднократно получали призовые места, награждались грантами на обучение в аспирантуре. Особенно в этом отличились студенты под руководством доцента Н.В. Чекмасова.

В настоящее время на кафедре "Горные и нефтепромысловые машины" работают два доктора технических наук, пять кандидатов технических наук, доцентов, два старших преподавателя. В научной части трудятся четыре научных сотрудника, из них трое совмещают научную работу с преподавательской. Два инженера-исследователя работают на кафедре после окончания университета.

С 1958 г. на кафедре подготовлено более 1800 горных инженеров-механиков и 80 инженеров-механиков для нефтяной отрасли.

Уровень теоретической и практической подготовки дает гарантию выпускникам получить творческую и высокооплачиваемую работу не только на горно-добывающих предприятиях, но и практически в любой отрасли промышленности, науке и бизнесе.

УДК 622.67

Г.Д. Трифанов, канд. техн. наук, доц., зав. каф., **А.А. Князев**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **М.Г. Трифанов**, мл. науч. сотр., ПНИПУ, **М.А. Стрелков**, канд. техн. наук, инженер-программист, ООО "Региональный канатный центр", г. Пермь

E-mail: kanat@pstu.ru

Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных регистратором параметров

Приведено описание регистраторов параметров и их основных функций. Рассмотрен пример расшифровки записей. Обобщен опыт эксплуатации шахтных подъемных установок с регистраторами.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, регистраторы параметров, опыт эксплуатации, безопасность, эффективность.

G.D. Trifanov, A.A. Knyazev, M.G. Trifanov, M.A. Strelkov

The Field Experience of the Mine Hoisting Plants, Equipped with Parameters Recorder

The description of the parameters recorders and its functions is given. The records interpretation example is considered. The field experience of the mine hoisting plants with recorders is generalized.

Keywords: mine hoisting plant, parameters recorder, field experience, safety, efficiency.

Важнейшим звеном разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом является шахтная подъемная установка (ШПУ), осуществляющая подъем горной массы, перемещение других грузов и людей. Опыт эксплуатации этих установок, анализ произошедших на них производственных инцидентов и аварий показывают, что установленные на подъемных установках пишущие скоростемеры не всегда позволяют определить причину возникновения аварии и предпринять меры для исключения их повторения. Для решения этих задач необходимы непрерывный контроль и регистрация основных параметров работы подъемных установок. В связи с этим правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом ПБ 03-553-03 [1] требуют оснащения действующих ШПУ устройствами для регистрации основных параметров режимов работы подъемной машины.

Для обеспечения выполнения требований правил безопасности сотрудниками кафедры "Горные и нефтепромысловые машины" и ООО "Региональный канатный центр" (ООО РКЦ) разработан и внедрен в практику эксплуатации ряд устройств для регистрации основных параметров режимов работы подъемной машины РПУ-03.x. Наименование "РПУ-03.x" является общим для типового ряда регистраторов параметров РПУ-03.1, РПУ-03.3, РПУ-03.5, отличаю-

щихся набором выполняемых функций и исполнением рабочей станции.

РПУ-03.x обеспечивают регистрацию всех циклов и контроль всех режимов работы подъемной установки, определение причин возникновения аварийных ситуаций, контроль выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, определение и регистрацию положения, скорости и направления движения подъемных сосудов, контроль состояния тормозной системы подъемной машины. Дополнительная обработка информации с этих устройств позволяет давать объективную оценку технического состояния элементов ШПУ.

Измерительная часть РПУ-03.x выполнена на базе многоканального программируемого промышленного контроллера с комплектом измерительных модулей аналого-цифрового ввода и гальванической развязки. Количество и тип комплекта измерительных модулей аналого-цифрового ввода и гальванической развязки определяются перечнем параметров для контролируемой подъемной установки.

Обмен данными между контроллером и рабочей станцией РПУ-03.x осуществляется по промышленной сети ModBus RTU RS-485 (РПУ-03.1, РПУ-03.3), по промышленной сети ProfiBus DP PC или Ethernet/IP (РПУ-03.5).

В качестве рабочей станции РПУ-03.1 и РПУ-03.3 выступает компактный панельный компьютер с сенсорным экраном, установленный в металлический корпус. Общий вид экрана работы программы в основном режиме РПУ-03.3 представлен на рис. 1.

На экране отображаются положение сосуда в стволе шахты и в увеличенном масштабе подходы к горизонтам. В верхней области экрана располагается строка с расшифровкой причины сработавшего предохранительного тормоза (ТП) или сообщение о зарядке машины. Ниже располагается область аналоговых сигналов, в которой отображаются их значения в виде стрелочных или цифровых приборов. Под стрелочными приборами выводятся текущая скорость подъемных сосудов на заполняемой линейке и соответствующее цифровое значение. Программа регистратора определяет и выводит на экран последнее количество поданных сигналов. На экране содержится информация о наложении ТП за последние сутки с указанием расшифровки причины наложения, времени срабатывания тормоза и зарядки машины. Справа располагается перечень регистрируемых дискретных сигналов, которые дублируют некоторые из индикаторов на пульте управления подъемной машиной.

В программе РПУ-03.3 имеется возможность переключиться из основного экрана в режим просмотра графиков регистрируемых сигналов.

Регистратор параметров работы РПУ-03.5 среди семейства РПУ-03.x является наиболее функциональным устройством, построенным на основе открытых промышленных стандартов с возможностью передачи регистрируемых данных и статистической информации в сеть предприятия. Рабочая станция РПУ-03.5 — это мощный персональный компьютер в промышленном исполнении. Экран монитора РПУ-03.5 при работе подъемной машины в автоматическом и ручном режимах имеет вид, представленный на рис. 2.

На экране отображается информация о работе подъемного двигателя, которая содержит текущие значения силы тока в контролируемых цепях электропривода подъемной машины, скорости движения подъемных сосудов, точные координаты положения подъемных сосудов и направление их движения. Представлены параметры работы тормозной системы: ток регулятора давления, давление рабочего тормоза, давление в полостях цилиндров предохранительного торможения и давление на выходе регуля-

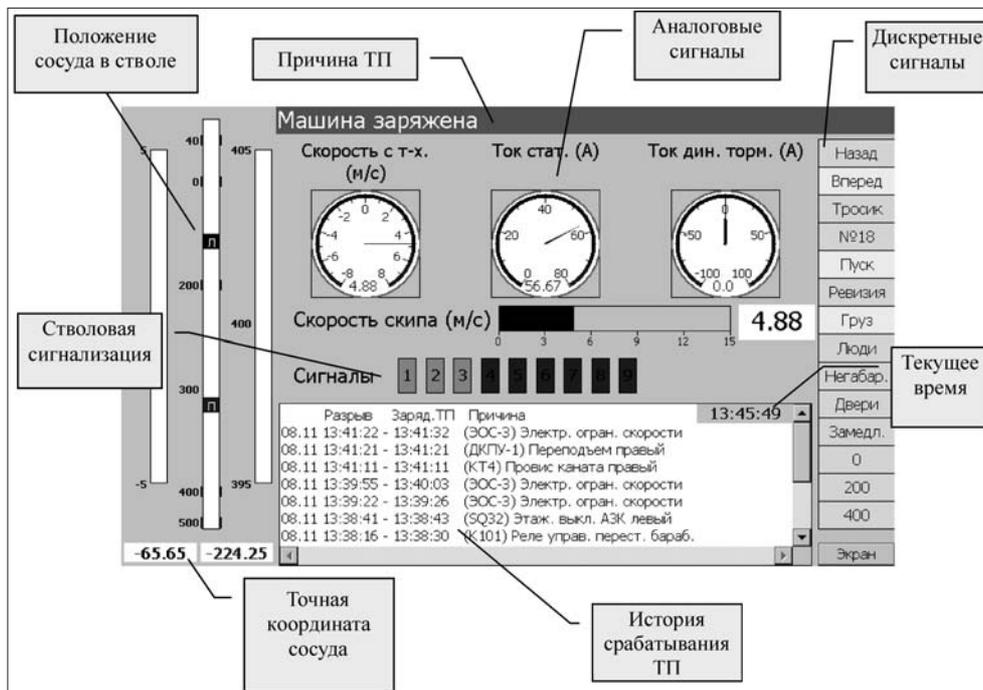


Рис. 1. Типичный вид экрана панельного компьютера РПУ-03.3

ра давления. Фиксируется время последнего заполнения и опорожнения верхнего и нижнего бункеров, включения и выключения питателя, что позволяет вести журнал простоев с указанием причины остановки подъема.

В левой части экрана общего вида отображаются положение сосудов в стволе и состояние датчиков прихода на отметки разгрузки. При подходе скипа к зонам загрузки и разгрузки его положение отображается в виде стрелки на дополнительной шкале в увеличенном масштабе (на рис. 2 не показано). Шкала строится относительно точной отметки и показывает приближение скипа к ней, что помогает машинисту подъемной установки остановить подъемный сосуд точно на горизонте.

Программа РПУ-03.5 выполняет подсчет количества выданной горной массы по графику, установленному на руднике, продолжительности подъема, время паузы между подъемными циклами и производительности подъемной установки.

При помощи кнопок в нижней части экрана осуществляются переключение между функциональными экранами и вызов программ просмотра статистических и графических архивов. Одним из таких экранов является экран просмотра значений аналоговых сигналов в виде графиков. На другом функциональном экране изображена мнемосхема подъемной установки с выводом текущих значений температур в контролируемых точках. Температуры измеряются на обмотках двигателя, в подшипниках, в водяной охлаждающей системе. Контроль температур позволяет реализовать функции защиты подъемного двигателя и подшипников от перегрева и связанной с ним поломки.

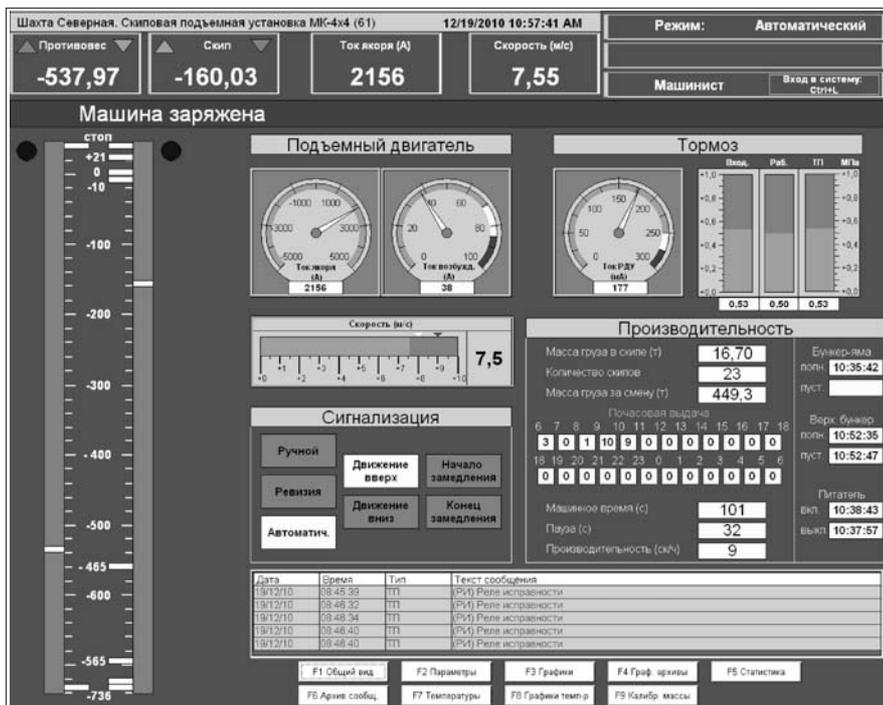


Рис. 2. Экран монитора РПУ-03.5 при работе подъемной установки в ручном и автоматическом режимах

Программное обеспечение РПУ-03.5 позволяет осуществить просмотр как текущей, так и сохраненной (архивной) информации. Архивные данные разделены на два типа: статистическая информация о работе подъемной установки и графическая. Для удобного просмотра каждого типа архивных данных служат специализированные программы, имеющие возможность передавать информацию в виде отчетов в Microsoft Word и Excel для ее последующей обработки и представления. При просмотре архивов текущий контроль параметров работы подъемной установки не прекращается.

Для детального просмотра конкретных параметров работы подъемной установки можно вывести на экран монитора любой подъемный цикл, записанный в течение последних 30 дней (рис. 3). Диапазоном просмотра графической информации в рабочем окне программы может выступать подъемный цикл, выбранный из статистической базы данных, или произвольный временной промежуток.

Программа просмотра графических архивов позволяет отображать и скрывать графические сигналы в рабочем окне, масштабировать графики по оси ординат и временной оси, осуществлять навигацию при помощи визиров для получения точных значений регистрируемых параметров, изменять положение графиков по вертикали. Наряду со стандартными возможностями, предоставляемыми подобными программами просмотра информации в виде графиков, программа регистратора РПУ-03.x позволяет также изменять начало отсчета по координате времени, устанавливать метки для автоматического измерения временных промежутков между технологическими

операциями, устанавливать маркеры значений параметров в точке и подписывать графики, отображать при необходимости координатную сетку. Функция совмещения графиков из двух рабочих окон в одно поле полезна для сравнительного анализа параметров работы подъемной машины при выполнении различных подъемных циклов. Эти дополнительные функции помогают представить графическую информацию в наиболее удобном виде и существенно повышают уровень ее восприятия, позволяя создавать требуемые отчеты за короткое время.

Предусмотрена возможность экспорта архивных значений сигналов в виде таблиц в файл текстового формата, что позволяет проводить обработку значений параметров в мощных математических пакетах, использовать их в качестве исходных данных для расчета математических моделей [2] или для верификации новых моделей.

Математическая обработка измеряемых параметров непрерывно осуществляется программным обеспечением регистратора РПУ-03.5 в режиме реального времени. Расчетным путем определяются такие характеристики установки, напрямую не измеряемые, как крутящий момент, развиваемый подъемным двигателем, масса полезного груза, статическое усилие на валу от разности натяжений подъемных канатов. Авторами разработаны методы и компьютерные программы непрерывного расчета этих и некоторых других динамических характеристик по данным, регистрируемых РПУ-03.5 [3]. Эти методы основаны на следующих положениях.

В установках с приводом постоянного тока усилие, развиваемое подъемным двигателем, принимается пропорциональным произведению тока якоря I_a на ток возбуждения I_b двигателя

$$F_{дв}(x) = k_I I_a(x) I_b(x), \quad (1)$$

где k_I – коэффициент пропорциональности; x – положение сосуда в шахтном стволе.

На участке равномерного движения подъемных сосудов это усилие совпадает со статической нагрузкой $F_{ст}(x)$, образуемой разностью натяжений канатов. Статическое усилие является линейной функцией относительно положения сосуда в стволе. Поэтому, построив по данным регистратора параметров функцию $I_a I_b$ и приняв ее линейной на участке равномерного движения подъемных сосудов, находим коэффициент пропорциональности

$$k_I = \frac{-2pg}{a},$$

где p – масса 1 м подъемного каната; a – тангенс угла наклона построенной прямой.

Продолжая линейный участок найденной функции $F_{дв}(x)$ на периоды разгона и торможения машины, получаем величину статической нагрузки $F_{ст}(x)$.

На основе величины статического усилия, найденной по данным регистратора параметров, определяются масса полезного груза, силы сопротивления движению и разница масс подъемных сосудов. При перегоне порожних скипов в начале их движения имеем систему с двумя неизвестными

$$\begin{cases} g(m_{п} - m_{л} + pH) + W_0 = F_{ст.п}(0); \\ g(m_{л} - m_{п} + pH) + W_0 = F_{ст.л}(0), \end{cases} \quad (2)$$

где $m_{п}$ – масса порожнего правого скипа; $m_{л}$ – масса порожнего левого скипа; H – высота подъема; $F_{ст.п}(0)$, $F_{ст.л}(0)$ – статические усилия в начале движения подъемной машины при подъеме порожних правого и левого скипов соответственно.

Из системы (2) определяется разница масс порожних скипов m_p :

$$m_p = m_{п} - m_{л}$$

и сила сопротивления движению порожних скипов W_0 .

Значения этих двух параметров используются для нахождения массы полезного груза из соотношения

$$F_{ст}(0) = g(m_{п} + m_r - m_{л} + pH) + W_{сопр}, \quad (3)$$

где m_r – масса поднимаемого груза.

Сила сопротивления движению скипов $W_{сопр}$ учитывается как линейная функция от веса полезного груза

$$W_{сопр} = W_0 + k_c m_r g,$$

где k_c – коэффициент сопротивления движению сосудов; W_0 – сила сопротивления движению порожних скипов.

Для определения коэффициента сопротивления необходимо выполнить подъем груженого сосуда с заранее известной массой поднимаемого груза.

Одним из важнейших динамических параметров является ускорение системы. Регистраторы параметров измеряют окружную скорость барабана подъемной машины, соединенного упругим канатом с подъемным сосудом. При расчете нагрузок от натяжений канатов, испытываемых обечайкой органа навивки и коренным валом подъемной машины, на неглубоких стволах в рабочих режимах работы упругими свойствами каната можно пренебречь. Результаты экспериментальной проверки этого предположения заключаются в том, что график ускорения точки на ободе барабана практически совпадает с ускорением сосудов,

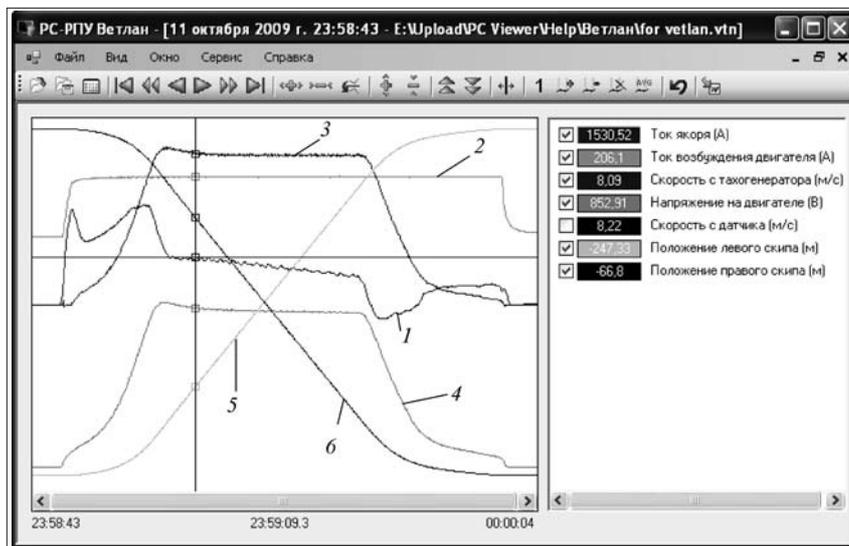


Рис. 3. Окно программы просмотра архивов регистратора параметров:

1 – ток якоря; 2 – ток возбуждения двигателя; 3 – скорость с тахогенератора; 4 – напряжение на двигателе; 5, 6 – положение соответственно левого и правого скипов

измеренным при помощи датчиков акселерометров. Опыт эксплуатации ШПУ с регистратором параметров показывает, что и другие параметры, полученные расчетным путем, также соответствуют фактическим.

Таким образом, в рабочих режимах эксплуатации подъемной установки по первично регистрируемым данным РПУ-03.x определяются крутящий момент, ускорение подъемных сосудов и масса поднимаемого груза. Указанные характеристики используются для нахождения нагрузок в элементах подъемной установки в режиме реального времени и уточнения оценки остаточного ресурса ее элементов по известному спектру нагружений.

Оценка остаточного ресурса элемента подъемной машины выполняется по критерию усталостной прочности максимально нагруженного сечения. Максимально нагруженное сечение определяется с учетом статических и динамических нагрузок.

Одним из важнейших нагруженных элементов, неподдающихся ремонту, является коренной вал подъемной машины. Коренной вал воспринимает нагрузки от веса элементов сборки коренной части подъемной машины, усилий со стороны подъемных канатов и привода подъемной машины. При оценке долговечности этого элемента учитываются как изгибающие напряжения, возникающие от собственного веса конструкции и натяжений ветвей каната, так и касательные напряжения, появляющиеся при передаче крутящего момента от подъемного двигателя. Эквивалентные напряжения определяются согласно четвертой теории прочности, по гипотезе энергии формоизменения.

Работа подъемной установки осуществляется с разными скоростью и ускорением, массой поднимаемого груза, что приводит к различным нагрузкам в ее элементах при выполнении циклов подъема. Нагрузки и точки их приложения изменяются и в течение

одного подъемного цикла, что связано с навивкой подъемного каната на барабан и уменьшением концевой массы грузовой ветви. Нерегулярный характер нагружения коренного вала подъемной машины учитывается по скорректированной линейной гипотезе суммирования усталостных напряжений [4]. В качестве амплитуды напряжений выступает максимальное напряжение за один оборот вала. Основная информация о фактических нагрузках в наиболее опасном сечении и прогнозируемом ресурсе коренного вала и обечайки барабанов подъемной машины выводится на панель машиниста установки (рис. 4).

Непрерывный автоматизированный контроль нагрузок и остаточного ресурса элементов ШПУ повышает эффективность и безопасность эксплуатации установки. Информация о нагрузках и отработанном ресурсе может служить при проведении экспертизы промышленной безопасности для оценки остаточного ресурса ШПУ с истекшим сроком службы и при осуществлении наладочных работ, регламентируемых ПБ 03-553-03.

После ввода в действие Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ПБ 03-553-03) в 2003 г. ООО РКЦ изготовлено и установлено на действующих и вновь вводимых в эксплуатацию ШПУ более 190 устройств для регистрации основных параметров режимов работы подъемной машины РПУ-03.х.

РПУ 03.х имеет разрешение на применение Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Разрешение № РРС 00-25230) и сертифицирован как тип средств измерений Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (сертификат RU.C.34.004.A № 27774).

РПУ-03.х также обеспечивает выполнение пункта 363а ПБ 03-553-03, т.е. является скоростемером.

Авторами накоплен большой опыт по проведению анализа различных нештатных ситуаций на подъемных установках, оснащенных регистраторами параметров.

В качестве примера рассмотрим расшифровку записей регистратора параметров при расследовании производственного инцидента на одной из ШПУ. На действующей одноконцевой наклонной клетевой подъемной установке произошло срабатывание парашюта вследствие отказа системы динамического торможения. Данные регистратора параметров в течение периода этой аварийной ситуации приведены на рис. 5. В качестве временной шкалы используется вертикальная сетка с шагом 2 с. Отсчет времени ведется от первой сплошной вертикальной линии – с момента выключения второй ступени динамического торможения. При движении клетки вниз на отметке –946 м при выключении второй ступени динамического торможения произошло резкое уменьшение тока динамического торможения с 452 до 247 А, скорость движения клетки начала увеличиваться с 5,4 м/с. Выключение третьей, четвертой и пятой ступеней не привели к увеличению тока динамического торможения. Наоборот, ток продолжал снижаться, скорость



Рис. 4. Экран просмотра нагрузок и ресурса элементов подъемной установки

при этом возрастала. Через 4 с после начала уменьшения тока динамического торможения машинист установки начал экстренно тормозить машину рабочим тормозом.

На рис. 5 видно, что цепь предохранительного тормоза разорвалась только через 1,3 с после начала торможения ручным тормозом. В этот момент сработало реле ТП, сигнал которого изменил свое значение на графике с 0 на 1. Таким образом, торможение машины происходило ручным тормозом. Поэтому замедление машины составило $4,55 \text{ м/с}^2$, в то время как замедление при срабатывании ТП наклонной подъемной установки настроено на $1,9 \text{ м/с}^2$. В результате резкого торможения машины произошло сильное натяжение подъемного каната и после стопорения машины пустую клеть подбросило вверх. Ослабление подъемного каната вызвало срабатывание парашюта.

Расшифровка записей регистратора параметров при возникновении аварийных ситуаций или производственных инцидентов позволяет восстановить цепь произошедших событий и найти причины возникновения нештатных ситуаций. В целях распространения накопленного опыта разработано учебное пособие "Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок" [5]. Пособие используется при эксплуатации ШПУ.

Информация о работе подъемной установки используется специалистами и обслуживающим персоналом горно-добывающих предприятий для контроля и оперативного выявления отклонений в работе оборудования. Статистическая информация о работе подъемной установки помогает определять производительность установки во времени и составлять отчеты о технологических простоях.

Опыт эксплуатации ШПУ с регистратором параметров показал, что не только молодые "неопытные" работники, но даже машинисты с большим стажем работы начинают лучше ориентироваться в физике процессов, происходящих при управлении машиной, а следовательно, и управлять ею.

Помимо этого регулярное использование инженерно-техническими работниками и руководством предприятий информацией, накопленной регистраторами параметров, позволяет четко контролировать действия машинистов подъемных установок, а также персонала, обеспечивающего обслуживание оборудования на поверхности и в шахтном стволе. Архивы регистратора параметров позволяют контролировать, в первую очередь, своевременность, объем и полноту обслуживания, предписанную регламентом работ, установить, все ли необходимые проверки исправности защит и блокировок выполнены. Создается возможность объективной и надежной проверки исправности защит и блокировок при передаче смены, а также правильности действий обслуживающего персонала при ежедневном осмотре канатов, подъемных сосудов, крепи и армировки шахтного ствола. Таким образом, возможность документирования всех операций по управлению подъемной машиной повышает производственную дисциплину. Автоматический контроль температур обмоток подъемного двигателя и подшипников защищает их от перегрева. Определение нагрузок и ресурса элементов шахтного подъема позволяет заблаговременно выявить ненадежный элемент или принять меры по снижению нагрузок. Своевременное принятие мер по устранению неисправностей и предотвращению аварийных ситуаций позволяет повысить безопасность и надежность эксплуатации ШПУ.

За продолжительное время эксплуатации регистраторов параметров на различных ШПУ накоплен большой объем данных. Такая эмпирическая база, несомненно, представляет научный интерес. Известные положения теории шахтного подъема основываются на типичных или проектных характеристиках шахтного оборудования. Проверка положений осуществлялась проведением эксперимента в специальных условиях. Регистраторы параметров обеспечивают исследователя экспериментальными данными на весь период эксплуатации подъемной установки. Обобщение этих данных может привести к установлению новых зависимостей. Перспективной научной задачей представляется уточнение оценки сил сопротивления движению подъемных сосудов, определение КПД и эффективности различных шахтных подъемных установок. Вместе с тем в связи с устареванием горного оборудования актуальными являются вопросы определения нагрузок в различных элементах установок, расширение и уточнение методики оценки их остаточного ресурса. Вычислительные возможности регистратора параметров следует использовать для первичной обработки данных и решения новых научных задач.

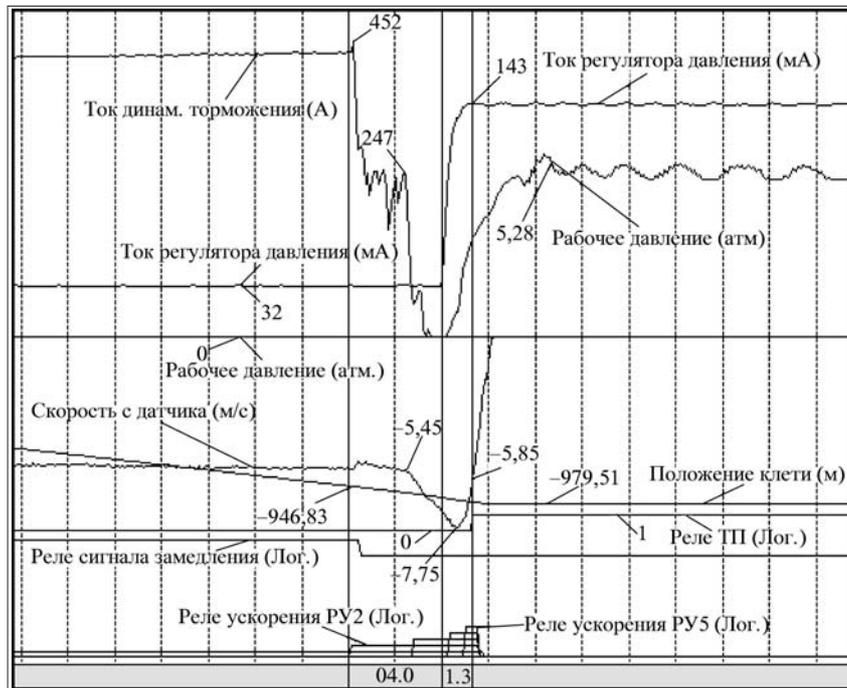


Рис. 5. Данные регистратора параметров при аварийной ситуации на клетевой подъемной установке

Опыт эксплуатации ШПУ, оснащенных регистратором параметров, показал, что наличие информации с регистратора позволяет контролировать действия обслуживающего персонала, определять причины возникновения аварийных ситуаций и производственных инцидентов и принимать меры, исключающие возможность их повторения. В условиях применения подъемных установок с истекшим сроком службы информация регистратора параметров служит основой для более точной и объективной оценки остаточного ресурса установок. Таким образом, регистраторы параметров обеспечивают существенное повышение безопасности эксплуатации ШПУ.

Список литературы

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03). Сер. 03. Вып. 33. М.: ФГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности", 2005. 200 с.
2. Стрелков М.А. Оценка состояния шахтных подъемных установок по данным системы постоянного контроля параметров // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 2. С. 34–38.
3. Стрелков М.А. Определение характеристик шахтных подъемных установок по данным регистратора параметров // Научные исследования и инновации. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. Т. 4. № 1. С. 100–104.
4. Стрелков М.А., Кузнецов В.С. Применение регистраторов параметров для оценки остаточного ресурса шахтных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отд. вып. № 16: Горная механика и транспорт. М.: Горная книга, 2009. С. 332–338.
5. Трифанов Г.Д. Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. 154 с.

А.В. Николаев, асс., асп., ПНИПУ, **Н.И. Алыменко**, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., Горный институт УрО РАН, г. Пермь

E-mail: nikolaev0811@mail.ru, nik.alymenko@yandex.ru

Применение системы кондиционирования воздуха с учетом тепловых депрессий, действующих между стволами

Рассмотрена работа системы кондиционирования воздуха с учетом действия тепловых депрессий, действующих между стволами, и общерудничной естественной тяги.

Ключевые слова: рудник, система кондиционирования воздуха, естественная тяга, тепловая депрессия, воздухоподающий и вентиляционный стволы.

A.V. Nikolaev, N.I. Alymenko

Application of the System Air-Conditioning are Consider of Natural Draught Operating between the Mine Shafts

The articles deals with working the system air-conditioning are consider of general mine and natural draught operating between the mine shafts.

Keywords: mine, system air-conditioning, natural draught, thermal depression, downcast ventilating and air mine shafts.

Применение системы кондиционирования воздуха (СКВ) на рудниках ограничено ввиду значительных затрат электроэнергии на работу подобных систем. Согласно расчетам [1] на работу СКВ, установка которой планируется на руднике Усольского калийного комбината (УКК) (г. Березники, Пермский край), для подачи 294 м³/с наружного воздуха (при температуре +21,5 °С [2]) требуется затратить 1,687 МВт·ч электроэнергии.

Однако отсутствие СКВ на рудниках приводит к следующим негативным последствиям. В неглубоких рудниках (порядка 500 м и менее), а это все рудники Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС), в теплое время года происходит конденсация влаги на стенках горного массива. В результате образующиеся растворы солей – электролиты – выводят из строя электрооборудование, так как увеличивается его износ, затрудняют работу техники, разрушают покрытие дорог, ведут к затоплению выработок, уменьшают несущую способность целиков. Выпадая на резиновые полотна ленточных конвейеров, влага, играя роль смазки, вызывает пробуксовку лент на приводных барабанах.

Поэтому на калийных рудниках (не глубоких), несмотря на большие затраты электроэнергии, применение СКВ – одно из основных требований в комплексе мероприятий по улучшению условий работы рудника.

Помимо преодоления негативных факторов, связанных с выпадением влаги, применение СКВ на руднике будет способствовать снижению отрицательной

(увеличению положительной) естественной тяги (тепловой депрессии), которая возникает вследствие разности плотностей (удельного веса) воздуха в стволах.

В исследованиях [3] было установлено, что при работе поверхностной СКВ на руднике УКК прогнозируемая общерудничная естественная тяга между его стволами сменит направление с отрицательного (препятствующего проветривания) на положительное. В результате выяснилось, что, регулируя режим работы главной вентиляторной установки (ГВУ), затраты на проветривание можно снизить на 229,54 кВт·ч.

В зависимости от проекта СКВ могут быть установлены на поверхности совместно с калориферной установкой (КУ) (рис. 1, а), либо в околоствольных дворах воздухоподающих стволов (см. рис. 1, б). В обоих вариантах СКВ должна обеспечивать охлаждение и осушение воздуха до заданных параметров.

Если в СКВ воздух будет подготавливаться до требуемых параметров, возможно применение комбинированных схем размещения (см. рис. 1, в и г).

Задача настоящего исследования – установить, какой из вариантов размещения СКВ, приведенных на рис. 1, оказывает наибольшее действие на увеличение положительной (снижение отрицательной) общерудничной естественной тяги при обеспечении требуемых параметров воздуха на выходе из СКВ.

Для определения влияния работы СКВ на величину общерудничной естественной тяги (влияющей на работу ГВУ) следует учитывать как минимум два фактора:

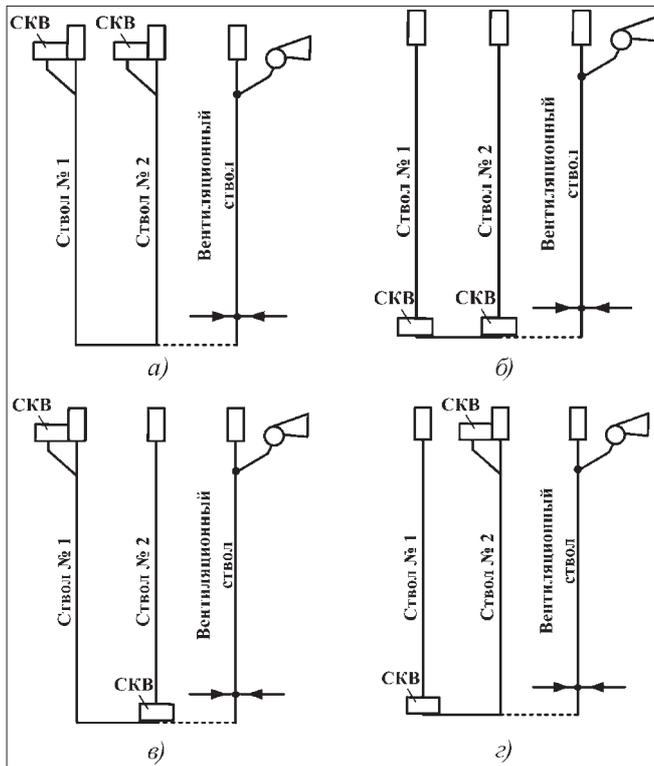


Рис. 1. Различные варианты расположения СКВ

1. Тепловые депрессии h_{ei} действуют между каждым из стволов. Приняв количество воздухоподающих стволов равное двум (рис. 2), имеем: h_{e1} – тепловая депрессия между воздухоподающими стволами; h_{e2} – между вторым воздухоподающим и вентиляционным стволами; h_{e3} – между первым воздухоподающим и вентиляционным стволами. При этом согласно [4] величина общерудничной естественной тяги h_e найдется как алгебраическая сумма данных тепловых депрессий, возникающих между стволами

$$h_e = \text{sign}(h_{e1}) + \text{sign}(h_{e2}) + \text{sign}(h_{e3}),$$

где sign – знак, определяющий направление тепловой депрессии.

2. Устья стволов на подавляющем большинстве рудников находятся на разных высотных отметках. Ввиду того, что тепловые депрессии зависят от полной высоты столбов воздуха, это обстоятельство существенно влияет на их величину и, следовательно, на величину общерудничной естественной тяги.

В расчетах для исключения влияния значений аэродинамических сопротивлений стволов на корректность результатов условно было принято, что все стволы являются клетевыми, по которым в рудник подается $Q_{\text{ш}} = 300 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха при помощи вентилятора ГВУ ВРЦД-4,5 ($n = 500 \text{ мин}^{-1}$) (взяты произвольно). Коэффициент поверхностных утечек принимался равным стандартным при проектировании систем вентиляции рудников 25 % (0,25 о.е.).

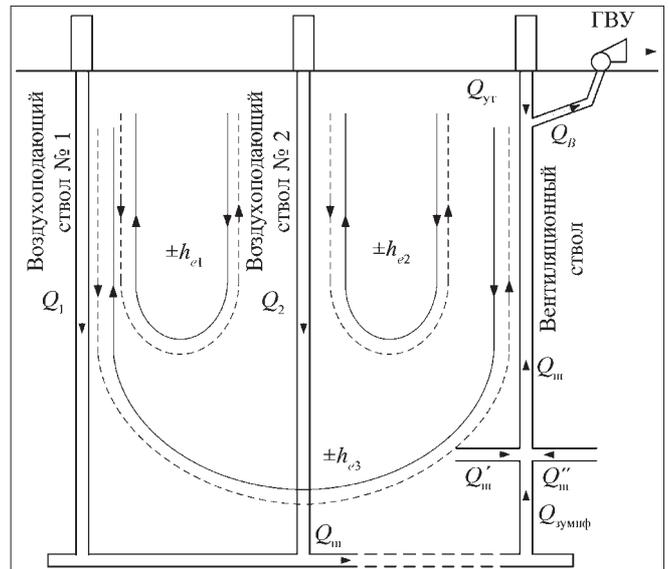


Рис. 2. Упрощенная схема проветривания рудника с двумя воздухоподающими стволами (всасывающий способ проветривания)

Высота стволов H_i принималась равной 400 м, а разность высотных отметок для каждого варианта – $\Delta H = 20 \text{ м}$ (рис. 3).

Изменение параметров воздуха при движении его по воздухоподающему стволу в случае применения СКВ и при ее отсутствии определялось по $I-d$ диаграмме согласно алгоритма [5], а районом расположения рудника был выбран район ВКМКС.

Расчетные параметры атмосферного воздуха для данного региона в теплый период года согласно [2] следующие: атмосферное давление $P_a = 742,7 \text{ мм рт. ст.}$, средняя месячная относительная влажность воздуха $\varphi = 69,5 \%$ и средняя месячная температура воздуха обеспеченностью 0,95 равна $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Согласно проведенным расчетам, в случае применения поверхностной СКВ, температура воздуха, подаваемого в ствол, должна составлять $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$, а при подземном расположении кондиционеров – $8 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура воздуха, подаваемого в выработки главных направлений).

Расчет тепловых депрессий, возникающих при требуемых значениях температуры на выходе из СКВ, был проведен для различных вариантов взаимного расположения стволов (см. рис. 3). При этом рассматривались различные варианты расположения СКВ, приведенные на рис. 1.

Все полученные данные приведены в табл. 1 и 2. В табл. 1 даны результаты расчета тепловых депрессий при охлаждении воздуха до температуры $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\Delta t = 0$) и при разности температур ($t_1 <> t_2$) воздуха, подаваемого в стволы (снижение температуры воздуха, подаваемого по одному из стволов, условно принималось равным $3 \text{ }^\circ\text{C}$). При этом предполагалось поверхностное размещение СКВ (см. рис. 1, а).

В табл. 2 приводятся следующие результаты расчетов: для вариантов размещения СКВ: только под-

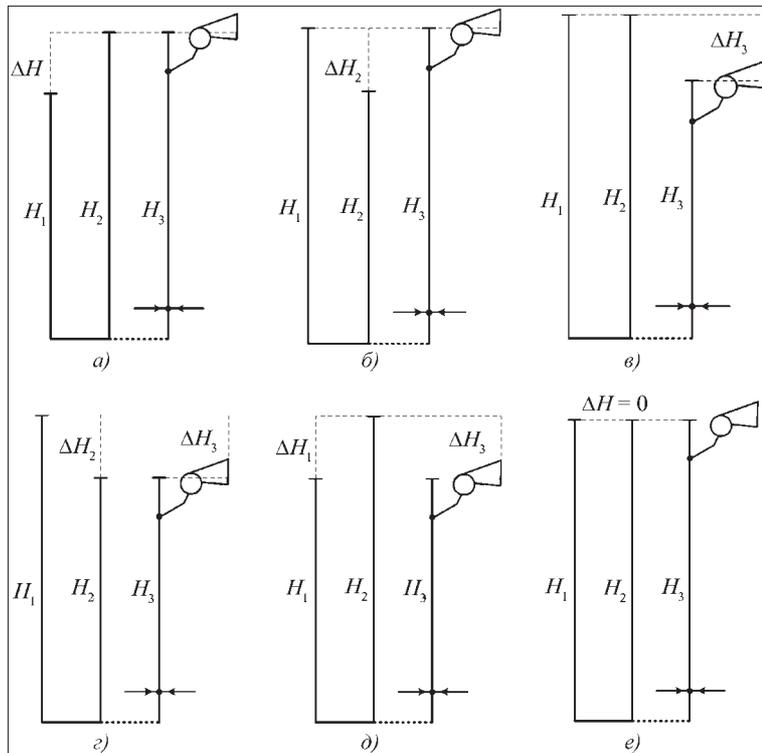


Рис. 3. Различные варианты расположения стволов

земном (по рис. 1, б), комбинированно-поверхностном и подземном размещении (рис. 1, в и г).

Как видно в табл. 1, снижение температуры воздуха, подаваемого в ствол № 1, относительно температуры воздуха ($t_1 < t_2$), подаваемого в ствол № 2, приведет к увеличению положительных тепловых депрессий,

действующих между стволами и общерудничной естественной тяги. При этом взаимное расположение стволов только будет влиять на величину тепловых депрессий, а не на их направление (все тепловые депрессии имеют положительное направление). Максимальная общерудничная естественная тяга при изменении температуры воздуха, подаваемого по стволу № 1, наблюдается при расположении стволов по схеме з, а минимальная – по схеме а (см. рис. 3).

Приведенные в табл. 2 расчетные данные указывают на то, что при расположении СКВ по схеме, приведенной на рис. 1, в, все тепловые депрессии приобретают положительное значение независимо от расположения стволов.

Сравнивая данные табл. 1 и 2, необходимо учитывать следующее. При температуре наружного воздуха $21,5\text{ }^\circ\text{C}$ температуру воздуха на выходе из поверхностной СКВ, расположенной на стволе № 1, необходимо снизить до $4,9\text{ }^\circ\text{C}$ (\approx на $77,21\%$), а по стволу № 2 – до $3\text{ }^\circ\text{C}$ (\approx на $86,05\%$). При глубине стволов $H = 400\text{ м}$ температуру воздуха, подаваемого в выработку, необходимо снижать с $30,62$ до $8\text{ }^\circ\text{C}$ (\approx на $73,87\%$). Отсюда следует вывод, что более экономичным, с точки зрения значения температуры на выходе из СКВ, будет вариант ее размещения по схеме, приведенной на рис. 1, в. При этом требуемое значение температуры воздуха на выходе из СКВ при меньшей глубине воздухоподающих стволов (будет снижаться температура воздуха в околоствольном дворе) будет увеличиваться, что приведет к еще большей разности полученных значений.

Таблица 1

Изменение тепловых депрессий и общерудничной естественной тяги при работе поверхностной СКВ

Расположение стволов (см. рис. 3)	Изменение температуры	h_{e1} , Па	h_{e2} , Па	h_{e3} , Па	h_e , Па
Схема а	$\Delta t = 0$	-16,826	156,001	139,175	278,35
	$t_1 < t_2$	6,974	156,001	162,975	325,95
	$t_2 < t_1$	-41,870	179,046	137,175	274,351
Схема б	$\Delta t = 0$	16,826	139,175	156,001	312,002
	$t_1 < t_2$	41,870	139,175	181,045	362,09
	$t_2 < t_1$	-6,974	160,976	154,001	308,003
Схема в	$\Delta t = 0$	0	163,091	163,091	326,182
	$t_1 < t_2$	25,047	163,092	188,138	376,277
	$t_2 < t_1$	-25,047	186,239	161,192	322,384
Схема г	$\Delta t = 0$	16,826	147,197	164,023	328,046
	$t_1 < t_2$	41,870	147,197	189,068	378,135
	$t_2 < t_1$	-6,974	169,098	162,124	324,248
Схема д	$\Delta t = 0$	-16,826	164,023	147,197	294,394
	$t_1 < t_2$	6,974	164,023	170,998	341,995
	$t_2 < t_1$	-41,870	187,168	145,298	290,596
Схема е	$\Delta t = 0$	0	155,001	155,001	310,002
	$t_1 < t_2$	25,047	155,001	180,048	360,096
	$t_2 < t_1$	-25,047	178,048	153,001	306,002

Изменение тепловых депрессий и общерудничной естественной тяги при подземном размещении и совместной работе поверхностной и подземной СКВ

Расположение стволов (см. рис. 3)	Расположение СКВ	h_{e1} , Па	h_{e2} , Па	h_{e3} , Па	h_e , Па
Схема а	1	-153,877	207,454	53,576	107,153
	2	69,302	87,342	156,644	313,288
	3	-102,424	156,001	53,576	107,153
Схема б	1	-114,406	184,279	69,872	139,745
	2	102,424	71,046	173,470	346,940
	3	-69,302	139,175	69,872	139,745
Схема в	1	-137,581	214,119	76,537	153,074
	2	86,554	93,133	179,687	359,374
	3	-86,554	163,091	76,537	153,074
Схема г	1	-114,406	192,301	77,895	155,790
	2	102,424	78,195	180,619	361,238
	3	-69,302	147,197	77,895	155,790
Схема д	1	-153,877	215,476	61,599	123,198
	2	69,302	94,491	163,793	327,586
	3	-102,424	164,023	61,599	123,198
Схема е	1	-137,581	206,028	68,446	136,893
	2	86,554	85,916	172,470	344,940
	3	-86,554	155,001	68,446	136,893

Примечание. Графы в колонке "Расположение СКВ" соответствуют следующим вариантам расположения: 1 – по схеме рис. 1, б; 2 – по схеме рис. 1, в; 3 – по схеме, рис. 1, г.

Применение СКВ, как уже было отмечено, связано со значительными затратами электроэнергии, поэтому регулирование работы ГВУ при изменении параметров и способов размещения СКВ только способно снизить затраты на охлаждение и осушение воздуха, а не полностью их компенсировать.

Однако в настоящее время все более широкое применение находят нетрадиционные способы охлаждения воздуха [5–7] и др., при использовании которых значительно снижаются затраты электроэнергии на работу СКВ.

Помимо горной отрасли, работы по снижению затрат на комплексную подготовку хладагента, циркулирующего в системе кондиционирования воздуха, ведутся в химической промышленности [8]. Результатом данных разработок является значительное снижение затрат электроэнергии в циклической работе холодильных машин.

Отметим, что разработки, направленные на снижение затрат электроэнергии, потребляемой СКВ, ориентированы на более широкое применение этих систем. При дальнейшем улучшении энергосберегающих показателей СКВ, помимо исключения негативных факторов, связанных с выпадением влаги в руднике, применение их на рудниках по предлагаемой схеме будет увеличивать положительное действие тепловых депрессий, что в свою очередь будет способствовать более экономичной работе ГВУ.

Список литературы

1. Николаев А.В. Потребление электроэнергии поверхностной системой кондиционирования воздуха парком-прессорного типа на проектируемом руднике Усольского калийного комбината // Научные исследования и инновации. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. Т. 5. № 1. С. 146–149.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
3. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Регулирование режимов работы ГВУ при использовании поверхностной системы кондиционирования воздуха на руднике Усольского калийного комбината // Научные исследования и инновации. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. Т. 5. № 1. С. 143–145.
4. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Расчет величины общерудничной естественной тяги // Воздушная завеса и общерудничная естественная тяга. М.: Горная книга, 2011.
5. Николаев А.В. О возможности использования тепловой энергии земных недр в системе кондиционирования воздуха, подаваемого в рудник // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 12. С. 70–73.
6. Левин Л.Ю. Исследование и разработка энергосберегающих систем воздухоподготовки для рудников: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2004. 20 с.
7. Минин В.В. Энергосберегающие технологии проветривания рудников большой мощности (на примере калийных рудников): Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Пермь, 2000. 46 с.
8. Кириллов В.В. Теоретические основы создания и оптимизации свойств хладоносителей для систем косвенного охлаждения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. 32 с.

Влияние диаграммы скорости на динамические нагрузки в системе "подъемный сосуд—жесткая армировка" и деформацию рамы подъемного сосуда

Приведен сравнительный анализ результатов испытаний при изменении диаграмм скорости в автоматическом и ручном режимах движения. Также приводится сравнение результатов динамических испытаний на одной и той же подъемной установке до и после замены подъемной машины и подъемных сосудов.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, подъемный сосуд, канат, жесткая армировка, диаграмма скорости, динамические нагрузки, деформация рамы скипа.

S.V. Vorobel, G.D. Trifanov

Research of the Influence of Velocity Diagram Parameters on the Dynamic Loads and Skip Frame Deformation in the Dynamical System "Shaft Skip—Shaft Furniture"

The article is devoted to comparative analysis of the testing results of the dynamical system "shaft skip—shaft furniture" with velocity diagram variations in automatic and manual work rate of mine winder machine. Also similar testing results presented and analyzed for up to and after shaft hoist modernization with winder machine and shaft skip replacement.

Keywords: shaft hoist mounting, shaft skip, hoisting rope, mine shaft furniture, velocity diagram, dynamical forces, skip frame deformation.

Стволы Верхнекамского месторождения калийных солей, предназначенные для выдачи руды с помощью скиповых установок, оборудованы жесткой армировкой. Взаимодействие подъемного сосуда с проводниками в таких стволах носит динамический характер, при движении подъемных сосудов в стволе возникают вибрация и удары. Причинами динамического воздействия сосуда на проводники являются отклонения проводников от вертикали, криволинейность проводников, уширения и сужения колеи, а также дефекты стыков проводников.

Одной из проблем, возникающих при увеличении производительности подъемного комплекса, является резкое снижение срока службы элементов армировки и подъемных сосудов из-за накопления усталости конструкций вследствие переменных нагрузок с высокой амплитудой. При этом также снижается безопасность эксплуатации шахтного подъема, так как выход из строя элементов армировки, проводников или подъемных сосудов в шахтном стволе является серьезной аварией.

В последнее время интенсивность работы подъемных комплексов калийных рудников значительно выросла за счет увеличения скорости подъема, измене-

ния грузоподъемности скипов и снижения времени загрузки и разгрузки скипов. На ряде рудников проведена модернизация подъемных установок путем замены подъемных машин и привода постоянного тока на машины с частотно-регулируемым синхронным приводом. При этом навешены скипы большей грузоподъемности. Применение современных цифровых систем управления подъемными установками привело к изменению диаграмм скорости. Оказалось, что с увеличением скорости подъема и массы поднимаемого груза, а также ускорений при разгоне и замедлении, существенно изменились динамические нагрузки на подъемные канаты и нагрузки в системе "скип—проводники". В ряде случаев увеличение нагрузок привело к преждевременному выходу из строя оборудования подъемных установок, в частности скипов и подъемных канатов.

В 2007–2011 гг. на скиповых подъемных установках рудников в связи с выходом из строя подъемных сосудов из-за появления усталостных трещин был проведен ряд исследований, связанных с измерением динамических нагрузок и деформаций в системе "подъемный сосуд—жесткая армировка".

Исследования проводились с помощью измерительного комплекса МАК-РКЦ, устанавливаемого на подъемном сосуде, и регистратора параметров подъемной установки РПУ-03.5. В некоторых случаях для записи скорости и положения скипов использовался переносной диагностический комплекс "Силькан".

Аппаратура, устанавливаемая на подъемном сосуде, включала автономный записывающий блок, семь однотипных датчиков ускорения, измеряющих ускорения скипа в вертикальной, лобовой и боковых направлениях на нижних и верхних роликоопорах, датчики деформации рамы скипа, а также оптический отметчик расстрелов, позволяющий с большой точностью привязать динамические проявления в стволе к соответствующим ярусам армировки. В качестве датчиков деформации в первом случае использовались тензорезисторы, которые наклеивались на раму скипа в нескольких сечениях. Во втором случае для скипов с отклоняющимся кузовом, рама которого не имеет жесткой связи с последним, использовались индуктивные датчики перемещения. При этом измерялись упругие деформации рамы относительно кузова при ее колебаниях. Запись данных производилась во время работы подъемной установки как в автоматическом, так и в ручном режиме. В последнем случае диаграммы скорости движения, ускорения и замедления отличались от параметров при автоматическом режиме. Это позволило оценить влияние параметров движения на динамику сосуда в стволе и на характер деформаций рамы сосуда.

При испытаниях выявлено, что наибольшие нагрузки в системе "подъемный сосуд—армировка" и деформации рамы скипа возникают при подъеме груженого скипа. При анализе диаграмм подъема и характера динамических нагрузок выявлено, что по положению в стволе участки с максимальным воздействием скипа на проводники, как правило, соответствуют периодам разгона и замедления подъемного сосуда, при этом большие амплитуды нагрузок возникают на участке разгона скипа до рабочей скорости. То есть на взаимодействие сосуда с проводниками влияют ускорения подъемного сосуда. Динамические нагрузки на подъемный сосуд значительно влияют на работоспособность подъемных канатов. Так, анализ дефектограмм канатов, полученных при магнитной дефектоскопии, показывает, что в большинстве случаев наибольшую потерю сечения

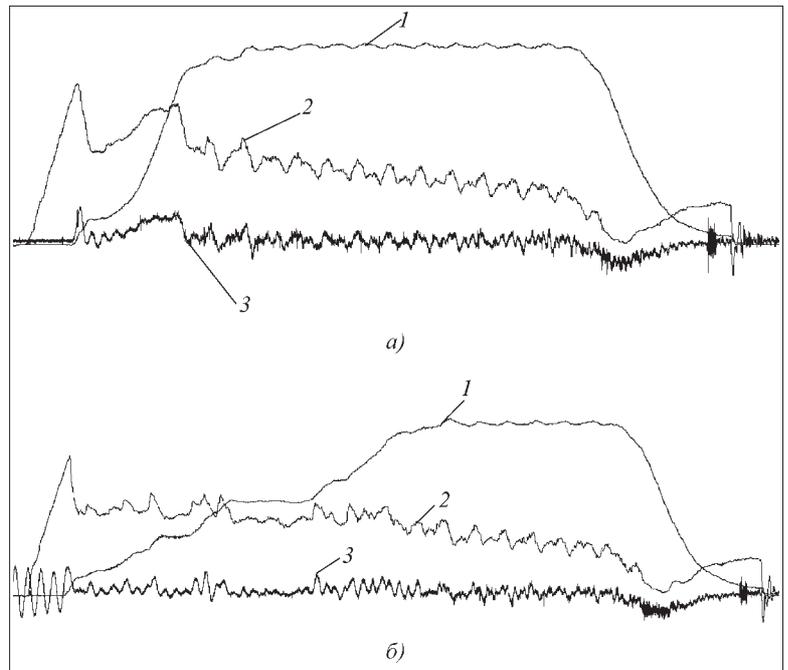


Рис. 1. Цикл подъема груженого скипа в автоматическом (а) и ручном с плавным разгоном (б) режимах:

1 – скорость машины; 2 – ток якоря двигателя постоянного тока; 3 – вертикальное ускорение скипа

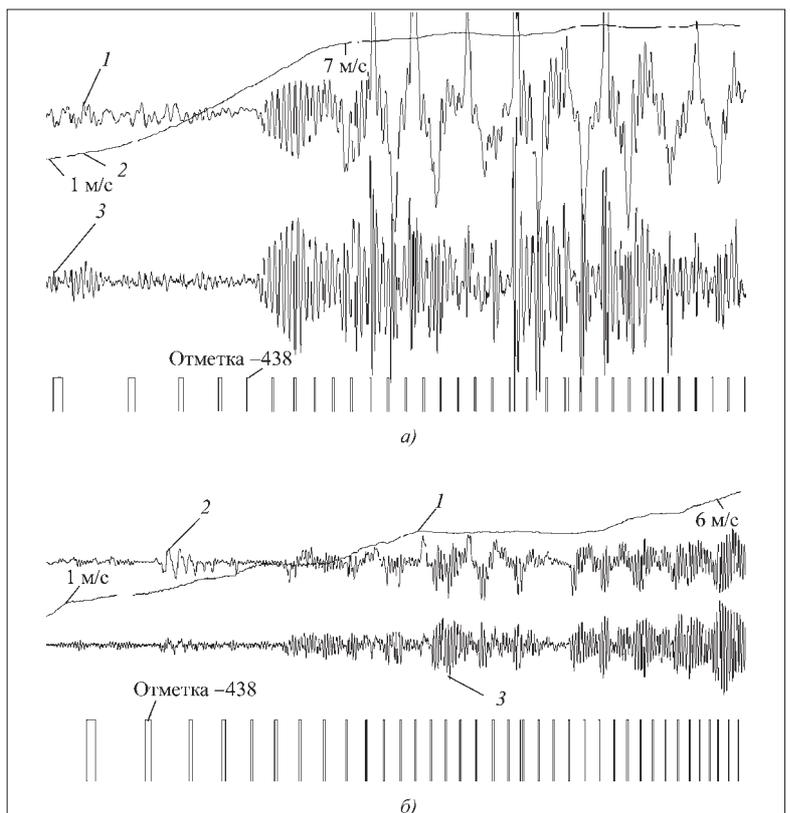


Рис. 2. Динамические параметры циклов подъема при разгоне машины в автоматическом (а) и ручном с плавным разгоном (б) режимах:

1 – деформация рамы скипа; 2 – скорость подъема; 3 – нагрузка на проводники в лобовой плоскости на нижних роликоопорах скипа (ускорение в лобовой плоскости)

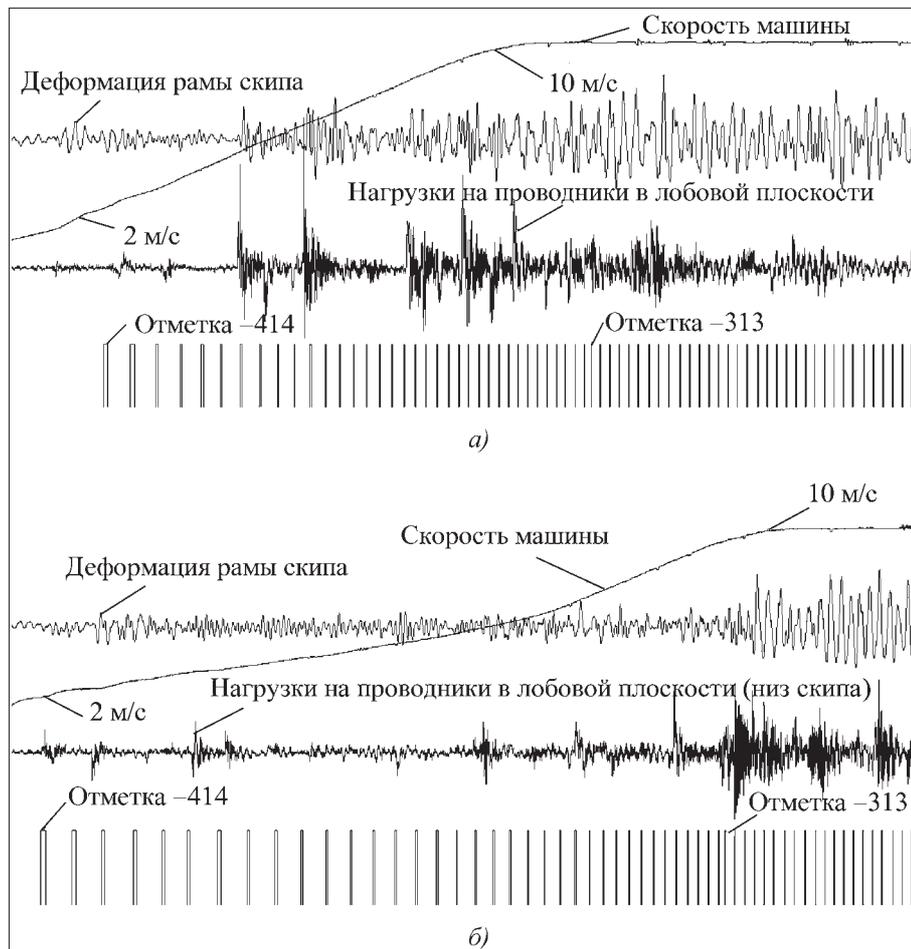


Рис. 3. Динамические параметры циклов подъема при разгоне подъемной машины со скипами с отклоняющимся кузовом в автоматическом (а) и ручном (б) режимах

имеет участок каната, который проходит через копровый шкив в момент разгона подъемного сосуда.

Кроме того, при изменении диаграммы скорости участки в стволе с максимальными амплитудами деформаций и нагрузок на проводники смещаются относительно их прежнего положения или исчезают совсем.

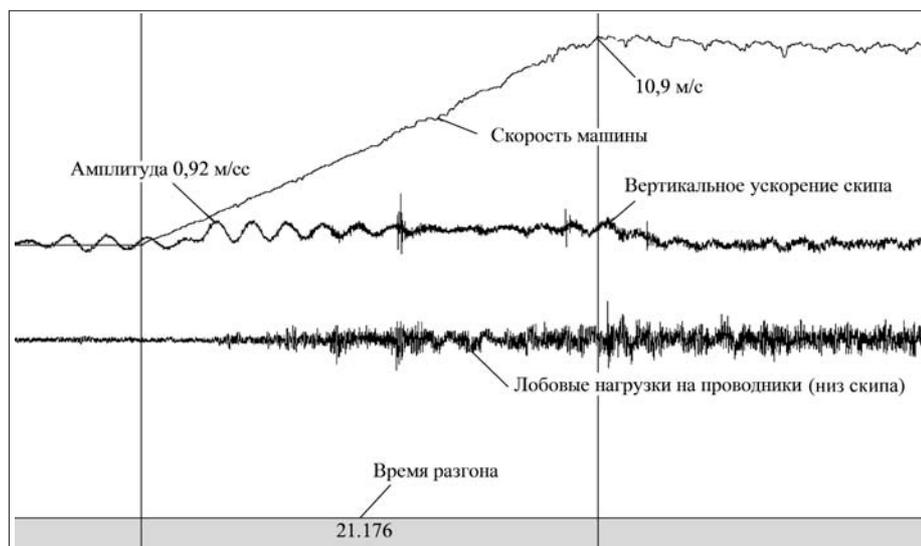


Рис. 4. Цикл подъемной установки с приводом постоянного тока по данным 2009 г.

Для оценки влияния характера диаграммы скорости на нагрузки на проводники и деформацию рамы скипа при испытаниях часть циклов проводилась в ручном режиме с плавным разгоном до рабочей скорости.

Рассмотрим влияние диаграммы подъема на динамику движения сосудов. На рис. 1 показаны параметры цикла подъема в автоматическом и ручном, с плавным разгоном режимах, на рис. 2 – некоторые динамические параметры, а также положения расстрелов в стволе, полученные с помощью оптического отметчика.

На рисунках видно, что изменение диаграммы подъема существенно влияет на нагрузки в системе "скип–армировка". Нагрузки на проводники и деформация рамы скипа при разгоне в автоматическом режиме в разы больше, чем при плавном разгоне.

На рис. 3 показаны такие же данные, но снятые на подъемной машине со скипами другого типа – с отклоняющимся кузовом.

Здесь также можно заметить влияние плавности разгона на величину деформаций рамы скипа и динамических нагрузок на проводники.

Кроме того, при изменении диаграммы скорости участки в стволе с максимальными амплитудами деформаций и нагрузок на проводники смещаются относительно их прежнего положения или исчезают совсем. Это свидетельствует о том, что причиной появления нагрузок в раме скипа и проводниках в большей степени является ускорение или даже изменение ускорения машины или рывок, а не состояние проводников и армировки.

Проведенные исследования и накопленные данные испытаний позволяют сравнить динамические процессы в одних и тех же стволах и скиповых отделениях до и после замены подъемных машин и скипов. Изменение параметров системы (ускорений, массы скипа и т.д.) приводит к значительному изменению динами-

Рис. 5. Та же установка после замены подъемной машины и скипов по данным 2011 г.



ческих нагрузок. Проведем анализ двух типовых циклов подъема в автоматическом режиме груженого скипа в одном и том же скиповом отделении по данным 2009 и 2011 гг. (рис. 4, 5). Последние данные получены после замены подъемной установки и скипов, а также ремонта ствола.

Как видно на рис. 4 и 5 максимальная рабочая скорость после замены машины такая же, как и до замены, и составляет 10,7 м/с. Незначительно изменилось время разгона до максимальной скорости с 21 до 17 с, что составляет 24 %, т.е. возросло среднее ускорение в период разгона. Масса скипов после их замены изменилась примерно на 25 % (с 44 до 55 т), амплитуда вертикального ускорения скипа возросла на 34 %, что означает увеличение динамических нагрузок в подъемном канате примерно на 67,5 %. Также видно, что амплитуды лобовых динамических нагрузок на скип и проводники после замены подъемной машины в несколько раз превышают нагрузки до замены, хотя в стволе при реконструкции проведена полная замена проводников и части расстрелов.

Выводы

1. Параметры диаграмм скорости подъема оказывают значительное влияние на динамические нагрузки

на подъемный сосуд и проводники, а также на подъемный канат. Небольшое изменение диаграммы скорости приводит к снижению или наоборот увеличению этих нагрузок в несколько раз. Участки в стволе, на которых возникают динамические нагрузки в течение стандартного цикла подъема или спуска скипа при изменении диаграммы скорости смещаются в другие места по стволу, изменяются амплитуда нагрузок и характер их проявления. Все это говорит о том, что большее влияние на нагрузки в системе "подъемный сосуд—жесткая армировка" оказывает ускорение машины или рывок, а не состояние проводников.

2. Выполненные исследования позволяют выработать мероприятия, направленные на снижение динамических воздействий и нагрузок в системе "подъемный сосуд—жесткая армировка". Это способствует решению проблемы повышения долговечности подъемных канатов, сосудов и жесткой армировки стволов, что является актуальным при росте производительности подъемов шахт и рудников.

3. При настройке системы управления приводом шахтных подъемных установок необходимо избегать резких изменений скорости подъема, ограничив рывок системы.

Наладка тормозной системы шахтных подъемных установок с помощью аппаратуры "Силькан"

Описаны современная аппаратура для проведения ревизии наладки тормозной системы шахтных подъемных установок и технология проведения наладки на основе получаемой информации. Приведен пример обработки результатов испытаний.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, тормозная система, наладка.

G.D. Trifanov

Mine Hoisting Plant Brake System Adjustment with "Silkan" Equipment

The description of up-to-date equipment to audit the mine hoisting plant brake system setting and the adjusting technology based on obtain information is given in the article. The measurement data processing example is given.

Keywords: mine hoisting plant, brake system, adjustment.

Для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок перед вводом их в эксплуатацию и в дальнейшем один раз в год проводятся ревизия и наладка этих установок в объемах, предусмотренных руководством по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок [1]. Особое внимание при наладке уделяется к тормозным устройствам шахтных подъемных машин. К этим устройствам установлены следующие нормативные требования.

1. Минимально допустимый коэффициент статической надежности тормоза должен быть не менее 3,0 для подъемных установок с углом наклона выработок 30° и более. Коэффициент статической надежности тормоза определяется расчетным путем как отношение величин тормозных моментов при неподвижном состоянии подъемной машины к максимальному статическому моменту нагрузки.

2. Продолжительность холостого хода предохранительного тормоза действующих подъемных машин с грузо- и пружинно-пневматическим грузовым приводом тормоза не должна превышать 0,5 с. Продолжительность холостого хода определяется измерением времени с момента разрыва цепи защиты до момента соприкосновения тормозных колодок с тормозным ободом.

3. Время срабатывания тормоза, независимо от типа привода тормоза, не должно превышать 0,8 с. Время срабатывания тормоза измеряется с момента разрыва цепи защиты до момента нарастания тормозного усилия до величины, равной статическому.

4. Величина среднего замедления подъемной установки при предохранительном торможении при спуске груза должна не менее $1,5 \text{ м/с}^2$ при углах наклона выработки более 30° . Величина среднего замедления при подъеме расчетного груза не должна превышать $5,0 \text{ м/с}^2$ при углах наклона выработки более 50° .

Действующим в настоящее время Руководством по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок [1] рекомендуется проводить испытания тормозных устройств методом осциллографирования. Продолжительность холостого хода и время срабатывания тормоза, а также замедления подъемных сосудов при предохранительном торможении при спуске и подъеме расчетного для данной установки груза определяются обработкой полученных осциллограмм скорости. Пример обработки осциллограмм приведен на рис. 1.

На графиках изменения скорости показаны характерные точки: *A* – момент разрыва цепи предохранительного торможения (момент срабатывания предохранительного тормоза); *B* – момент соприкосновения тормозных колодок с тормозным ободом; *C* – момент начала торможения (тормозное усилие равно статическому); *D* – момент наложения второй ступени предохранительного торможения; *E* – момент стопорения подъемной машины.

На рис. 1 видно, что продолжительность холостого хода $t_{\text{хх}}$ и время срабатывания тормоза $t_{\text{ст}}$, а также время торможения машины определяются положением точек *A*, *B* и *C*, место установки которых зависит от квалификации специалистов. Скорость движения по осциллограммам определяется с

неизвестной погрешностью, так как большинство установленных на подъемных установках тахогенераторов не сертифицированы как средство измерения. Таким образом, рекомендуемый руководством [1] метод испытания тормозных устройств не обеспечивает выполнения требований статьи 3.6 Федерального закона РФ от 26.06.2008 № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" при осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.

Эта проблема решается внедрением в практику ревизии и наладки подъемных установок переносной аппаратуры "Силькан", разработанной автором со старшим научным сотрудником кафедры "Горные и нефтепромысловые машины" Пермского национального исследовательского политехнического университета, канд. техн. наук А.А. Князевым. Программное обеспечение аппаратуры "Силькан" разработано аспирантом кафедры М.А. Стрелковым.

Аппаратура "Силькан" разработана для ревизии и наладки шахтных подъемных установок. Она обеспечивает измерение величины напряжения и силы постоянного и переменного токов, визуализацию и документирование параметров работы тормозной системы шахтных подъемных установок и их электроприводов как постоянного, так и переменного тока.

Шахтные подъемные установки относятся к опасным производственным объектам, поэтому приборы контроля их параметров в соответствии с требованиями статьи 1 п.3-6 Федерального закона РФ от 26.06.2008 № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" должны быть сертифицированы как средства измерения. При сертификации аппаратура "Силькан", обеспечивающая измерение нескольких физических величин, была зарегистрирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии как средство измерения под названием "Системы измерительные (СИ) "Силькан" (серти-

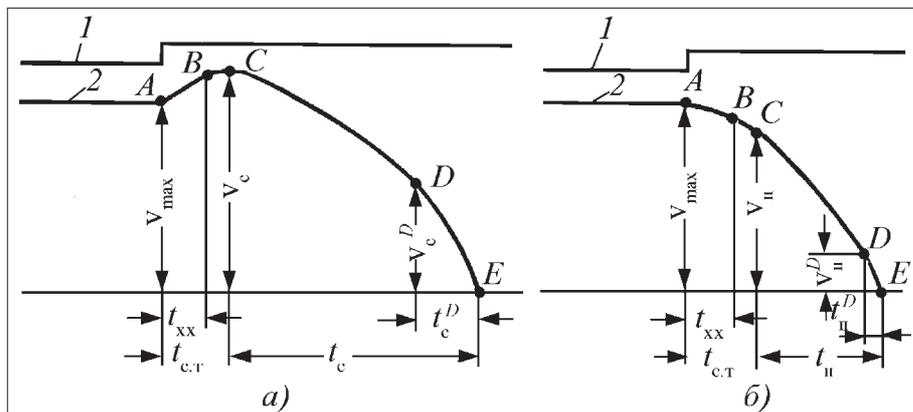


Рис. 1. Осциллограммы изменения скорости при предохранительном торможении при спуске (а) и при подъеме (б) расчетного груза:

v_{max} – максимальная скорость подъемной машины; v_c и v_{II} – скорость машины по истечении времени срабатывания тормоза соответственно при спуске и подъеме груза; v_c^D и v_{II}^D – скорость машины в момент наложения второй ступени торможения соответственно при спуске и подъеме груза; t_{xx} – время холостого хода тормоза; $t_{c,т}$ – время срабатывания тормоза; t_c и t_{II} – время торможения машины соответственно при спуске и подъеме груза; t_c^D и t_{II}^D – время действия второй ступени торможения соответственно при спуске и подъеме груза; 1 – ток в катушке контактора предохранительного тормоза; 2 – скорость подъемной машины

фикат об утверждении типа средств измерений RU.C.34.004.A № 24737). СИ "Силькан" имеют разрешение на применение Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (разрешение № РРС 00–25231).

В состав СИ "Силькан" входят портативный компьютер, программное обеспечение "Силькан", блок коммутации и комплект датчиков (рис. 2).

Диапазоны измерений, входные параметры и пределы допускаемых основных приведенных погрешностей измеряемых СИ "Силькан" величин приведены в таблице.

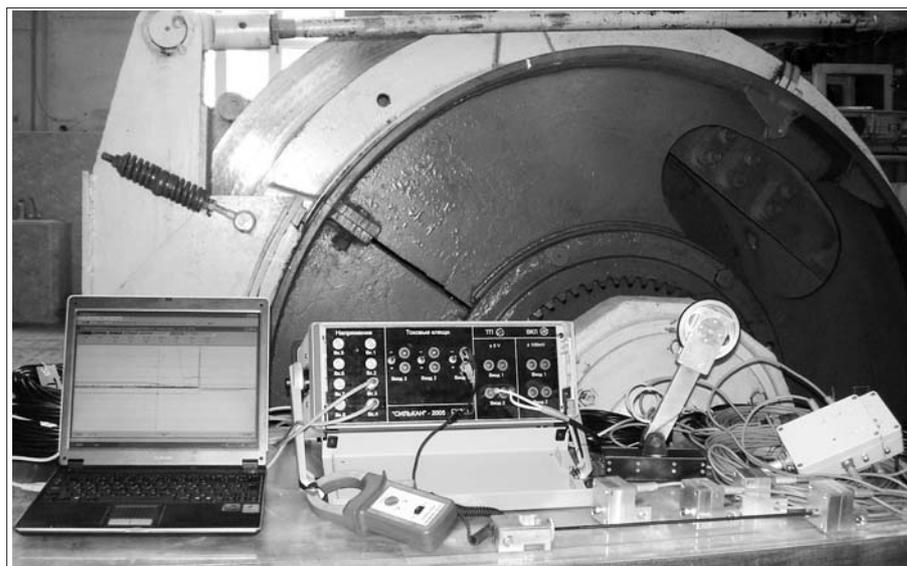


Рис. 2. СИ "Силькан"

Основные технические характеристики СИ "Силькан"

Наименование измерительного канала (ИК)	Диапазон измерений	Тип первичного преобразователя	Пределы основной погрешности ИК, %
Сила постоянного тока	±5 А ±300 А ±500 А ±1000 А	Шунт 75ШСМ	±1,5
	±4 А ±30 А	Токовые клещи PROVA 15	±3,0
Сила переменного тока	(0...0,4) А (0...4) А (0...30) А	Токовые клещи PROVA 15	±3,5
	(0...200) А (0...1000) А	Токовые клещи АТА-2502	
Напряжение постоянного тока	±250 В ±1000 В	ДН-1000/250-5	±2,0
	±30 В	—	±1,0
Давление	(0...1) МПа (0...16) МПа	Датчик давления "Карат-Ди"	±2,5
Линейное перемещение	(0,5...2000) м	Датчик пути на базе шифратора угла поворота Drehgeber	±1,0 относ.
Деформация	(-3000 ... +3000) мкм/м	Датчик деформации ДД-1	Не нормирован

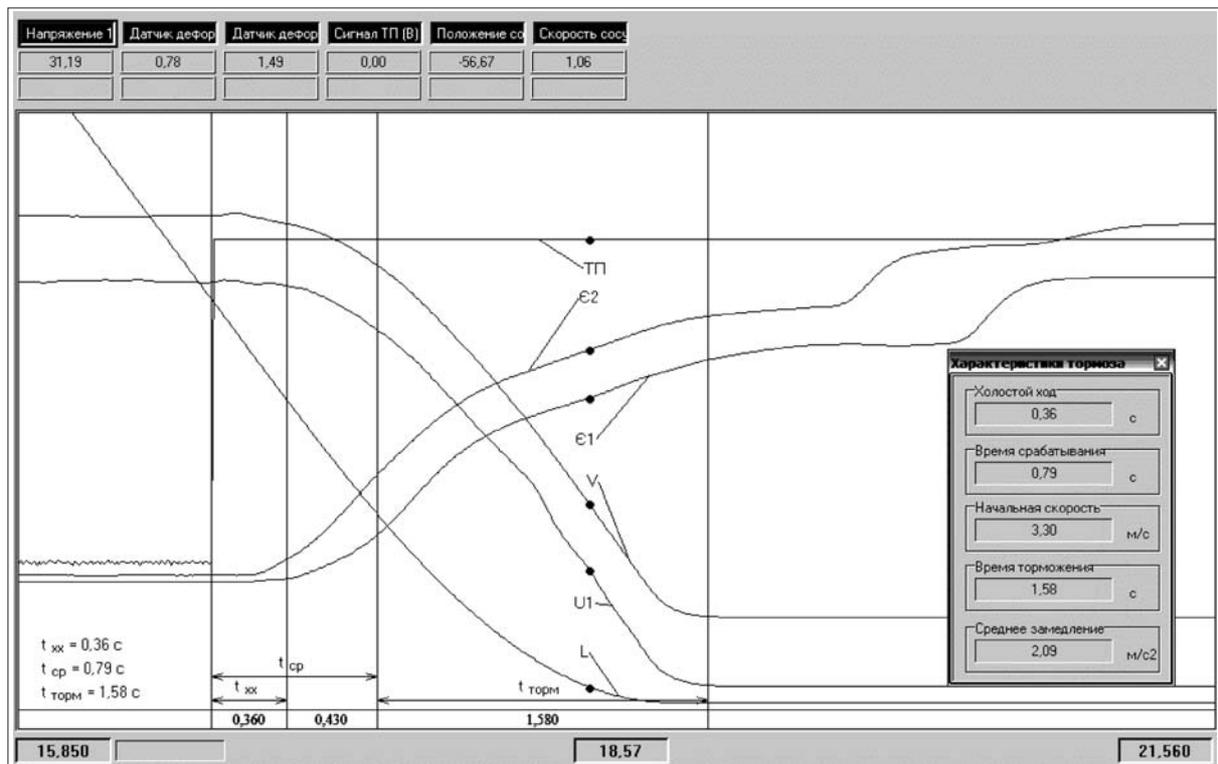


Рис. 3. Регистрация и расчет параметров работы тормозной системы:

ТП – сигнал разрыва цепи предохранительного тормоза; ϵ_1 , ϵ_2 – деформация тормозных тросов; L – линейное перемещение, м; v – скорость, рассчитанная программным комплексом, м/с; U_1 – напряжение с тахогенератора, В

Пример обработки результатов испытания тормозной системы шахтной подъемной машины при подъеме груза приведен на рис. 3.

На рисунке представлены следующие графики:

- сигнал ТП — определяет момент подачи сигнала на предохранительное торможение;
- линейное перемещение L — позволяет определить момент остановки подъемной машины и тормозной путь;
- скорость v — значение скорости, вычисленное по данным с датчика перемещения;
- деформации тяг (ϵ_1, ϵ_2) — характеризуют изменение тормозного усилия;
- напряжение с тахогенератора U_1 — позволяет качественно сравнить изменение скорости по данным СИ "Силькан" и тахогенератора.

Для определения продолжительности протекания процессов на графиках устанавливаются специальные метки в виде вертикальных линий, отмечающие моменты начала торможения, соприкосновения колодок тормоза с тормозным ободом, срабатывания тормоза и стопорения подъемной машины. Метки позволяют рассчитать продолжительность холостого хода, время срабатывания тормоза и торможения машины. Установка меток осуществляется специалистами с учетом особенностей работы тормоза, изменения скорости и другой информации.

Испытания тормозной системы проводят в два этапа: при неподвижном барабане подъемной машины определяют время холостого хода и время срабатывания предохранительного тормоза; при движении подъемной машины с максимальной скоростью — все регламентируемые параметры тормозной системы.

По графикам изменения давления на выходе регулятора или в полостях цилиндров рабочего и предохранительного торможения, графикам деформации тяг определяют состояние и исправность работы каждого (левого и правого) тормоза подъемной машины. По характеру изменения давления оценивается рабо-

та первой ступени торможения, выявляется "зависание" поршня в цилиндре и определяются другие неисправности. По характеру нарастания тормозного усилия в тяге исполнительного органа, моментам касания колодками тормозного обода определяются износ и состояние рычажно-шарнирного механизма исполнительного органа тормоза. После устранения неполадок и проведения наладки тормозной системы проводят повторные испытания.

Выявление и устранение неисправностей на неподвижной машине позволяют избежать появления аварийных ситуаций при испытании тормозной системы на максимальной скорости.

На многоканатных подъемных установках до начала испытаний необходимо выполнить расчет на возможность проскальзывания канатов по канатоведущему барабану [1].

Расчет ожидаемых величин замедлений системы при спусках груза и более нагруженной ветви канатов при перегоне порожних сосудов и определение фактических динамических коэффициентов безопасности против скольжения выполняются также по результатам измерений на неподвижной машине.

В настоящее время СИ "Силькан", сертифицированные как средство измерения и имеющее разрешение на применение Ростехнадзора, применяются для ревизии, наладки шахтных подъемных установок наладочными организациями не только в Российской Федерации, но и в Казахстане, Украине и Белоруссии.

Список литературы

1. **Руководство** по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок / В.Р. Бежок, Б.Н. Чайка, Н.Ф. Кузьменко и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 391 с.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ "МАШИНОСТРОЕНИЕ"



Том IV-24 ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Ю.А. Лагунова, А.П. Комиссаров, В.С. Шестаков и др.; под общ. ред. В.К. Асташева

2011 г. 496 с. ISBN 978-5-94275-567-6. Издательство "Машиностроение" **Цена 1000 р.**

Рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации горных машин и оборудования. Приведенный материал охватывает всю цепочку использования горной техники: от горно-проходческих работ до методов добычи, рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых. Представлены технические характеристики, схемы, описание конструкций, методы расчета и испытаний горных машин.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.3.048.1

А.М. Седунин, канд. техн. наук, доц., ген. директор, ЗАО "Энергосервис", **И.А. Чалов**, асс., ПНИПУ, **Л.Г. Сидельников**, канд. техн. наук, доц., ООО "ТестСервис", г. Пермь

E-mail: Sedunin@eservice.ru

Классификация высоковольтных вводов силовых трансформаторов и проблемы их эксплуатации на предприятиях горной промышленности

Рассмотрены классификация высоковольтных вводов силовых трансформаторов горных предприятий по классу напряжения и конструкции внутренней изоляции. Приведен анализ повреждаемости, основных дефектов высоковольтных вводов в процессе эксплуатации. Описаны причины ухудшения состояния внутренней изоляции вводов и возможные механизмы ее разрушения. Охарактеризованы основные методы контроля технического состояния высоковольтных вводов.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, высоковольтные вводы, внутренняя изоляция, частичные разряды, контроль технического состояния.

A.M. Sedunin, I.A. Chalov, L.G. Sidelnikov

Classification of High Voltage Bushings of Power Transformers and its Exploitation Problems at the Mining Enterprises

Classification of high voltage bushings of the mining enterprises power transformers by voltage class and type of internal insulation is reviewed. Analysis of main malfunctions of high voltage bushings during exploitation is given. The reasons and possible mechanisms of the internal insulation destruction are described. The main methods controlling the technical condition of high voltage bushings are characterized.

Keywords: power transformers, high voltage bushings, internal insulation, partial discharges, the control of the technical condition.

Современные горные предприятия имеют сложный комплекс электроустановок, размещенных на поверхности и в подземных выработках. Поскольку на горных предприятиях применяется система глубокого ввода, то в системе электроснабжения имеются трансформаторы всех классов напряжения — от 0,4 до 220 кВ. Трансформаторы напряжением 35...220 кВ устанавливаются в электроустановках поверхностного комплекса [1]. Наиболее ответственными являются силовые трансформаторы, размещенные на ГПП предприятия, их выход из строя влечет за собой прерывание технологического процесса и большие убытки.

Отечественный и зарубежный опыт в равной степени указывает на высокую долю повреждаемости трансформаторов напряжением 110 кВ и выше из-за отказов высоковольтных вводов, что в среднем составляет от 20 до 40 % от общего числа аварий [3]. Повреждения высоковольтных вводов в процессе эксплуатации могут приводить не только к разру-

шению самого ввода, но и трансформатора. Тяжелые условия производства на горных предприятиях (см. ниже) предъявляют высокие требования к электрооборудованию и приводят к его повышенному износу и ухудшению его эксплуатационных характеристик [2]. Поэтому важной задачей является обеспечение безаварийной работы высоковольтных вводов в процессе эксплуатации трансформаторов на горных предприятиях. Для этого необходимо своевременно выявлять опасные дефекты, что невозможно без представления о конструкции вводов, механизмах развития дефектов и надежных методов их обнаружения. Задачей данной статьи является анализ типов высоковольтных вводов, эксплуатируемых на горных предприятиях, условий их работы и возможных причин развития дефектов и выбор эффективного метода контроля вводов в процессе эксплуатации.

Классификация высоковольтных вводов силовых трансформаторов

В зависимости от назначения и области применения вводы силовых трансформаторов имеют различную конструкцию. Основными узлами вводов являются токоведущий элемент, внутренняя изоляция, внешняя изоляция и вспомогательные детали, служащие для крепления к корпусу трансформатора и присоединения токоведущего элемента к электрической сети. Классификация вводов определяется классом напряжения и типом внутренней изоляции [4].

В качестве вводов на напряжения до 35 кВ используются полые фарфоровые изоляторы, сквозь которые пропускается токоведущий отвод. Внутренняя полость вводов на напряжения 1...35 кВ заполняется маслом из бака трансформатора, а во вводах до 1 кВ – воздухом [5].

На напряжения 35...66 кВ используются маслоподпорные вводы, у которых токоведущий отвод пропущен через трубу с твердой бумажно-бакелитовой изоляцией конденсаторного типа. Верхняя часть такого ввода защищается от атмосферных воздействий фарфоровой крышкой, а внутренняя полость сообщается с баком трансформатора и заполняется трансформаторным маслом [6].

На напряжения 35...110 кВ широкое распространение получили вводы с твердой изоляцией конденсаторного типа. Изоляционный остов таких вводов изготавливается путем намотки на центральную трубу бумаги, покрытой специальным лаком или склеенной эпоксидным компаундом (RBP-изоляция). Во время намотки наносится графитовые обкладки, служащие для выравнивания электрического потенциала. В результате последующей термической обработки остов становится монолитным [7].

В последние годы производители начали осваивать выпуск вводов на напряжения 220...500 кВ с твердой изоляцией типа RIP. Изоляционный остов таких вводов выполняется из специальной бумаги, пропитанной под вакуумом эпоксидной смолой с конденсаторными обкладками из алюминиевой фольги.

Нижняя часть изоляционного остова ввода с твердой внутренней изоляцией не имеет крышки и находится непосредственно в масле бака трансформатора. Вводы выпускаются с фарфоровой либо полимерной внешней изоляцией. Пространство между изоляционным остовом и изолятором заполняется трансформаторным маслом либо вспененным полиуретаном [7].

При напряжении 110 кВ и выше применяются маслонеполненные вводы с внутренней изоляцией, имеющие верхнюю и нижнюю фарфоровые крышки. По типу исполнения внутренней изоляции различают вводы с маслобарьерной изоляцией и с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа.

Наибольшее распространение имеют вводы с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа (OIP-изоляция). У таких вводов на центральную трубу намотаны слои кабельной бумаги с расположенными в определенной последовательности проводящими обкладками между ними.

По способу защиты внутренней изоляции от увлажнения различают негерметичные и герметичные бумажно-масляные вводы. В настоящее время вводы негерметичного исполнения не выпускаются, но продолжают эксплуатироваться [8].

Также существуют кабельные вводы с бумажно-масляной изоляцией, предназначенные для подключения трансформатора к силовым кабелям. Кабельные вводы выпускаются на напряжение до 500 кВ и бывают герметичного и негерметичного исполнения. У всех кабельных вводов, кроме вводов 500 кВ, имеются устройства, позволяющие проводить отбор проб масла из ввода без его снятия и разборки. Конструкция кабельных вводов обеспечивает его герметизацию от масла в баке силового трансформатора [6].

Большинство высоковольтных вводов, находящихся в эксплуатации на горных предприятиях, имеют бумажно-масляную изоляцию конденсаторного типа (на напряжения до 1150 кВ) либо твердую изоляцию типа RBP (на напряжения до 110 кВ). В последнее время широкое распространение начали получать вводы с твердой изоляцией типа RIP (на напряжения до 500 кВ). Из соображений пожарной безопасности в подземных горных выработках маслонеполненные вводы не применяются.

Проблемы эксплуатации высоковольтных трансформаторных вводов

Как отмечено выше, повреждение высоковольтных вводов является одной из основных причин выхода силовых трансформаторов из строя. Число подобных аварий в России стало расти с 1980-х гг. Наибольшая доля повреждений приходится на бумажно-масляные вводы герметичного исполнения напряжением 110 кВ. Именно такие вводы устанавливаются на трансформаторах ГПП горных предприятий.

Характер неисправностей и повреждений высоковольтных вводов различается в зависимости от конструкции внутренней изоляции и класса напряжения. Некоторая статистика особенностей повреждаемости вводов представлена в табл. 1 [4–6, 8].

Анализ причин ухудшения состояния внутренней изоляции

К основным причинам ухудшения состояния внутренней изоляции вводов относятся электрическое старение вследствие развития частичных разрядов, тепловое старение, окисление изоляции и увлажнение [11]. Развитие дефектов определяется совокупностью этих процессов.

Для электроустановок горных предприятий характерны частые коммутации и тяжелые режимы работы. Современная технология добычи полезного ископаемого предусматривает использование специального технологического оборудования и частотно-регулируемого электропривода. Преобразователи частоты являются источником высших гармоник и искажают напряжение питающей сети. Искажение питающего напряжения и наличие в сети гармоник

Характерные дефекты трансформаторных вводов

Тип внутренней изоляции ввода	Характерные виды дефектов
Заполнение фарфоровой покрышки маслом	1) повреждение фарфоровой покрышки из-за недопустимых механических воздействий; 2) течь масла
Твердая изоляция (с твердым остовом и масляным заполнением)	1) расслоение остова; 2) старение масла; 3) повреждение фарфоровой покрышки из-за недопустимых механических воздействий; 4) течь масла
Маслобарьерная изоляция	1) разрушение бумажных цилиндров и резиновых прокладок из-за наличия механических примесей, повышенной кислотности масла, шлама, волокон; 2) течь масла через трещины в фарфоре, фланцы, армировку; 3) тенденция к повышению повреждаемости внутренней изоляции по причине физического износа изоляции
Негерметичные вводы с бумажно-масляной изоляцией	1) увлажнение масла и твердой изоляции, приводящее к тепловому пробую или перекрытию по поверхности остова и покрышки; 2) ненадежная конструкция узлов уплотнения, приводящая к течи масла, его увлажнению и окислению; 3) нарушение контактных соединений во вводах, приводящее к искрению и пробую; 4) механическое повреждение ввода при изменении температуры из-за недостаточного объема маслорасширителя
Герметичные вводы с бумажно-масляной изоляцией	1) старение масла с выпадением осадка на остов и покрышку; 2) частичные разряды в масле и на поверхности остова и покрышки, приводящие к перекрытию внутренней изоляции; 3) загрязнение масла частицами алюминия, образующимися в баке давления при вибрации; 4) нарушение электрической связи между токоведущей трубой и трубой изоляционного остова при вибрации трансформатора, приводящее к возникновению электрического разряда, разложению масла и образованию газов; 5) повреждение ввода в результате повышения внутри него гидростатического давления, вызванного потерей герметичности сильфонов или нарушением сообщения бака давления с вводом; 6) снижение давления во вводе из-за потери герметичности

высоких частот приводят к повышенному нагреву трансформатора и вводов [2]. Кроме того, применение элегазовых выключателей приводит к возникновению в системе электроснабжения предприятия опасных коммутационных перенапряжений. Перечисленные факторы приводят к преждевременному износу внутренней изоляции вводов.

Установлено, что причины возникновения и характер развития дефектов зависят от конструкции ввода. Увлажнение, связанные с ним тепловой пробой и перекрытие по поверхности твердой изоляции наблюдаются у негерметизированных конструкций. В герметичных вводах преобладают повреждения, определяемые процессами частичных разрядов или ухудшением качества масла.

Основной причиной электрического старения изоляции вводов являются частичные разряды (ЧР) [11]. ЧР в бумажно-масляной изоляции, вызывающие ее разрушение, начинаются в тонких масляных прослойках между слоями бумаги или в газовых включениях в толще изоляции. При этом происходит разложение масла с выделением газов. Одновременно идет процесс поглощения этих газов путем растворения их в масле и химического связывания. Дальнейшее развитие повреждения определяется свойствами масла.

Если весь выделившийся газ поглощается, то условия для образования пузырьков отсутствуют. Далее происходит старение изоляции, которое проявляется в росте ее диэлектрических потерь и может привести к тепловому пробую. Если же образуются пузырьки газа, то резко увеличивается интенсивность ЧР. На ранних стадиях развития дефекта наблюдается накопление в масле продуктов разложения изоляции, в дальнейшем наступает пробой или перекрытие по поверхности.

Основные методы контроля технического состояния вводов

В настоящее время существует и применяется большое число методов контроля технического состояния вводов. Все методы можно разделить на интегральные и дифференциальные. *Интегральные методы* оценивают состояние изоляционной конструкции в целом, но не позволяют различить местонахождение дефекта. Так как дефект внутри изоляционной конструкции, как правило, распределяется неравномерно, интегральные методы оказываются не чувствительными к локальным дефектам. Большинство используемых методов являются интегральными. *Дифференциальные методы* позволяют установить место

Основные методы контроля состояния высоковольтных вводов

Метод	Выявляемые дефекты	Достоинства метода	Недостатки метода
Измерение сопротивления изоляции	Увлажнение твердой изоляции, поверхностное загрязнение	Позволяет оценить абсорбционные процессы в изоляции	Необходимость отключения оборудования, наличие помех
Измерение диэлектрических потерь и емкости изоляции: а) измерение tgδ и емкости при приложенном напряжении (по зонам) б) определение зависимости tgδ и емкости от напряжения в) измерение полной (комплексной) проводимости, tgδ и емкости при рабочем напряжении г) определение зависимости tgδ от температуры	Увлажнение твердой изоляции и масла, старение масла, интенсивные частичные разряды и следы разрушения ими твердой изоляции Частичные разряды в твердой изоляции и в масле Старение масла, частичные разряды в изоляции остова и на поверхности остова, развитие теплового и тепло-ионизационного пробоя Развитие теплового пробоя, старение масла	Возможность обнаружения как общего ухудшения изоляции, так и местного (при измерении емкости) Высокая эффективность и достоверность Высокая эффективность контроля при рабочем напряжении по сравнению с пониженным напряжением Высокая эффективность и достоверность	Одинаковое изменение tgδ может быть вызвано дефектами разной природы и разной степени опасности; наличие погрешностей Необходимость отключения оборудования Низкая эффективность при развитии дефектов в масляном канале и при загрязнении поверхности остова и крышки Необходимость измерений в широком диапазоне температур
Анализ масла: а) определение физико-химических характеристик масла б) анализ газов, растворенных в масле в) анализ производных фурана, находящихся в пробе масла	Увлажнение, старение, перегревы, загрязнение масла Термическое и электрическое разрушение материалов Старение твердой изоляции	Высокая информативность, большое число выявляемых дефектов	Нецелесообразность отбора проб из герметичных вводов. Возможность загрязнения проб при отборе и транспортировке. Различия в газовой выделении масел разных марок
Измерение ЧР	Местные дефекты (включения), ухудшение характеристик масла, изменение распределения напряжения в изоляции	Возможность обнаружения и локализации дефекта на ранней стадии	Сложность исключения помех и интерпретации сигнала
Измерение давления (для герметизированных конструкций)	Интенсивные частичные разряды в масле и твердой изоляции, нарушение герметичности	Относительная простота контроля	Позволяет выявить разряды лишь на поздней стадии развития
Тепловизионное обследование	Нагревы в местах внешних и внутренних контактных соединений; образование короткозамкнутых контуров в расширителях герметичных вводов; понижение уровня масла во вводах; увлажнение верхней части остова ввода	Относительная простота контроля; наглядность полученных данных; высокая производительность; отсутствие необходимости вмешательства в рабочие режимы оборудования	Отсутствие возможности наблюдения за нижней частью ввода

(или область) дефекта. К таким методам относятся тепловизионное обследование и регистрация (локализация) частичных разрядов. Для контроля оборудования в процессе эксплуатации предпочтительно применять методы, не требующие его отключения от сети. Основные методы, их достоинства и недостатки приведены в табл. 2 [5, 9, 12].

Наиболее перспективным методом контроля изоляционной конструкции вводов на ранней стадии развития дефекта является регистрация ЧР. Этот метод обладает следующими преимуществами:

- позволяет обнаружить большинство дефектов во вводе;
- позволяет выявить дефект на первоначальной стадии (остальные методы обнаруживают только последствия разрядов — изменение диэлектрических характеристик, продукты разрушения изоляции) [11, 12];
- позволяет локализовать место дефекта в оборудовании;
- не требует вывода оборудования из работы;
- несет обширную диагностическую информацию (большое число параметров ЧР можно использовать в

диагностике (частота следования импульсов, форма частотного спектра ЧР, ширина фронта импульса и т.д.) [12].

Эффективность использования регистрации ЧР в целях диагностики высоковольтных вводов подтверждается испытаниями на действующем оборудовании. Исследования, проведенные ОАО "Электросеть-сервис ЕНЭС", указывают на высокую достоверность результатов, полученных с использованием данного метода [12, 15].

Основной проблемой при использовании метода регистрации ЧР является отсутствие нормирования разрядов в изоляции. Это связано с существенным различием сигналов разрядов различной физической природы, что не позволяет руководствоваться едиными нормами для выявления всех видов разрядов. В основном, на практике применяется только оценка по величине кажущегося заряда ЧР, что недостаточно для объективной оценки [16]. Для повышения информативности и достоверности данного метода требуется использование критериев оценки и по другим параметрам ЧР (форма частотного спектра, ширина фронта импульса и т.д.) [17]. В связи с этим дальнейшие исследования необходимо направить на установление зависимости между формой сигнала ЧР и дефектами изоляции вводов.

Список литературы

1. **Плащанский А.А.** Основы электроснабжения горных предприятий. М.: МГГУ, 2005. 499 с.
2. **Левин В.М.** Особенности эксплуатации и диагностирования силовых трансформаторов в распределительных сетях нефтепромыслов // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт, продление срока службы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Виктора Соколова / под ред. А.Г. Овсянникова, В.Н. Осотова. Екатеринбург: Автограф, 2010. 232 с.
3. **Славинский А.З., Устинов В.Н.** Диагностика и ремонт высоковольтных вводов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 30: Методические основы и практический опыт инфракрасного термографического обследования энергетического оборудования, зданий и сооружений. Современные проблемы производства, эксплуатации и ремонта трансформаторного оборудования / под ред. А.И. Таджибаева. СПб.: ПЭИПК, 2006. 444 с.
4. **Голунов А.М., Мазур А.Л.** Вспомогательное оборудование трансформаторов: М.: Энергия, 1978. 144 с.
5. **Львов М.Ю., Кутлер П.П.** Эксплуатация и диагностика высоковольтных вводов трансформаторов. Уч.-метод. пособие. 3-е стереотип. изд. М.: ИПКГосслужбы, 2005. 28 с.
6. **Бажанов С.А.** Техническое обслуживание и ремонт вводов и изоляторов высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
7. **Славинский А.З., Кассихин С.Д., Никитин Ю.В., Сипилкин К.Г., Устинов В.Н.** Новые разработки и перспективные программы ЗАО "Мосизолятор" // Методы и средства оценки состояния энергетическо-

го оборудования. Вып. 30: Методические основы и практический опыт инфракрасного термографического обследования энергетического оборудования, зданий и сооружений. Современные проблемы производства, эксплуатации и ремонта трансформаторного оборудования / под ред. А.И. Таджибаева. СПб.: ПЭИПК, 2006. 444 с.

8. **Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф.** Монтаж и эксплуатация маслонаполненных вводов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1981. 104 с. (Б-ка электромонтера: Вып. 518).

9. **Львов М.Ю.** Проблемы эксплуатации высоковольтных трансформаторных вводов / Материалы IV Междунар. конф. "Силовые трансформаторы и системы диагностики" 23–24 июня 2009 г.

10. **Кассихин С.Д., Сипилкин К.Г., Славинский А.З., Устинов В.Н., Пинталь Ю.С., Верещагин М.Б.** Оценка эффективности и целесообразности диагностики высоковольтных вводов на основе опыта эксплуатации // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт, продление срока службы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Виктора Соколова / под ред. А.Г. Овсянникова, В.Н. Осотова. Екатеринбург: Автограф, 2010. 232 с.

11. **Кучинский Г.С.** и др. Изоляция установок высокого напряжения: уч. для вузов / Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветер, Ю.С. Пинталь; под общ. ред. Г.С. Кучинского. М.: Энергоатомиздат, 1987. 368 с.

12. **Сви П.М.** Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.

13. **Белушкин М.Ю.** Моделирование и регистрация электромагнитных полей электроэнергетического оборудования высоковольтных подстанций: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Дальневосточный государственный технический университет, 2004.

14. **Зенова Е.В.** Оценка состояния изоляционных промежутков силовых трансформаторов по обобщенному индексу поляризации // Электричество. 2009. № 11.

15. **Аникеева М.А., Арбузов Р.С., Живодерников С.В., Лазарева Е.А., Овсянников А.Г., Панов М.А.** Диагностические признаки для отбраковки вводов высокого напряжения с бумажно-масляной изоляцией // ЭЛЕКТРО. 2009. № 1.

16. **Вдовико В.П.** Повышение эффективности диагностирования высоковольтного оборудования с использованием характеристик частичных разрядов // ЭЛЕКТРО. 2008. № 6.

17. **Ермаков Е.Г., Монастырский А.Е.** О проблемах применения электрического метода регистрации частичных разрядов для диагностики высоковольтных силовых трансформаторов // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт, продление срока службы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Виктора Соколова / под ред. А.Г. Овсянникова, В.Н. Осотова. Екатеринбург: Автограф, 2010. 232 с.

УДК 622.2

Г.М. Толкачев, канд. техн. наук, проф., А.С. Козлов, науч. сотр., ПНИПУ, г. Пермь

Технологии и опыт строительства скважин для решения задач комплексного освоения калийных и нефтяных месторождений

Приведены сведения о некоторых разработках кафедры "Бурение нефтяных и газовых скважин" ПНИПУ для повышения качества буровых, тампонажных и ремонтно-изоляционных работ при комплексном освоении калийных и нефтяных месторождений.

Ключевые слова: скважина, бурение, калийная соль, буровой раствор, тампонажный материал.

G.M. Tolkachev, A.S. Kozlov

Technologies and Experience of Well Construction for Deciding Tasks of Development of Oil Fields and Potash Ores

Information about some developments by department "Drilling oil and gas wells" PNRPU for increase quality of drilling, backfilling and repair-isolation works in same time with development of potash ores are reduced.

Keywords: well, drilling, potash salt, drill fluid, oil-well cement.

Нефтяные и газовые месторождения довольно часто приурочены к областям соленакопления [1–4]. Не является исключением и территория Соликамской депрессии, нефтегазоносность подсолевых отложений которой была обоснована П.А. Софроницким [5] и подтверждена при бурении первой Березниковской опорной скважины, в которой нефтепроявления наблюдались почти во всех традиционно нефтегазоносных толщах Пермского Прикамья [6, 7]. Системное же изучение нефтегазоносности подсолевых отложений Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), расположенного в центральной части Соликамской депрессии, было начато в 1971 г. Тогда в Пермском политехническом институте (ныне Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)) было выполнено технико-экономическое обоснование возможности комплексной разработки калийных и нефтяных месторождений Соликамской впадины, а в 1976 г. бурением опытной глубокой нефтяной скважины 17-ОГН было открыто Юрчукское нефтяное месторождение и установлена промышленная нефтегазоносность этой территории. В настоящее время в пределах ВКМКС по уникальной, не имеющей аналогов в мировой практике технологии, пробурено порядка 1000 глубоких скважин, разрабатываются 7 нефтяных месторождений.

При проведении буровых работ, связанных с поиском, разведкой и освоением нефтяных месторож-

дений, находящихся в подсолевых отложениях ВКМКС, к качеству строительства скважин предъявляются особые требования. Качество построенных в пределах ВКМКС нефтяных скважин определяется не только эффективностью и долговечностью самой скважины как горно-технического сооружения, но и надежностью защиты залежей калийно-магниевого солей от проникновения к ним по скважине флюидов из над- и подсолевого водоносных комплексов. Особые требования, предъявляемые к качеству строительства глубоких нефтяных скважин, обусловлены тем, что бурение их на данной территории сопряжено со вскрытием на всю толщину отложений разрабатываемых подземным способом водорастворимых минеральных солей (каменная соль, сильвинит, карналлит) и с нарушением при этом сплошности природных флюидоупоров, разделяющих в естественных условиях соляную толщу от водоносных комплексов геологического разреза.

Надежность защиты залежей калийно-магниевого солей от проникновения в них флюидов из недр через скважины (нефтяные, калиепоисковые) находится в прямой зависимости от полноты учета реальных горно-геологических и горно-технических условий залегающих и разработки соляной толщи ВКМКС, а также от правильности выбора технико-технологических средств достижения высокого качества бурения, крепления и ликвидации скважин. Особую роль в этом

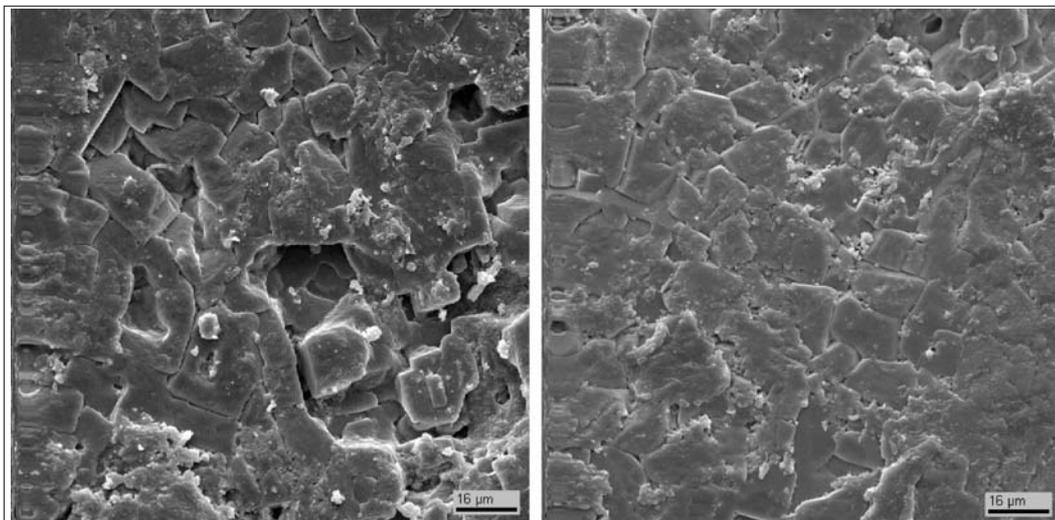


Рис. 2. Фрагменты фосфатной пленки на поверхности обсадных труб в интервале использования ХМФБР

играют обоснованно выбранные составы буровых растворов и тампонажных материалов.

В настоящее время для обеспечения высокого качества вскрытия соляной толщи ВКМКС при бурении нефтяных скважин с отбором керна по солям применяется хлормagneвиево-фосфатный буровой раствор (ХМФБР) [8], разработанный на кафедре "Бурение нефтяных и газовых скважин" ПНИПУ. Этот раствор представляет собой стабилизированную неорганическими полимерами (оксихлоридофосфатами) соленасыщенную систему, основой которой является водный раствор, насыщенный по хлориду магния (бишофиту).

ХМФБР получают обработкой насыщенного водного раствора бишофита технической ортофосфорной кислотой и каустическим магнезитовым порошком в количестве 0,80...0,85 % по массе каждого реагента к объему раствора.

Существенными отличиями ХМФБР от известных буровых растворов на основе водных растворов хлорида магния являются низкие значения и стабильность во времени показателя фильтратоотдачи, реологических и структурно-механических свойств. Это позволяет производить пополнение его исходного объема необработанным насыщенным водным раствором хлористого магния. В процессе использования ХМФБР практически не требуется дополнительной химической обработки.

Применение ХМФБР в интервалах залегания продуктивной толщи калийно-магневиево-натриевых солей позволяет обеспечить:

- получение и сохранение во времени близким к номинальному диаметра скважины в интервале залегания солей, что позволяет обеспечить в последующем высокое качество проведения в этом интервале тампонажных работ;
- получение представительного керна солей (вынос 90...100 %) различного минерального состава, включая карналлит (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки);

- предотвращение газодинамических явлений, сопровождаемых разрушением стенок ствола скважины;

- получение данных по газосодержанию соляной толщи, которые являются одним из показателей, определяющих факторы опасности развития газодинамических явлений при разработке калийной залежи подземными горными выработками;

- формирование на поверхностях бурового оборудования, бурильной и обсадной колонн, контактирующих с ХМФБР, защитной фосфатной пленки, препятствующей их коррозии (рис. 2).

Получаемый с использованием ХМФБР соляной керн не содержит следов выщелачивания и может иметь длину 3 м и более. Высокое качество керна материала позволяет изучить в минимальные сроки химический и минералогический состав солей разреза, петрографические особенности калиеносных горизонтов, вещественный состав и нерастворимые примеси, физико-механические и технологические свойства солей, а также выполнить лабораторные исследования для оценки их обогатимости.

Для восстановления сплошности флюидоупоров и обеспечения высококачественной защиты вскрытой соляной толщи в нефтяных скважинах она перекрывается технической колонной, которая цементируется специальными тампонажными составами на основе магнезиального вяжущего (цемента Сореля) – расширяющимися магнезиально-фосфатным или известняково-магнезиальным тампонажными материалами (РМФТМ и РИМТМ соответственно).

Предпочтение цементу Сореля как основе состава магнезиального тампонажного материала для цементирования обсадных колонн в нефтяных скважинах на территории ВКМКС при всех присущих ему недостатках (короткие сроки загустевания и схватывания, низкая коррозионная устойчивость в контакте с пресными и маломинерализованными водами, усадочные явления в формирующемся цементном камне) было отдано, так как он:

имея в качестве жидкости затворения высококонцентрированный водный раствор хлорида магния, не растворяет соляные породы (карналлит, сильвинит, каменную соль) в скважине;

в течение короткого времени формирует высокопрочный, практически непроницаемый цементный камень;

характеризуется повышенной адгезией к солям и другим горным породам разреза ВКМКС, а также к металлу обсадных труб.

Перечисленные выше недостатки базового магнезиального цемента устраняются путем включения в состав тампонажных композиций различных химических реагентов и добавок, направленно изменяющих свойства раствора-камня. В результате получаемые составы специальных магнезиальных тампонажных материалов РМФТМ и РИМТМ характеризуются следующими значениями показателей реологических, физико-механических и фильтрационных свойств раствора-камня:

тампонажный раствор — плотность 1760...1880 кг/м³; начальная консистенция — 0,4...0,8 Па·с, условная вязкость $УВ_{100}$ — не более 50 с; фильтратоотдача — не более 15 см³/30 мин; седиментационная стабильность — не более 60 кг/м³; время загустевания до консистенции, равной 3 Па·с, — не менее 90 мин; начало схватывания — не ранее 2 ч, конец схватывания — не позднее 10 ч;

цементный камень (через 2 сут твердения при температуре +20 °С) — увеличение объема — 0,3...0,8 %; предел прочности при изгибе — не менее 2,7 МПа; предел прочности на сдвиг относительно наружной огибающей поверхности — не менее 0,6 МПа; прочность сцепления на сдвиг: с каменной солью — не менее 0,3 МПа, со стальной трубой — не менее 0,6 МПа; градиент прорыва воды по контакту: с каменной солью — не менее 90 МПа/м, со стальной трубой — не менее 150 МПа/м; абсолютная газопроницаемость — не более 0,0004 мкм².

Использованием разработанных в ПНИПУ составов магнезиальных тампонажных материалов обеспечивается долговременная защита соляной толщи и обсадных труб в скважине от негативного воздействия флюидов недр. Высокая эффективность этих средств подтверждена многочисленными исследованиями результатов строительства скважин и состояния их крепи в контролируемых интервалах с привлечением прямых (инструментальных) и косвенных (геофизических) методов [9]. Так, по данным акустической цементометрии, проводимой в каждой бурящейся глубокой нефтяной скважине, суммарная длина плотного (сплошного) контакта цементного камня магнезиального тампонажного материала с породой и обсадными трубами цементруемой технической колонной достигает 90...100 % от общей длины интервала цементирования открытого ствола скважины. Отчасти это обеспечивается и за счет осуществления ПНИПУ работ в рамках авторского надзора, которые предполагают оптимизацию составов

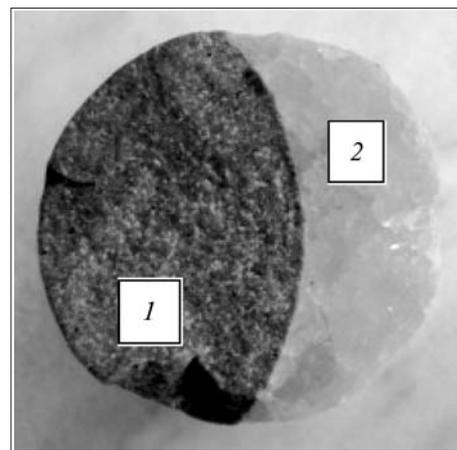


Рис. 3. Образец керна "цементный камень—каменная соль":

1 — цементный камень магнезиально-фосфатного тампонажного материала; 2 — каменная соль

тампонажных материалов индивидуально для каждой скважины и обсадной колонны, а также контроль полноты и правильности исполнения предписанных технологических мероприятий.

Применение для восстановления сплошности соляной толщи и флюидопоров оптимизированных с учетом конкретных горно-геологических, термобарических и климатических условий высококачественных специальных тампонажных материалов необходимы в пределах ВКМКС не только при строительстве глубоких нефтяных скважин, но и при выполнении работ по ликвидации поисковых и геологоразведочных скважин на калийные соли. При этом стоит отметить, что для этих целей тампонажный портландцемент непригоден, так как быстро разрушается в условиях магнезиальной агрессии, а магнезиальный тампонажный материал, содержащий только добавку-замедлитель сроков загустевания и схватывания раствора, формирует усадочный и нестойкий в контакте с пресными и маломинерализованными водами цементный камень.

Разработанные в ПНИПУ коррозионно-стойкие безусадочные магнезиально-фосфатные тампонажные материалы [10] с 1978 г. были успешно использованы при ликвидационном тампонировании поисковых и разведочных скважин на калийные соли на Непском [11] и Верхнекамском месторождениях калийных солей. Качество выполненного ликвидационного тампонирования в интервале соляной толщи оценивалось путем резки нового, наклонного ствола скважины и отбором при этом контрольных образцов "цементный камень—каменная соль" (рис. 3) длиной 1...1,5 м и в некоторых скважинах "цементный камень—карналлит".

Изучение отобранных контрольных образцов подтверждает формирование прочного, флюидонепроницаемого контакта "цементный камень—каменная соль", "цементный камень—карналлит".

Качество строительства глубоких нефтяных скважин на ВКМКС, достигнутые результаты применения разработок кафедры "Бурение нефтяных и газовых скважин" ПНИПУ при ликвидации поисковых и разведочных скважин на Непском месторождении калийных солей свидетельствуют о возможности обеспечения высокого уровня защиты соляной толщи в пересекающих ее скважинах. По нашему мнению, опыт, технологии и инновации строительства глубоких нефтяных скважин могут быть успешно использованы в калийной отрасли для повышения безопасности разработки месторождений и коэффициента извлечения ископаемого, в частности при бурении геологоразведочных скважин (получение представительного керна солей и данных по газосодержанию соляной толщи) и выполнении в них ликвидационного тампонирувания (в том числе повторного, при неэффективности ранее выполненного), при ремонтно-изоляционных работах в шахтных стволах, при сооружении гидроизолирующих перемычек в горных выработках [12, 13], а также при закладке выработанного пространства соляных выработок отверждаемым материалом.

Список литературы

1. **Жарков М.М.** О промежуточных бассейнах эпох соленакопления и парагенетической связи с соленосными сериями нефтяных и газовых месторождений // Проблемы нефтегазоносности Сибири. Новосибирск: Наука, 1971. С. 168–185.
2. **Калинко М.К.** Соленакопление, образование соляных структур и их влияние на нефтегазоносность. М.: Недра, 1973.
3. **Капченко Л.Н.** Связь нефти рассолов и соли в земной коре. Л.: Недра, 1974. 184 с.

4. **Кузнецов В.Г.** О некоторых причинных связях нефтегазоносности с соленосными бассейнами // Проблемы соленакопления. Новосибирск: Наука, 1977. Т. 2. С. 282–284.

5. **Софроницкий П.А.** К поискам нефти в Уфимско-Соликамской впадине // Геологическое строение и нефтегазоносность Пермской области и Прикамья: Тр. ВНИИГНИ. М.: Гостоптехиздат, 1960. Вып. XXXI. С. 47–59.

6. **Зуева А.С., Толкачев Г.М., Копнин В.И.** и др. Новые данные о нефтегазоносности подсолевых отложений Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология нефти и газа. 1982. № 3. С. 18–21.

7. **Толкачев Г.М., Зуева А.С., Копнин В.И., Дозорцев Р.Н.** Опыт изучения нефтегазоносности калиеносных бассейнов (на примере Верхнекамского месторождения) // Советская геология. 1981. № 12. С. 45–48.

8. **А.с. 662570 СССР МПК⁵ C09K7/04.** Буровой раствор / Г.М. Толкачев, А.М. Шилов, Л.Н. Долгих, Н.И. Киселева, Н.В. Петухова (СССР).

9. **Толкачев Г.М., Галкин В.И., Козлов А.С.** Анализ и оценка качества строительства глубоких нефтяных скважин на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 12.

10. **А.с. 840293 СССР МПК⁵ E21B 33/138.** Тампонажный раствор / Г.М. Толкачев, А.М. Шилов, Л.Н. Долгих, В.П. Болотов (СССР).

11. **Толкачев Г.М., Шилов А.С., Жилкин М.Г., Печкин А.Г.** Ликвидационное тампонирувание поисковых скважин // Разведка и охрана недр. 1983. № 9. С. 35–37.

12. **Толкачев Г.М.** К вопросу о совершенствовании конструкции и технологии сооружения гидроизолирующих перемычек в горных выработках калийных рудников // Проблемы безопасности и совершенствования горных работ: Тез. докл. Междунар. конф. Пермь, 1999. С. 214–215.

13. **Толкачев Г.М.** Некоторые вопросы обеспечения безопасности разработки месторождений калийно-магниевых солей на площадях размещения объектов нефтедобычи // Проблемы формирования и комплексного освоения месторождений солей: Тез. докл. Междунар. конф. Соликамск, 2000. С. 226–229.





24-26 апреля 2012 Россия • Москва • Крокус Экспо

16-я Международная выставка и конференция
«Горное оборудование, добыча и обогащение
руд и минералов»



www.miningworld-russia.ru

Организаторы:  

+7 (812) 380 60 16, mining@primexpo.ru, www.primexpo.ru

УДК 622.23.054.72

Н.Г. Валиев, д-р техн. наук, проф., **Ю.А. Лагунова**, д-р техн. наук, проф., **Д.И. Симисинов**, канд. техн. наук, доц., УГГУ, г. Екатеринбург, **В.С. Гарифов**, гл. конструктор, ООО НПО "Экспериментальный завод", г. Реж

E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Совершенствование конструкции и обеспечение технологичности и ремонтпригодности камнерезной машины

Поставлены задачи повышения эффективности применения разрабатываемой баровой камнерезной машины, дана оценка технологичности и ремонтпригодности, рассмотрены направления совершенствования конструкции машины.

Ключевые слова: камнерезная баровая машина, повышение эффективности, конструктивные особенности, технологические показатели.

N.G. Valiev, Yu.A. Lagunova, D.I. Simisinov, V.S. Garifov

Improvement Construction and Quaranteeing Technological and Ordinary Repairs of the Jib Rock-Cutting Machine

In the article statement the task of raising the efficiency application of stone-cutting machine and technological indices, consider ways to improve construction of the jib rock-cutting machine.

Keywords: jib rock-cutting machine, raising the efficiency, constructive features, technological indices.

В мировой практике доля камнерезных машин составляет 90 % от общего числа применяемого оборудования при добыче и обработке природного камня. Ориентация карьеров на камнерезные машины не случайна, так как совмещение работы камнерезных машин с баровым и канатно-алмазным исполнительными органами позволило добиться крупных успехов в повышении производительности и эффективности добычи блоков природного камня.

Одной из причин значительного отставания темпов роста отрасли добычи и переработки природного камня в России является неэффективная эксплуатация камнерезных машин, ведущая к повышенному расходу рабочего инструмента и, как следствие, к существенному удорожанию стоимости выпускаемой блочной продукции [1].

По условию выполнения договора № 79 от 15.07.2010 г. "Организация производства высокотехнологичного оборудования для добычи природного камня открытым способом", заключенного Уральским государственным горным университетом с ООО НПО "Экспериментальный завод" в рамках реализации Постановления Правительства России от 9 апреля 2010 г. № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных

заведений и организаций" и целевой подготовки инженеров-конструкторов для машиностроительных предприятий на базе кафедры горных машин и комплексов было организовано "Студенческое конструкторское бюро горных и нефтегазопромысловых машин и оборудования" (СКБ), которое занялось решением вопросов совершенствования рабочего оборудования и рабочих механизмов камнерезных машин. Одной из них является баровая машина.

Разрабатываемая камнерезная баровая машина предназначена для добычи каменных блоков природного камня открытым способом в карьерах как РФ, так и других регионов с различными климатическими условиями, неприхотлива в работе, позволяет работать зимой. Прочность добываемой породы на сжатие — до 150 МПа.

Разрабатываемая машина по сравнению с существующими камнерезными машинами универсальна, так как может выполнять все виды пропилов, необходимых для отделения блока от массива (вертикальные, продольные, поперечные, горизонтальные подрезные). Добычу скальных блоков можно вести как с одной, так и с несколькими одновременно работающими врубными машинами. Техническая характе-

ристка экспериментального образца приведена ниже.

Техническая характеристика баровой машины

Установленная мощность, кВт, не более	30
Глубина пропила, м, не более	3,2
Ширина пропила, мм	41 ⁺³
Угол поворота бара, °:	
в горизонтальной плоскости	180
в вертикальной плоскости	360
Скорость движения баровой цепи, м/с	До 1,3
Скорость перемещения машины, м/мин:	
рабочая	До 0,7
ускоренная	До 1,3
Масса, не более (без рельсовых путей), кг	4150
Средняя наработка на отказ II группы сложности, ч, не менее	200
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	2120
ширина	1715
высота	1950
Гарантийный срок службы, лет	1
Коэффициент готовности	0,99
Коэффициент технического использования	0,95

Применение врубных камнерезных машин в комбинации с канатной машиной упрощает схему технологического бурения и облегчает проходку горизонтального реза [2]. Кроме того, применение комплекса этих машин позволит: снизить материальные и энергетические затраты; увеличить выход товарной продукции; улучшить качество добываемого каменного сырья; сократить отходы производства; повысить производительность за счет сокращения количества технологических операций и времени добычи.

Разрабатываемая баровая машина (рис. 1, см. 4-ю стр. обложки) состоит из направляющих и каретки, на которой смонтированы основные узлы машины — приводная головка с режущим инструментом (баром), привод перемещения каретки, пульт управления с электрооборудованием, гидростанция.

Каретка — мощная стальная плита, с нижней стороны которой имеются ходовые колеса и ролики боковые, на которых каретка перемещается по направляющим. Каретка оснащена четырьмя домкратами для выставления машины в рабочее положение и инструментальным ящиком. Привод перемещения каретки обеспечивает непрерывное передвижение машины по направляющим. 3D-модель каретки приведена на рис. 2 (см. 4-ю стр. обложки).

Направляющая — сварная конструкция из двух мощных двутавровых балок, соединенных между собой поперечными связями. Направляющие стыкуются между собой за счет центрирующих конусов и стягивающих болтов. На полке одной из балок установлена рейка, благодаря которой обеспечивается перемещение машины. 3D-модель направляющей приведена на рис. 3 (см. 4-ю стр. обложки).

Головка приводная состоит из электромотора, редуктора и механизма поворота бара. Приводная головка закреплена на каретке и может поворачиваться

вместе с баром относительно нее из вертикальной плоскости в горизонтальную и наоборот, при помощи гидроцилиндра. 3D-модель привода подачи приведена на рис. 4, модель бара — на рис. 5 (см. 4-ю стр. обложки).

Механизм поворота бара включает в себя гидромотор, планетарный редуктор, 2-ступенчатый червячный редуктор, гидроцилиндр. Червячное колесо второй ступени установлено на пиноли, вращающейся в подшипниках, которые установлены в крышках корпуса приводной головки. Шпиндель, проходящий внутри пиноли, передает вращение от редуктора на приводную звездочку. На торце пиноли закреплён узел натяжки бара, к которому крепится режущий инструмент (бар). Такая конструкция обеспечивает поворот бара на 360°, т.е. позволяет выполнять вертикальные, продольные, поперечные, горизонтальные подрезные пропилы.

Для того чтобы повысить эффективность работы камнерезных машин при добыче природного камня, необходимо за счет оптимизации их конструктивных и режимных параметров и повышения технологических показателей решить следующие задачи: выявить параметры, влияющие на интенсивность износа элементов рабочего органа камнерезной машины при взаимодействии его с горной породой; установить влияние конструктивных параметров на удельную наработку рабочего инструмента; установить технологические показатели, повышающие эффективность работы камнерезных машин. Одновременно следует обеспечить высокий уровень технологичности и ремонтпригодности разрабатываемых машин.

В условиях мелкосерийного типа производства и для изготовления типовых изделий разработаны групповые технологические процессы, для которых были произведены необходимые расчеты.

Важным этапом конструкторско-технологической подготовки производства является обеспечение технологичности конструкции изделия, предусматривающее взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Обеспечение технологичности конструкции изделия наряду с отработкой самой конструкции включает ее количественную оценку.

Расчет показателей технологичности баровой машины

Оценка технологичности конструкции опытного образца баровой машины проведена расчетным методом по следующим показателям [3–5]:

— трудоемкость изготовления [3–5], согласно предварительно разработанному маршрутному технологическому процессу, ориентировочно составляет 1950 нормо-час;

— удельную материалоемкость определяем путем деления ориентировочной стоимости материальных затрат на стоимость, произведенной с их помощью, машины ($972000/2632000 = 0,37$);

Групповая классификация деталей

Класс	Группа	Количество деталей в баровой машине, шт.
Корпусные детали	Каретка	1
	Ящик	3
	Направляющая	2
	Корпус	4
	Бар	1
Круглые стержни	Коробка	3
	Поршень	4
	Вал малый	4
Диски	Вал средний	12
	Крышка	6
	Колесо зубчатое	9
Полые цилиндры	Маховик	1
	Гильза	1
	Втулка	14
Некруглые стержни	Кронштейн	7
	Тяга	5
	Рычаг	9
	Пластина	43

– технологическую себестоимость изделия вычисляем путем перемножения трудоемкости изготовления и стоимости нормо-часа ($1950 \times 75 = 146\,250$ руб.);

– коэффициент применяемости металла $K_{и}$. Предварительно, используя данные завода-изготовителя, определяем массу металла в машине путем сложения массы направляющих и массы машины без учета комплектующих, жидких и смазочных материалов ($3600 + 3000 = 6600$ кг). Коэффициент получаем путем деления массы металла в машине на массу черного металла ($K_{и} = 6600/9156 = 0,72$);

– коэффициент унификации конструкции машины вычисляем по формуле

$$K_y = (E_y + D_y) / (E + D) = (53 + 1081) / (104 + 1730) = 0,62,$$

где E_y – количество (по данным завода-изготовителя) унифицированных сборочных единиц в машине, шт.; D_y – количество унифицированных деталей, являющихся составными частями машины и не вошедших в E_y (стандартные крепежные детали не учитываются), шт.; E – количество сборочных единиц в машине, шт.; D – общее количество деталей в машине без учета стандартного крепежа, шт.;

коэффициент унификации сборочных единиц определяем по формуле

$$K_{y,d} = D_y / D = 1081/1730 = 0,63.$$

Значения $K_{и}$, K_y , $K_{y,d}$ соответствуют рекомендуемому уровню (0,6...0,7), характерному для мелкосерийного производства.

Поэлементная отработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность

Для оценки технологичности деталей машины выбраны следующие показатели [3]:

– коэффициенты унификации машины K_y , сборочных единиц (деталей) машины $K_{y,d}$, конструктивных элементов $K_{y,э}$;

– коэффициент точности K_T ;

– коэффициент шероховатости $K_{ш}$.

В конструкции машины следует достичь максимально возможного уровня стандартизации, унификации и заимствования сборочных единиц и деталей с существующими машинами.

Основными целями унификации в машиностроении являются: сокращение сроков разработки и улучшение качества, а также снижение затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию изделий.

Для анализа возможности унификация деталей и их конструктивных элементов при разработке группового технологического процесса в условиях мелкосерийного производства детали баровой машины рассмотрены в виде групп деталей машин, относящихся к пяти классам (корпусные детали, круглые стержни, полые цилиндры, диски, некруглые стержни), принятым в технологии машиностроения (табл. 1).

Степень унификации деталей и их конструктивных элементов оцениваем коэффициентом точности.

Рассчитанные значения показателей приведены в табл. 2, где $T_{ср i}$ – средний квалитет точности по группе деталей; n_i – общее количество деталей в классе; $n_{ср i}$ – среднее количество деталей, входящих в класс.

Таблица 2

Средние значения коэффициента точности обработки K_T

Класс деталей	$T_{ср i}$	n_i	$n_{ср i}$	$K_T = 1 - (1 / (T_{ср i} \times n_{ср i} / n_i))$
Корпусные детали	14	14	2,3	0,565
Круглые стержни	11	20	6,7	0,729
Диски	9	16	5,3	0,665
Полые цилиндры	8	15	7,5	0,75
Некруглые стержни	6	64	16	0,33

Коэффициент шероховатости поверхностей $K_{ш}$ определяют по ГОСТ 14.202–73 [3]. Средние значения коэффициента шероховатости для соответствующих классов деталей приведены в табл. 3.

Таблица 3

Средние значения коэффициента шероховатости поверхностей $K_{ш}$

Класс деталей	Ra	n_i	$n_{ср i}$	$K_{ш} = Ra \times n_{ср i} / n_i$
Корпусные детали	0,8	14	2,3	0,13
Круглые стержни	1,6	20	6,7	0,53
Диски	3,2	16	5,3	1,07
Полые цилиндры	6,3	15	7,5	3,15
Некруглые стержни	12,5	64	16	3,125

Проверка соответствия технологичности конструкций разрабатываемой машины требованиям ремонтпригодности

Для уменьшения потребности в техническом обслуживании (ТО) и ремонте к изделиям предъявляют следующие требования [6]:

1) использование в конструкции баровой машины составных частей с высоким уровнем показателей долговечности, безотказности и сохраняемости, обеспечивающих минимальное число их замен за срок службы изделия;

2) использование составных частей, не требующих совсем или требующих минимального количества операций ТО и ремонта, позволяющих уменьшить: номенклатуру видов ТО и ремонта; число операций ТО и ремонта; число точек обслуживания; номенклатуру смазочных материалов; принятие мер, предупреждающих или уменьшающих коррозию составных частей в процессе эксплуатации (в соответствии с требованиями единой системы защиты от коррозии), их эрозийное разрушение и т.д.

При обработке изделий и их составных частей на ремонтпригодность необходимо учитывать [7–9]: контролепригодность; доступность; легкосъемность;

взаимозаменяемость; стандартизацию и унификацию составных частей изделий и инструмента; восстанавливаемость составных частей; преемственность технологических процессов ТО и ремонта изделий; эргономические характеристики изделий; безопасность выполнения ТО и ремонта.

Для оценки приспособленности разрабатываемой баровой машины к диагностированию используем коэффициент безразборного диагностирования [8] – отношение числа контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования, для измерения которых не требуются монтажно-демонтажные работы, к общему числу контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования:

$$K_{б.д} = P_k / P_n,$$

где P_k – число контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования, для измерения которых не требуются монтажно-демонтажные работы; P_n – общее число контролируемых параметров данного вида диагностирования.

Для расчета показателей составляют ведомость расчета коэффициента безразборного диагностирования (табл. 4). В таблицу включены основные узлы ма-

Таблица 4

Ведомость расчета коэффициента безразборного диагностирования

Наименование изделия и его составных частей	Число контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования, для измерения которых не требуются монтажно-демонтажные работы P_k	Общее число контролируемых параметров изделия данного вида диагностирования P_n	Коэффициент безразборного диагностирования $K_{б.д}$
Станина	4	4	1
Головка приводная	4	8	0,5
Гидростанция	6	10	0,6
Привод подачи	4	9	0,44
Направляющие	4	4	1
Бар	4	5	0,8

Таблица 5

Ведомость расчета показателей ремонтпригодности

Показатель	Определение и расчет	Обозначение	Значение показателя
Средняя оперативная трудоемкость операций технического обслуживания, ч	Математическое ожидание оперативной трудоемкости выполнения операций технического обслуживания Расчет по ГОСТ 22952–78	$T_{т.о}$	8
Коэффициент доступности	Определение по ГОСТ 21623–76 Расчет по ГОСТ 22952–78	K_d По ГОСТ 22952–78	0,75
Коэффициент взаимозаменяемости	То же	$K_{вз}$ По ГОСТ 22952–78	0,24*
Коэффициент легкосъемности	–"–	$K_{лс}$ По ГОСТ 22952–78	0,5
Коэффициент унификации	Определение по ГОСТ 18831–73	K_y По ГОСТ 18831–73	0,21

* При расчетах двигатель не рассматривался.

шин, за исключением унифицированных. Рассчитанные значения коэффициентов безразборного диагностирования находятся в диапазоне 0,5...0,8, соответствующем для общего машиностроения. Таким образом, конструкция разрабатываемой машины может быть рекомендована для эксплуатации по критерию контролепригодности.

Рассчитанные значения показателей ремонтпригодности (табл. 5) находятся в диапазонах, соответствующих горному машиностроению. Таким образом, конструкция разрабатываемой машины может быть рекомендована для эксплуатации по критерию ремонтпригодности.

Выводы

1. Значения показателей технологичности большинства деталей соответствуют рекомендуемому уровню, характерному для мелкосерийного производства. Детали, имеющие значения выше установленных средних значений показателей технологичности, следует конструктивно доработать.

2. Для разрабатываемых машин применена групповая классификация деталей, выявлено пять классов и 18 групп деталей, что позволило уменьшить трудоемкость разработки технологических процессов.

3. Рассчитанные значения показателей ремонтпригодности находятся в диапазонах, соответствующих горному машиностроению. Таким образом, конструкция разрабатываемой машины может быть рекомендована для эксплуатации по критерию ремонтпригодности.

4. Применение 3D-моделирования на основе системы твердотельного трехмерного моделирования "Компас" при конструировании деталей и сборки узлов и изделий показало эффективность использования этого метода проектирования на стадии технического проекта, конструкторско-технологической подготовки производства. Выявление множества ошибок в конструкциях деталей и сборок позволило на ранних стадиях проектирования устранить принципиальные ошибки и сократить этапы подготовки производства.

5. Исследования, направленные на выявление закономерностей взаимосвязей, силовых и скоростных режимов резания с конструктивными параметрами, позволят методологически обосновать принципы и направления модернизации камнерезных машин для повышения их надежности, работоспособности, оптимизировать оптимальные режимы эксплуатации в целях эффективного ведения работ по добыче и обработке природного камня.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации Постановления Правительства России от 9 апреля 2010 г. № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций".

Список литературы

1. **Валиев Н.Г., Гармс А.Я., Бычков Г.В.** Повышение эффективности баровых и алмазно-канатных камнерезных машин для добычи природного камня открытым способом // Известия вузов. Горный журнал. 2010. № 8. С. 13–17.

2. **Лагунова Ю.А., Бубнов А.М., Бубнов С.М.** Совершенствование рабочих механизмов камнерезной машины // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 5. С. 40–44.

3. **Единая система технологической подготовки производства: Правила обеспечения технологичности конструкции изделий.** ГОСТ 14.202–73–ГОСТ 14.204–73. М.: Изд-во стандартов, 1974.

4. **ГОСТ 23945.0–80** Унификация изделий. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 1980.

5. **ГОСТ 14.201–83** Обеспечение технологичности конструкции изделия изделий. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1983.

6. **ГОСТ 19152–80** Ремонтпригодность. М.: Изд-во стандартов, 1980.

7. **ГОСТ 23660–79** Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий. М.: Изд-во стандартов, 1979.

8. **ГОСТ 23146–78** Выбор и задание показателей ремонтпригодности. М.: Изд-во стандартов, 1978.

9. **ГОСТ 26656–85** Контролепригодность. М.: Изд-во стандартов, 1985.

Вниманию читателей!

В январском номере журнала публикуются статьи:

Линник В.Ю. Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы отечественных и зарубежных очистных комплексов

Кириченко А.И., Дзержинский В.А., Картавый А.Н. Мощный крутонаклонный транспортный агрегат для карьера "Мурунтау" Навоийского ГМК

Немцов М.В., Трифанов Г.Д. К вопросу о метрологическом обеспечении магнитной дефектоскопии стальных канатов

Шешко Е.Е., Терехов С.А. Обоснование формы роликотпоры крутонаклонного конвейера с прижимной лентой для горных предприятий

В.Г. Островский, асп., ПНИПУ, **С.Н. Пещеренко**, д-р физ.-мат. наук, нач. инж.-техн. центра, ЗАО "Новомет-Пермь", г. Пермь, **А.Л. Каплан**, гл. инж., ОАО "Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз", г. Ноябрьск

E-mail: ostrov_13@mail.ru

Методика моделирования гидроабразивного износа ступеней нефтяных насосов

Приведена методика ускоренного моделирования гидроабразивного износа погружных насосов, проанализированы основные факторы, влияющие на скорость износа, описаны типичные виды разрушения при гидроабразивном износе.

Ключевые слова: электроцентробежный насос, гидроабразивный износ, стенд, напор насоса, ресурс.

V.G. Ostrovskiy, S.N. Pescherenko, A.L. Kaplan

Method of Hydro-Abrasive Wear Simulation of Centrifugal Pump Stages

In this article an accelerated method of hydro-abrasive wear simulation of submersible pumps is described, factors that influence the rate of wear are analyzed, the typical types of damage in hydro-abrasive wear are described.

Keywords: centrifugal pump, hydro-abrasive wear, test bench, head of pump, operating life.

Одной из важных проблем, возникающих при эксплуатации погружных нефтяных насосов, является проблема гидроабразивного износа проточных частей ступеней. Данная проблема особенно остро проявляется при высоком содержании механических примесей в добываемой жидкости и ее коррозионной активности.

В рабочих колесах ступеней, как правило, разрушается верхний диск в месте поворота потока с осевого направления на радиальное. В направляющих аппаратах, в первую очередь, разрушается стакан в зоне под рабочим колесом, а также верхняя часть стакана около входа потока в следующий направляющий аппарат. Во всех случаях возможно появление сквозных отверстий (рис. 1). Эта проблема обычно проявляется при достаточно длительной работе насоса (100 сут и более). Также разрушаются межступенчатые уплотнения, что приводит к падению напора, развиваемого

насосом. При стендовых исследованиях сравнительно легко смоделировать износ межступенчатых уплотнений и достаточно сложно — износ в зонах 1 и 2 (рис. 2).

Для изучения механизма износа ступеней и модернизации их конструкции необходима ускоренная методика стендовых испытаний, разработка которой и стала целью данной работы.

В первую очередь были проанализированы факторы, влияющие на скорость гидроабразивного износа $\frac{dL}{dt}$ [1, 2]:

$$\frac{dL}{dt} = f(C, R, \rho, \frac{H_{\text{пр}}}{H_{\text{дет}}}, K, F, \omega^3),$$

где ω — частота вращения вала насоса; R — размер абразивных частиц; ρ — плотность примесей; $H_{\text{дет}}$ — твердость детали; $H_{\text{пр}}$ — твердость абразивных частиц; C — концентрация абразивных частиц в растворе; K — коррозионный фактор; F — сила прижатия частиц к поверхности проточного канала.

В ходе разработки методики испытаний для ускорения гидроабразивного износа воздействие перечисленных факторов последовательно варьировалось. Максимальная концентрация абразивных примесей для всех экспери-

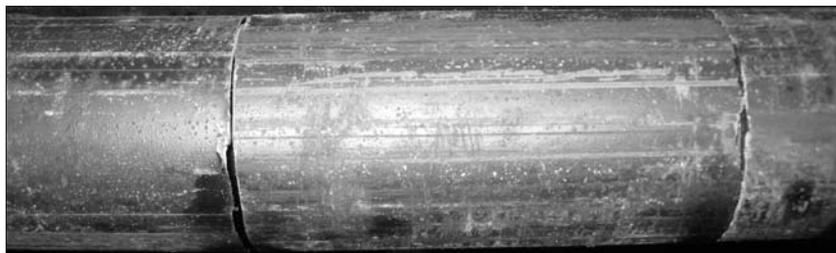


Рис. 1. Сквозное отверстие в корпусе насоса, вызванное гидроабразивным износом направляющего аппарата (в зоне концентрации абразивных примесей)

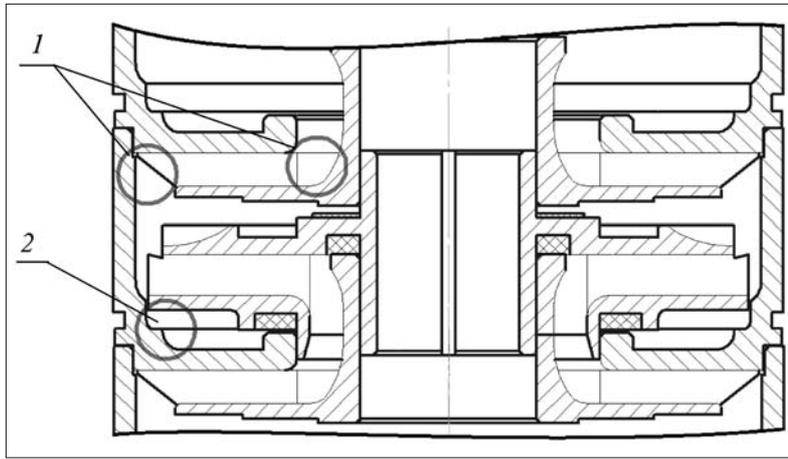


Рис. 2. Части проточного канала ступени, наиболее подверженные гидроабразивному разрушению:
1 – зона поворота потока; 2 – зона повышенной концентрации абразивных примесей

ментов задана 1 % по массе (при больших концентрациях наблюдается выпадение осадка песка в трубопроводах, при этом известна линейная зависимость гидроабразивного износа от концентрации механических примесей [1, 2]).

Влияние плотности, размера и твердости абразивных частиц

Испытания проводились на насосах из 6 ступеней при частоте вращения $\omega = 2910 \text{ мин}^{-1}$. Перекачиваемая жидкость – водопроводная вода.

В качестве абразивного материала были взяты: кварцевый песок ($\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$, $R = 0,5...1,0 \text{ мм}$, $H_{\text{песка}} \sim 65 \text{ HRC}$);

осколочный релит ($\rho = 15\,800 \text{ кг/м}^3$, $R = 1,0...2,0 \text{ мм}$, $H_{\text{релита}} \sim 90 \text{ HRC}$).

Время испытаний составило порядка 20 ч. При этом гидроабразивного износа проточной части ступеней не наблюдалось. В первую очередь разрушались осевые и радиальные подшипники ступеней, что приводило к отказу насоса. При использовании осколочного релита процесс разрушения подшипников происходил быстрее (порядка 5 ч). Таким образом, при помощи увеличения твердости и плотности абразивных примесей существенного результата в моделировании гидроабразивного износа достигнуто не было.

Другим способом увеличения относительной твердости абразивных частиц в сравнении с материалом детали стала замена материала деталей на полиамид.

В качестве экспериментальных образцов взяты направляющие аппараты ступени нефтяного центробежного погружного насоса, изготовленные из полиамида методом лазерного прототипирования. Полиамидные детали после изготовления данным методом получают достаточно пористыми, поэтому для устранения пористости они пропитываются парафином. После пропитки на поверхности деталей остается тонкий слой парафина. Рабочие колеса для эксперимента бы-

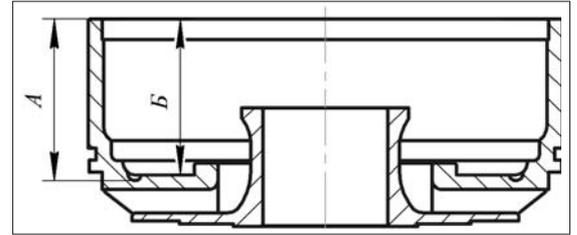


Рис. 3. Зона максимального гидроабразивного износа направляющего аппарата

ли изготовлены из металла, чтобы не допустить нагрева вследствие повышенного коэффициента трения, что может вызвать плавление направляющих аппаратов. Использовался абразивный материал в виде частиц кварцевого песка размером 0,5...1,0 мм. Концентрация песка в растворе – 1 % по массе (при больших концентрациях наблюдается осаждение песка в трубопроводах стенда). Время работы насоса в абразивном растворе – 2 ч, после этого насос останавливался и разбирался.

Для оценки гидроабразивного износа измерялась глубина канавки в пазухе под рабочим колесом (износ в зоне концентрации механических примесей). Она определяется как разность между размерами A и B (рис. 3).

По меньшему радиусу, соответствующему размеру B , гидроабразивный износ не развивается по той причине, что абразивные частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стакану направляющего аппарата (в зону с размером A). В полиамидных направляющих аппаратах разница между средними значениями размеров A и B составила 0,148 мм за 2 ч испытаний.

Косвенно наличие гидроабразивного износа можно определить по характеру поверхности полиамидной детали после испытаний. Места интенсивного гидроабразивного износа в направляющем аппарате были отполированы абразивными частицами. Зоны проточного канала с низкими скоростями потока остались шероховатыми (рис. 4).

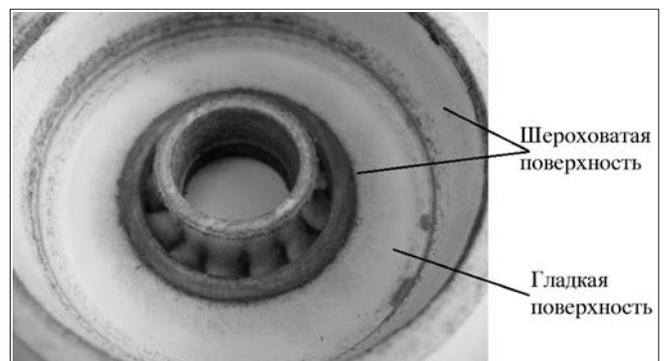


Рис. 4. Внутренняя поверхность направляющего аппарата из полиамида после гидроабразивных испытаний

В ходе данного эксперимента получена приближенная модель развития гидроабразивного износа в проточных полостях ступени насоса. Характер разрушения не полностью соответствует разрушению деталей при промышленной работе насоса (не проявился износ в нескольких характерных зонах). После 2 ч испытание было остановлено по причине значительного износа осевых и радиальных подшипников и межступенчатых уплотнений ступени.

Влияние коррозионного фактора на гидроабразивный износ насоса

Наличие коррозионных веществ в жидкости многократно ускоряет процесс гидроабразивного разрушения [1], так как при химическом взаимодействии металла насоса с агрессивной средой на поверхности деталей образуются непрочные пленки, которые смываются потоком с абразивными частицами.

Был проведен эксперимент по аналогии с исследованиями Н.И. Смирнова [4]. Испытания проведены на вертикальном стенде в коррозионно-абразивной среде. Использована одна из распространенных схем стенда [3, с. 59].

В качестве перекачиваемой насосом среды стенд позволяет использовать воду с механическими включениями или раствор HCl в воде (до 3 %) с механическими включениями (до 4 % от массы раствора).

На рис. 5 представлено развитие повреждения стакана направляющего аппарата во времени. Характер образования подобных разрушений отличается от проявлений гидроабразивного износа в промышленной эксплуатации. В частности, характерной зоной разрушений при эксплуатации является часть стакана направляющего аппарата, расположенная в боковой пазухе под нижним диском рабочего колеса (см. рис. 2, зона 2); при испытании в коррозионно-абразивной среде в первую очередь разрушается стакан направляющего аппарата в месте, где поток на выходе рабочего колеса ударяется в стакан направляющего аппарата (рис. 6). Эта зона находится выше нижнего диска рабочего колеса. При работе насоса в скважинных условиях подобный износ наблюдается достаточно редко.

При испытании ступеней насоса с направляющими аппаратами из опытного материала с легированием 4 % хрома получен устойчивый износ аппарата в зоне под рабочим колесом (рис. 7), однако такой из-

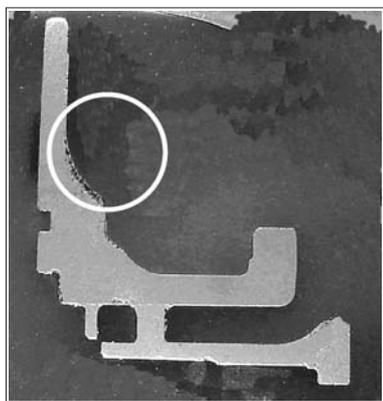


Рис. 6. Поперечный разрез направляющего аппарата после испытаний в коррозионно-абразивной среде (окружностью выделено место коррозионного поражения)

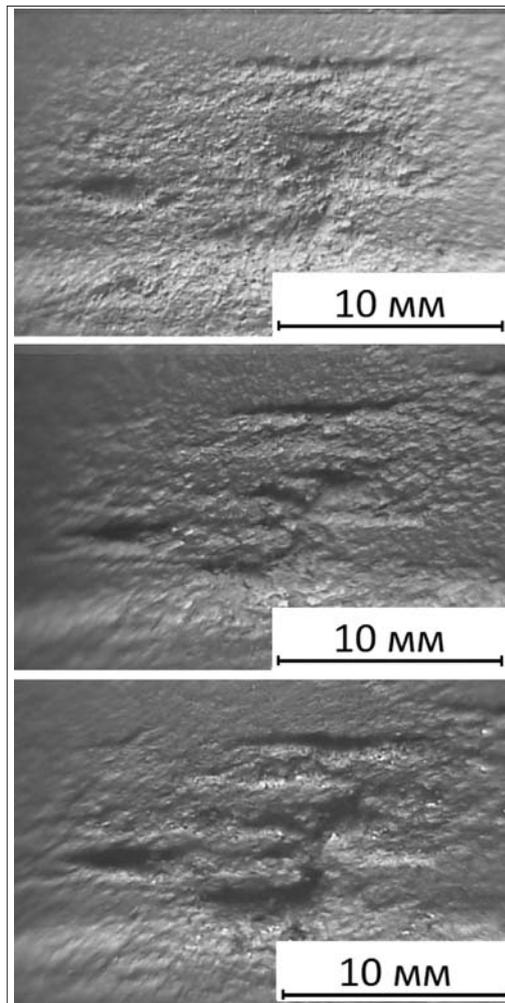


Рис. 5. Стакан направляющего аппарата после 12, 16, 20 ч испытаний соответственно (сверху вниз)



Рис. 7. Канавка после испытаний на верхнем диске направляющего аппарата из опытного низколегированного материала (рамкой выделен участок канавки)

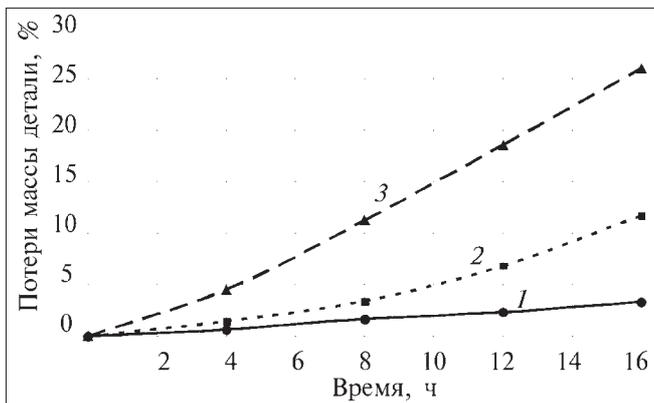


Рис. 8. Изменение массы направляющих аппаратов во времени: 1 – высоколегированная порошковая сталь; 2 – низколегированная порошковая сталь; 3 – порошковый железграфитовый композит, пропитанный медью

нос отсутствует на серийных направляющих аппаратах из нелегированного материала ЖГР1Д15. Данный механизм износа в агрессивной среде, в отличие от гидроабразивного, можно назвать коррозионно-абразивным, так как основной вклад в разрушение вносит коррозия.

Для количественной оценки коррозионно-абразивного износа направляющих аппаратов проводится сравнение относительного изменения массы во времени, составляется график изменения массы направляющих аппаратов во времени. По оси ординат откладывается время испытаний, по оси абсцисс – относительное изменение массы направляющего аппарата L_i :

$$L_i = \frac{M_{исх}}{M_i},$$

где M_i – масса направляющего аппарата по прошествии i -го промежутка времени; $M_{исх}$ – масса направляющего аппарата до испытания.

На рис. 8 приведен график сравнительных испытаний направляющих аппаратов из трех различных материалов.

При методике коррозионно-абразивных испытаний в направляющих аппаратах нефтяных насосов, выполненных из нелегированных материалов, за 20...28 ч образуются сквозные отверстия, которые приводят к отказу насоса.

Данная методика позволяет оценить коррозионные свойства материалов при перекачке жидкости, осложненной механическими примесями, но не позволяет моделировать гидроабразивный износ ступеней погружного насоса, так как характер разрушения поверхности детали получается преимущественно коррозионный, что не соответствует промышленным данным – коррозионное разрушение деталей происходит практически по всей поверхности. При скважинных условиях разрушение происходит избирательно, в зонах поворота потока, либо повышенной концентрации механических примесей.

Влияние частоты вращения вала

На основании изложенных выше экспериментов выявлено, что для ускоренного моделирования гидроабразивного износа необходимо увеличивать не только плотность, твердость и размер абразивных частиц, но и абразивное воздействие за счет увеличения частоты вращения вала испытуемого насоса. Для этих целей разработан специальный стенд, позволяющий испытывать насосные секции в абразивной среде при повышенной частоте вращения.

Концентрация кварцевого песка, принятая для испытаний, – 1 % по массе. Используется смесь крупного (0,5...1,0 мм) и мелкого (0,02...0,03 мм) песка в соотношении 1:1. Испытание проводится часовыми циклами. После каждого цикла полностью меняется рабочий раствор в целях восстановления абразивных свойств кварцевого песка, который разрушается в процессе испытания. Частота насоса варьировалась от рабочей 2910 до 6000 мин⁻¹.

Для оценки работоспособности насоса проводили измерение его гидродинамических характеристик перед испытанием, в процессе испытаний (после каждого цикла) и в конце абразивных испытаний.

До и после завершения испытаний насос разбирали и проводили измерение геометрических размеров ступеней, на основании этих данных вычисляли износ.

В качестве примера приведены результаты испытания насосной секции ВНН5А-100. Испытание проводили на насосных секциях пакетного исполнения при трех частотах вращения: 3000, 4500 и 6000 мин⁻¹. У каждого пакета индивидуальная осевая опора, воспринимающая осевую нагрузку от всех рабочих колес пакета. Ступени выполнены методами порошковой металлургии из высоколегированной порошковой стали.

На рис. 9 приведены значения напора на одну ступень секции, измеренного в течение испытаний при различных частотах.

Секции ВНН5А-100 при частотах 3000 и 4500 мин⁻¹ испытывались в течение 10 ч. Время испытания секции ВНН5А-100 при частоте 6000 мин⁻¹ со-

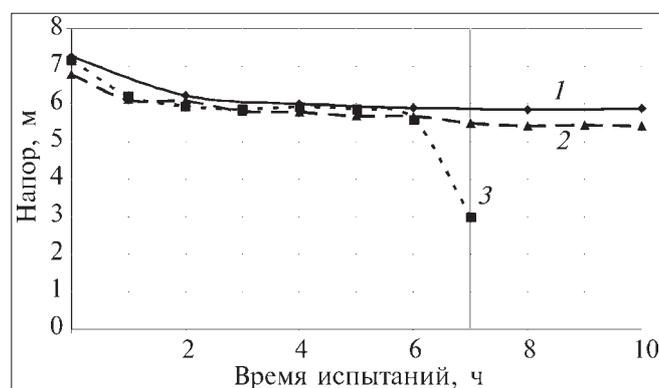


Рис. 9. Изменение напора секций при номинальной подаче за время абразивных испытаний при частоте вращения: 1 – 3000 мин⁻¹; 2 – 4500 мин⁻¹; 3 – 6000 мин⁻¹

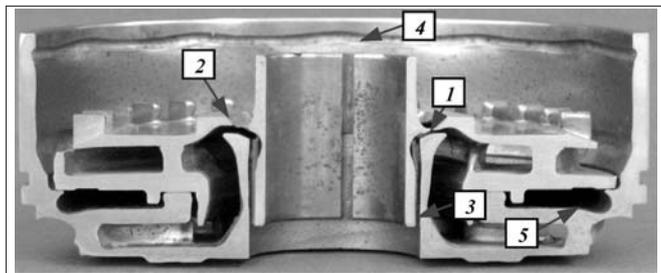


Рис. 10. Размытие ступени ВНН5А-100 после 7 ч абразивных испытаний при частоте вращения 6000 мин^{-1}

ставило 7 ч, после чего наступил отказ секции по причине падения развиваемого напора.

На рис. 10 указано расположение областей износа: в межступенчатом уплотнении – 1, 2;

в зонах поворота потока – 3, 4;

в пазухе под рабочим колесом – 5.

Падение напора обусловлено гидроабразивным износом уплотнений ступени в областях 1 и 2.

При сравнении расположения зон износа испытанных направляющих аппаратов и изношенных при эксплуатации выявлено соответствие расположения зон гидроабразивного износа. При испытании ступеней по приведенным выше методикам без увеличения частоты вращения вала насоса картина износа не соответствовала эксплуатационной. Следовательно, увеличение частоты вращения секции ускоряет процесс гидроабразивного износа, не меняя его механизма.

Выводы

В ходе данной работы разработана методика ускоренных гидроабразивных испытаний многоступенчатых насосов. Доказано, что на испытательном стенде можно в короткие сроки моделировать процесс гидроабразивного разрушения насосов, происходящий в скважинах в течение нескольких лет.

Основным условием проведения ускоренных гидроабразивных испытаний является повышенная частота вращения вала насоса. Моделируется как разрушение уплотнений ступени, так и гидроабразивный износ зон поворота потока и повышенной концентрации механических примесей. Параметры остальных факторов (плотность и твердость абразивных частиц, их размер и концентрацию) необходимо выбирать максимально возможными для используемого стенда. При этом время испытания сравнительно небольшое, порядка 5 ч.

При сопоставлении скорости гидроабразивного разрушения элементов насоса на стенде и их конструкционной надежностью при эксплуатации в определенных условиях можно оценить конструкционную надежность проектируемых насосов в краткие сроки.

Список литературы

1. Gulich J.F. Centrifugal Pumps, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 2010. 964 с.
2. Фомин В.В. Гидроэрозия металлов. М.: Машиностроение, 1977. 287 с.
3. Яременко О.В. Испытания насосов: справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976. 225 с.
4. Смирнов Н.И. Научные подходы к повышению надежности УЭЦН // Инженерная практика. 2010. № 2. 5 с.

**8-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ -
ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ**

23 – 25 мая '2012
Москва Павильон
ВВЦ №57

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ

MetrolExpo 20 мая - Всемирный день метрологии

PromSafety

ResMetering

MedTest

**4-й СИМПОЗИУМ
«ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО.
БЕЗОПАСНОСТЬ»**

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА
Москва, Технопарк ВВЦ, ул. Олонская, 35, стр. 182,
Тел/Факс: +7 (495) 937-40-23
E-mail: metrol@expoprom.ru, www.metrol.expoprom.ru

ОРГАНИЗАТОР
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

СОДЕЙСТВИЕ
Аппарат Правительства Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ
Центр международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в РФ
The International Bureau of Weights and Measures (BIPM)
International Organization of Legal Metrology (OIML)
The European Association of National Metrology Institutes (EURAMET)
The International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)

С УЧАСТИЕМ
Минпромторг России, Минэнерго России, Минздравсоцразвития России, Минобороны России, Минобрнауки России, Ростехнадзор, Роскосмос, «Роснано», «Росатом», «Ростехнологии», ОАО «РЖД», ОАО «ОАК», ОАО «Газпром», ОАО «Роснефть», ОАО «ОСК», Российские металлургические группы, ОАО «КАМАЗ», ОАО «АВТОВАЗ», Российский союз химиков, НП «Росхимреактив», Ассоциация аналитических центров «Аналитика», региональные ЦСМ и метрологические институты

ЭКСПЕРТНАЯ КОМИССИЯ
ФГУ «Ростест - Москва», 32 ГНИИ Минобороны России

ПРОГРАММА ФОРУМА
8-ая Международная выставка-конкурс средств измерений, испытательного и лабораторного оборудования «**METROEXPO-2012**»
Специализированная выставка средств обеспечения безаварийной работы промышленных объектов «**PROMSAFETY-2012**»
Специализированная выставка коммерческого и технологического учета энергоресурсов «**RESMETERING-2012**»
2-ая Специализированная выставка СИ для медицинской техники и средств её поверки, контроля и испытаний «**MEDTEST-2012**»
4-й Московский Международный симпозиум «**ТОЧНОСТЬ. КАЧЕСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ**»
Всероссийская выставочно-конкурсная программа «**ЗА ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ**»

УСТРОИТЕЛЬ И ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР
Компания «Вэстстрой Экспо»

УДК 622.271

А.К. Муравский, мл. науч. сотр., ПНИПУ, г. Пермь

E-mail: mak2000mak@yandex.ru

Определение эффективности работы зубьев ковша активного действия

Рассмотрен ковш активного действия и отражены зависимости перемещений ковша и зуба во времени. Приведены уравнения для определения коэффициента эффективности отдельного зуба и группы зубьев.

Ключевые слова: экскаватор, ковш, зуб, порода, эффективность.

A.K. Muravskiy

Definition of Effective Work of Teeths of Excavator Bucket Active Type

In work the description of excavator bucket active type and dependences of movings of a excavator bucket and tooth in time are reflected. Calculation of effectiveness ratio of tooth and group of teeths.

Keywords: excavator, bucket, teeth, rock, efficiency.

Использование ковша активного действия в качестве рабочего органа выемочно-погрузочной машины позволяет существенным образом расширить область применения горной техники. Активные зубья ковша способны создавать высокие локальные динамические усилия в массиве. Направленное динамическое усилие большой величины за сравнительно малый промежуток времени способно произвести разрушение породы и (или) вызвать разупрочнение основного массива.

Широкие исследования проведены в области разработки пород и грунтов рабочими органами, оснащенными ударными и вибрационными зубьями [1–3].

При ударе происходит импульсное воздействие на массив рабочего органа. К достоинствам рабочих органов ударного действия можно отнести высокую эффективность разрушения хрупких пород. Однако при практическом использовании таких рабочих органов возникают значительные трудности, связанные с технологической сложностью, низкой надежностью, большой массой и дороговизной ударного механизма.

Рабочие органы вибрационного воздействия на массив обладают, по сравнению с рабочими органами ударного действия, более простой конструкцией, большей долговечностью и надежностью, компактностью, технологичностью в изготовлении и ремонте, простотой эксплуатации и меньшей стоимостью изделия. Это связано с отсутствием большого числа подвижных деталей и узлов, меньшей мате-

риалоемкостью изделия, более низкими пиковыми нагрузками.

Отличительной особенностью вибрационного органа является периодическое возвратно-поступательное движение зуба, в результате чего производится процесс разрушения массива. Как правило, при вибрационном воздействии на массив движение рабочего инструмента происходит по синусоидальному закону [4].

Близкими к вибрационным рабочим органам, по характеру воздействия на массив, можно считать рабочие органы активного типа с периодическими возвратно-поступательными движениями зубьев, отличными от синусоидальных. Такое движение зуба может быть получено, например, при использовании кулачковых приводов, либо гидравлических распределительных устройств золотникового типа [5, 6].

Рассмотрим случай, когда ковш активного действия оснащен зубьями, способными совершать периодические возвратно-поступательные движения за время цикла T . Положение зуба при его движении в одной плоскости с ковшом в момент времени t определяется координатой x . Координата x складывается из координаты x_1 возвратно-поступательного движения зуба относительно ковша и координаты x_k поступательного движения ковша.

Нами сделаны следующие допущения: перемещение ковша происходит равномерно с постоянной ско-

ростью $v_k = \frac{x_k}{t}$; перемещение зуба при внедрении в породу за время работы зуба t_i происходит равномерно с постоянной скоростью $v_i = \frac{x_i}{t_i}$; перемещение зуба при обратном ходе происходит мгновенно.

За время цикла T зуб, в результате возвратно-поступательных движений, совершает внедрение в породу и ее разрушение за время контакта зуба с породой $t_{акт}$. Время $t_{акт}$ характеризует продолжительность резания зубом породы за один цикл T . В зависимости от ряда факторов, например, скоростей v_i и v_k , за время $t_{акт}$ зуб может совершать резание породы при поступательном движении зуба ($v_i \neq 0$) или за счет статического усилия резания зубом в результате движения ковша ($v_i = 0$).

Рассмотрим два варианта (рис. 1): I – $t_{акт} > t_i$ и II – $t_{акт} < t_i$. При прочих равных условия в варианте I скорость зуба меньше, чем в варианте II, что характеризуется меньшим значением величины координаты x_i при времени t_i . В варианте I время $t_{акт} = BD$ (см. рис. 1, *в*). Разрушение породы зубом за время цикла T (отрезок AD) происходит как за время работы зуба t_i (отрезок CD), так и за счет статического усилия резания зубом в результате движения ковша (отрезок BC). В варианте II время $t_{акт} = CD$ (см. рис. 1, *е*). Видно, что разрушение породы зубом за время цикла T (отрезок AD) происходит за время, меньшее времени работы зуба t_i (отрезок BD), что приводит к исключению статического усилия резания зубом в результате движения ковша.

Таким образом, для варианта I мы видим, что $t_{акт} = BC + CD = BD$, а время $t_{акт} > t_i$. Для варианта II соответственно $t_{акт} = CD$, время $t_{акт} < t_i$.

Рассмотрим случай когда $t_{акт} = t_i$, являющийся переходным между описанными выше процессами (рис. 2). За время цикла T ковш перемещается на величину x_k , а зуб – на величину x_i ; за время $t_{акт} = t_i$ ковш перемещается на величину x_{ki} .

Таким образом,

$$x_k = x_{ki} + x_i. \quad (1)$$

Умножим и одновременно разделим левую часть выражения (1) на T , а правую на t_i :

$$x_k \frac{T}{T} = (x_{ki} + x_i) \frac{t_i}{t_i}. \quad (2)$$

Учитывая, что $v_k = \frac{x_k}{T}$, $v_{ki} = \frac{x_{ki}}{t_i}$, $v_i = \frac{x_i}{t_i}$, запишем

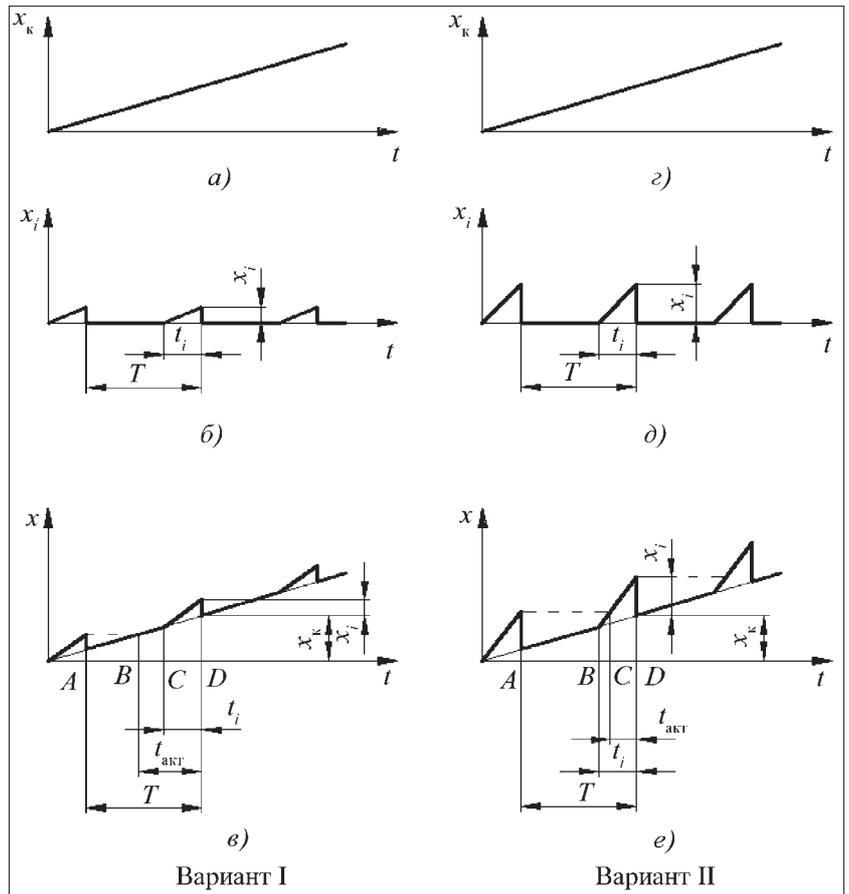


Рис. 1. Зависимости перемещений координат ковша и зуба во времени t для варианта I ($t_{акт} > t_i$) и варианта II ($t_{акт} < t_i$): а, а – зависимость координаты x_k поступательного движения ковша от времени t ; б, б – зависимость координаты x_i возвратно-поступательного движения зуба относительно ковша от времени t ; в, в – зависимость координаты x положения зуба от времени t

$$v_k T = (v_{ki} + v_i) t_i. \quad (3)$$

Выполнив математические преобразования выражения (3), получим условие, являющееся переходным между вариантами I и II

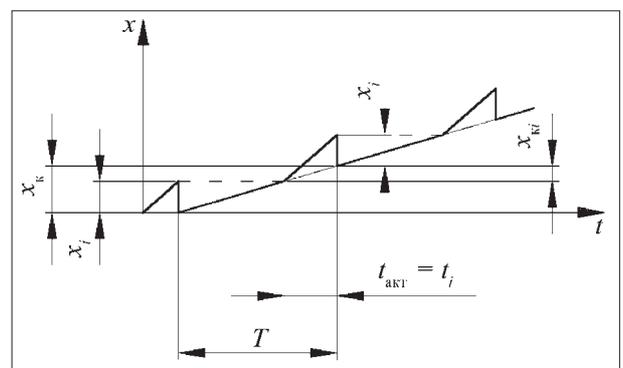


Рис. 2. Зависимости перемещений координат ковша и зуба во времени t при $t_{акт} = t_i$

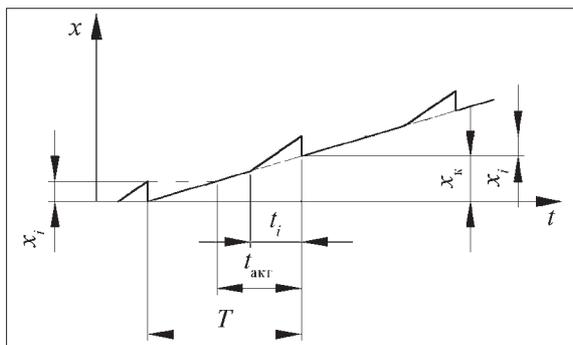


Рис. 3. Зависимости перемещений ковш и зуба во времени t при $t_{\text{акт}} \geq t_i$

$$\frac{T}{t_i} - \frac{v_i}{v_k} = 1. \quad (4)$$

При условии

$$\frac{T}{t_i} - \frac{v_i}{v_k} > 1 \quad (5)$$

внедрение зуба в породу происходит как за время работы зуба t_i , так и за счет статического усилия резания зубом в результате движения ковша, что представляет вариант I.

При условии

$$\frac{T}{t_i} - \frac{v_i}{v_k} < 1 \quad (6)$$

внедрение зуба в породу происходит исключительно за время работы зуба t_i , что характеризует вариант II.

В качестве критерия эффективности работы зуба предлагается использовать коэффициент эффективности активных рабочих органов, предложенный С.Б. Польским [4]

$$K_3 = \frac{T}{t_{\text{акт}}}. \quad (7)$$

Коэффициент эффективности позволяет вычислить, на основании условия равенства импульсов сил, среднюю силу тяги F_T исходя из силы R сопротивления породы разрушению активным рабочим органом

$$F_T = \frac{R}{K_3}. \quad (8)$$

Определим коэффициент эффективности зуба K_3 для варианта I. Из рис. 3 следует, что за время $t_{\text{акт}}$ ковш переместится на величину $x_k - x_i$. Следовательно, скорость ковша

$$v_k = \frac{x_k - x_i}{t_{\text{акт}}}. \quad (9)$$

Соответственно,

$$t_{\text{акт}} = \frac{x_k - x_i}{v_k}. \quad (10)$$

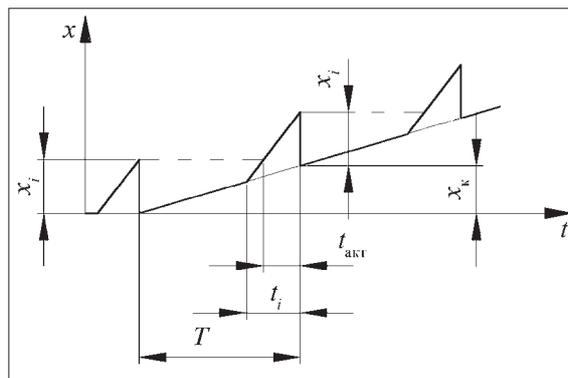


Рис. 4. Зависимости перемещений ковш и зуба во времени t при $t_{\text{акт}} \leq t_i$

Отметим также следующие зависимости:

$$x_k = v_k T; \quad (11)$$

$$x_i = v_i t_i. \quad (12)$$

Подставляя (10), (11) и (12) в (7) и выполняя соответствующие преобразования, получим значение коэффициента эффективности зуба K_3 для варианта I, т.е. при условии $\frac{T}{t_i} - \frac{v_i}{v_k} \geq 1$

$$K_3 = \frac{1}{1 - \frac{v_i}{v_k} \frac{t_i}{T}}. \quad (13)$$

Определим выражение K_3 для варианта II (рис. 4), т.е. для условия $\frac{T}{t_i} - \frac{v_i}{v_k} \leq 1$. На графике видно, что сумма скоростей ковша v_k и зуба v_i , отражающая абсолютную скорость зуба, определяется

$$v_k + v_i = \frac{x_k + x_i - x_i}{t_{\text{акт}}}. \quad (14)$$

Следовательно,

$$t_{\text{акт}} = \frac{x_k}{v_k + v_i}. \quad (15)$$

Подставляя в (7) выражения (11) и (15), получим для варианта II:

$$K_3 = 1 + \frac{v_i}{v_k}. \quad (16)$$

Отметим, что наличие статического резания зубом при разрушении породы, что отражает формула (13), при вычислении коэффициента K_3 требует знание величин факторов v_k , v_i , T и t_i . Отсутствие статического резания зубом характеризует процесс разрушения породы, когда за время работы зуба t_i в течение цикла T обеспечивается внедрение зуба без дальнейшего резания в результате движения ковша. В этом случае на

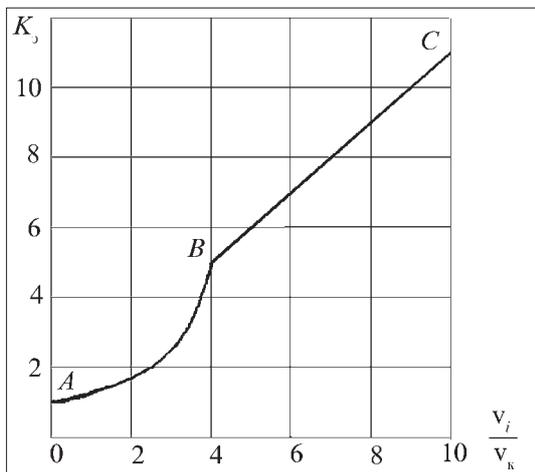


Рис. 5. Зависимость коэффициента K_3 от отношения v_i/v_k при $T/t_i = 5$

величину коэффициента K_3 влияют только факторы v_k и v_i , что видно из (16).

Заметим, что коэффициент K_3 зависит от отношения $\frac{v_i}{v_k}$. Построим график зависимости коэффициента K_3 от отношения $\frac{v_i}{v_k}$ при $\frac{T}{t_i} = 5$ (рис. 5).

На рис. 5 видно, что коэффициент K_3 на прямой BC пропорционален отношению $\frac{v_i}{v_k}$. Уменьшение отношения $\frac{v_i}{v_k}$ и переход на участок AB приводит к рез-

кому снижению коэффициента K_3 за счет возникновения статического усилия резания зубом в результате движения ковша.

Можно отметить, что при отношении $\frac{v_i}{v_k} > 0$, т.е.

при наличии самостоятельного движения зуба, коэффициент $K_3 > 1$. При отношении $\frac{v_i}{v_k} = 0$, что соответ-

ствует скорости $v_i = 0$, движение зуба относительно ковша не происходит, что характерно для рабочих органов статического действия. Коэффициент эффективности зуба K_3 в этом случае равен единице.

Коэффициент эффективности зубьев ковша активного действия с N зубьями

$$K_{э,к} = \frac{\sum_{i=1}^N K_{э,i}}{N}, \quad (17)$$

где $K_{э,i}$ — коэффициент эффективности для i -го зуба, определяемый по выражениям (13) и (16).

Если на ковше активного действия установлено N аналогичных зубьев, для которых значения v_k, v_i, T и t_i одинаковы, то

$$K_{э,к} = K_{э,i}. \quad (18)$$

Эффективность работы зубьев ковша активного действия, оцениваемая величиной коэффициента $K_{э,к}$, зависит от эффективности работы каждого из зубьев. Повышая эффективность работы отдельного зуба, мы тем самым повышаем коэффициент эффективности зубьев ковша активного действия.

Список литературы

1. Федоров Д.И., Недорезов И.А., Тайц В.Г., Федулов А.И. Экскаваторные ковши активного действия. М.: Транспорт, 1974. 224 с.
2. Шкуренко Н.С., Рахлан А.Б., Спектор М.Д., Чарин В.А., Петухов П.З., Гуринов М.А., Киселев Б.Н. Виброметод разработки мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 1965. 184 с.
3. Польский С.Б. Разработка грунта ковшом с гидравлическим приводом колебаний зубьев // Строительные и дорожные машины. 1983. № 8. С. 20–22.
4. Польский С.Б. Эффективность копания виброковшом с гидравлическим приводом колебаний зубьев // Строительные и дорожные машины. 1981. № 2. С. 20–21.
5. Пат. № 60948 РФ, МПК Е 02 F 3/40. Ковш экскаватора / А.К. Муравский, Л.Б. Белоногов, Г.Д. Трифанов (РФ). № 2006135470/22; Заявлено 06.10.06; Опубликовано 10.02.07. Бюл. № 4.
6. Пат. 69096 РФ, МПК Е 02 F 3/40. Ковш экскаватора / А.К. Муравский, Л.Б. Белоногов, Г.Д. Трифанов (РФ). № 2007129471/22; Заявлено 31.07.07; Опубликовано 10.12.07. Бюл. № 34.



Поздравляем юбиляра!



Исполнилось 75 лет кандидату технических наук, профессору кафедры "Горная механика и транспорт" Московского государственного горного университета, действительному члену Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, почетному члену Академии горных наук, заслуженному работнику высшей школы РФ, почетному работнику науки и техники РФ, руководителю секции "Горное оборудование, электроснабжение и автоматизация" редакционной коллегии Горного журнала **Евгении Евгеньевне Шешко**.

Научная и педагогическая деятельность Евгении Евгеньевны многогранна и охватывает горное дело, горное и транспортное машиностроение. Под ее руководством подготовлено более двухсот горных инженеров и десяти кандидатов технических наук. Стаж ее научной и педагогической деятельности составляет более пятидесяти лет.

Профессор Е.Е. Шешко является ярким представителем научной школы члена-корреспондента Академии наук СССР А.О. Спиваковского в области создания и исследования карьерного транспортного оборудования для горной промышленности. Она автор более 100 научных работ, 8 учебников и 35 учебных пособий. Евгения Евгеньевна пользуется заслуженным авторитетом у коллег. Она секретарь диссертационного совета Д-212.128.09 при МГГУ.

Уважаемая Евгения Евгеньевна!

Ректорат, Ученый совет, коллектив кафедры "Горная механика и транспорт" Московского государственного горного университета, редакционный совет и редакционная коллегия журнала "Горное оборудование и электромеханика" поздравляют Вас с юбилеем, желают крепкого здоровья и новых достижений в профессиональной деятельности!



Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО "Уральский государственный горный университет"

X Международная научно-техническая конференция

"Чтения памяти В.Р. Кубачека",

посвященная 80-летию со дня рождения Масленникова Владилена Андриановича



ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

19–20 апреля 2012 г.

г. Екатеринбург

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

1. Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ.
2. Машины и оборудование обогатительных фабрик.
3. Геологоразведочное и нефтегазовое оборудование.
4. Вопросы моделирования и расчеты сложных технических систем.
5. Проблемы материаловедения, производства и конструирования в машиностроении.
6. Ремонт, сервисное обслуживание и диагностика горного оборудования.
7. Карьерный транспорт и транспорт нефти.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Председатель: зав. каф. ГМК, д-р техн. наук, проф. Суслов Николай Максимович

Зам. председателя: д-р техн. наук, проф. Лагунова Юлия Андреевна

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

620144, г. Екатеринбург, Куйбышева, 30,

Уральский государственный горный университет, кафедра горных машин и комплексов.

Местонахождение:

II учебное здание, Университетский пер., 9, остановка транспорта: "Цирк",

Справки по телефону: (107.343) 257-33-47, 257-33-70

Факс: (107.343) 257-33-47

E-mail: Yu.Lagunova@mail.ru



ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Дизайнер Т.Н. Погорелова. Технический редактор Т.И. Андреева. Корректоры Л.И. Сажина, Л.Е. Сонюшкина

Сдано в набор 19.10.11 г. Подписано в печать 25.11.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 7,25. Заказ 826. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.