

© 2006 Н.С. Нассиф, И.Д. Ибатуллин, В.И. Кремлев, В.Е. Барынкин

ОАО «Волгабурмаш», г. Самара
Самарский государственный технический университет

Описание методики испытаний опор буровых долот которая позволяет существенно повысить эффективность работы по повышению надежности буровых долот.

Опоры буровых долот относятся к узлам трения, работающим в выраженных неблагоприятных условиях. Высокие нагрузки, абразивная и коррозионно-активная среда обуславливают относительно низкую долговечность опор. Кроме того, надо отметить высокий уровень наиболее опасных – вибрационных воздействий на узлы трения шарошечных долот. Частотный спектр динамических воздействий на них при эксплуатации имеет порядок $10^1 \dots 10^3$ Гц, а амплитуда доходит до ударных нагрузок. Данный частотный уровень находится в диапазоне частот вынужденных вибраций, возникающих при эксплуатации буровых долот, что является нежелательным, так как приближение частот вынужденных колебаний к собственной частоте стыка приводит к резонансному усилению уровня вибраций и преждевременному разрушению материалов опоры.

Поэтому наличие вибрации в опорах ставится в один ряд с основными разрушающими факторами, лимитирующими долговечность шарошечных долот, и поэтому требует тщательного изучения.

В настоящее время имеются средства и методы контроля вибраций, возникающих при бурении скважин, систематизированы их основные виды, получены данные о характерных силовых и частотных параметрах динамического воздействия. Как правило, при анализе вибронагруженности долот основное внимание уделяется оценке влияния вибраций на скорость или производительность бурения. При производстве долот важно оценивать влияние вибраций на долговечность опор, что требует соответствующих стендов и методик испытаний.

Для натурных испытаний опор отдельных секций буровых долот в лаборатории ОАО «Волгабурмаш» совместно с НТЦ «Надежность» СамГТУ был модернизирован

специальный стенд, предназначенный для сравнительной оценки качества различных видов наплавки, покрытий и проверки технических решений по повышению работоспособности и долговечности опор буровых долот при работе на забое. В качестве основы для разработки послужила типовая конструкция стенда для испытаний опор секций буровых долот 70-х годов (рис. 1).

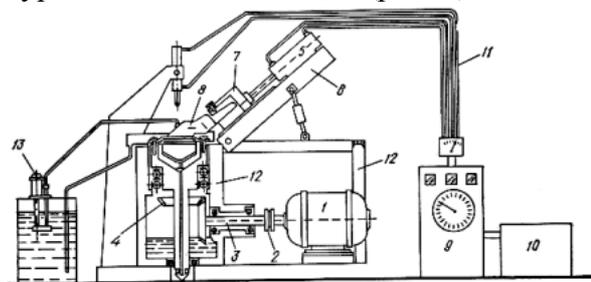


Рис. 1. Схема установки для испытания опор буровых долот [1]. 1 – двигатель, 2 – муфта-моментомер, 3 – горизонтальный вал, 4 – коническая передача, 5 – гидроцилиндр нагружения образца по оси секции, 6 – рама, 7 – узел фиксации секции, 8 – секция, 9 – гидростанция, 10 – пульсатор, 11 – трубопровод, 12 – станина.

Основные параметры стенда: скорость вращения шарошки - $100 \dots 1500$ мин⁻¹; усилие гидроцилиндра, создающего нагрузку по оси долота - до 8 тс, по оси шарошки – до 4 тс; динамическая нагрузка – до 1 тс; частота пульсации - до 1000 цикл/мин. Стенд позволяет изучать процесс изнашивания опор и оценивать температуру саморазогрева поверхностей в зоне трения в зависимости от приложенных статических и динамических нагрузок, характеристик смазки и промывочной жидкости. При испытаниях осевое усилие на лапу составляет одну треть от эксплуатационной нагрузки на долото соответствующего типоразмера. Частота вращения шарошки устанавливается равной эксплуатационной, частота наложенных колебаний – в три раза выше. Стенд оснащен компьюте-

ризированной системой управления и сбора данных (рис.2), которая оценивает величину радиального и осевого износа цапфы, температуру на поверхностях трения, а также момент трения шарошки. Разработанная система сбора данных и управления предназначена для выполнения следующих функций:

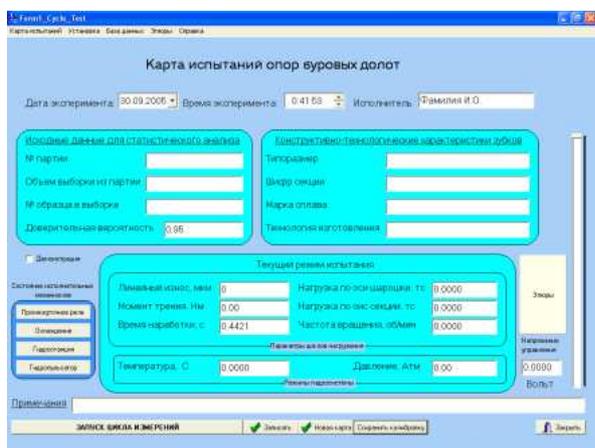


Рис.2. Вид главной формы рабочей программы

1. Управление работой станда с пульта персонального компьютера (ПК).
2. Мониторинг режимов испытаний на экране ПК.
3. Автоматизированный сбор информации в базу данных.
4. Автоматизированное создание отчетов по испытаниям зубков буровых долот.

Управление работой станда предусматривает возможность его запуска и остановки с пульта компьютера и тарировки датчиков станда

Мониторинг режимов испытаний предусматривает: введение датчиков сил, действующих на образец во время испытаний по осям шарошки и секции, датчика температуры введение в рабочую программу компьютера функции графической визуализации на экране показаний всех датчиков в режиме реального времени и сохранения данных в отдельных файлах для возможности последующего анализа экспериментов.

Датчики сил представляют собой пружинные измерительные кольца с наклеенными на их внутреннюю и внешнюю поверхности тензодатчиками. Можно использовать стандартные пружинные дина-

мометры с соответствующими пределами измерений.

Автоматизированный сбор информации в локальную базу данных предусматривает преобразование и сохранение информации об испытываемых зубках в локальной базе данных, имеющей следующие поля: дата испытаний; № партии; типоразмер опоры; шифр; код технологии изготовления; объем выборки из партии; № образа в выборке; долговечность; температура в гидросистеме, °С; линейный износ, мкм; давление в гидросистеме, Атм; нагрузка по оси шарошки, тс; нагрузка по оси секции, тс; время наработки, с; момент трения, Нм; доверительная вероятность (по умолчанию $P_d=0,95$); Ф.И.О. исполнителя.

Автоматизированное создание отчетов по испытаниям зубков предусматривает вывод на экран ПК (или на печатающее устройство) требуемых записей из локальной базы данных, оформленных в виде отчета по результатам испытаний.

Рабочее место оператора оснащено персональным компьютером, установленном в специальном шкафу. В компьютер установлены рабочая программа (РП) для проведения испытаний опор буровых долот и локальная база данных БД 1 для хранения информации по испытаниям опор и ее последующей передачи в общую базу данных БД 2, расположенную на удаленном сервере информационно-вычислительного центра ОАО "Волгабурмаш" посредством локальной сети или на дисковых накопителях. Иконка программы выведена на рабочий стол ПК с именем VBMwear.

Управление испытательной установкой оператор осуществляет посредством команд, подаваемых из рабочей программы, путем их выделения и ввода с клавиатуры, либо нажатием кнопок управления левой клавишей мыши.

Связь РП с установкой реализована посредством электронного блока системы сбора данных и управления. Микроконтроллер МК системы, собранный на базе процессора ADuC831BS, осуществляет: сбор, усиление и цифровое преобразование сигналов, поступающих с датчиков сил; передачу текущей информации о режимах испытаний в рабочую программу; передачу команд оператора

на исполнительные механизмы установки посредством замыкания силовыми ключами системы сбора данных и управления цепей электрической схемы установки.

В механической части стенда для измерения момента трения была разработана специальная муфта, преобразующая момент сопротивления вращению в тарированное осевое смещение одной из полумуфт.

Проработка различных вариантов показала, что наиболее эффективным способом закрепления испытываемой секции на стенде, обеспечивающим достаточно высокую жесткость фиксации лапы при большом числе степеней свободы, необходимом для самоустановки образца в рабочем (при испытаниях) положении, является зажим хвостовой части секции в призме, перемещающейся в шаровой опоре. Шаровая опора обеспечивает поворот ловителя в любом направлении относительно центра сферы.

В результате модернизации приспособления для фиксации секции долота при испытаниях обеспечено следующее:

- отклонение от соосности шарошки с осью вращения испытательной чашки не превышает 1° при возможности самоустановки образца в держателе;

- при нагружении образца оси приложения сил силовыми гидроцилиндрами совпадают с осями секции и шарошки;

- получено надежное, технологичное разъемное соединение испытываемой секции с держателем, не требующее специальной доработки секции.

- обеспечена универсальность приспособления по отношению к секциям различного типоразмера.

- сокращается длительность подготовительных операций при испытаниях опор шарошечных долот.

Стендовые образцы обрабатывают на режимах, соответствующих обработке долот в условиях турбинного бурения. В качестве промывочной жидкости применяется глинистый раствор (из бентонитового глинопопорошка) с удельным весом $1,15 \text{ т/см}^3$ и вязкостью 30 с, по СПВ-5 и содержанием абразивных частиц до 1%. Имитацию вибраций на опору осуществляли за счет биения оси шарошки относительно оси вращения стенда в пределах $0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$.

В процессе испытаний опора периодически, через 20 тыс. оборотов шарошки, разбирается для фиксации процесса изнашивания. Отработку образцов заканчивают при появлении усталостных выкрашиваний на всех трех дорожках качения опоры, причем в качестве критерия принимали и фиксировали появление первого очага выкрашивания на каждой из дорожек. Результаты обрабатывали методами математической статистики.

Силовой привод установки, обеспечивающий статическое и динамическое нагружение стендового образца опоры по осям шарошки и долота – гидравлический. В результате модернизации, с учетом технических требований к испытаниям опор буровых долот гидропривод установки обеспечивает следующее.

1. Возможность независимого бесступенчатого регулирования статических нагрузок, создаваемых гидроцилиндрами, по оси шарошки до 4 тс, по оси долота – до 8тс.

2. Возможность встраивания в гидросистему установки отечественных и зарубежных гидропульсационных машин типов: ГРМ 1, ГРМ 2, МУГП – 5, МП – 300, ЦДМ – 10мПу, ЦДМ – 203мПУ для создания пульсаций давления рабочей жидкости частотой до 30Гц и усилием амплитудой до 1тс.

3. Возможность автоматизированного запуска гидростанции и контроля сил, действующих на стендовый образец опоры по осям шарошки и долота, посредством тензометрических датчиков.

Дополнительно к стендовым испытаниям разработаны лабораторные методики контроля качества материала поверхностных слоев деталей пар трения, основанные на методе склерометрии. Методики позволяют оценить влияние на поверхности трения пластичных смазок и определить уровень пластичности материала секции.

Традиционные испытания антифрикционных и противоизносных характеристик смазочных материалов, выполняемые стандартными методами имеют ряд недостатков, связанных с невозможностью точной оценки температурной зависимости влияния граничных слоев смазочного материала на свойства поверхностного слоя вследствие его саморазогрева. Особенно сложно оценивать влияние смазочного материала на узлы

трения, разогревающиеся при эксплуатации до высоких температур. К таким узлам, в частности, относятся опоры шарошечных долот, что зачастую требует проведения дополнительных длительных и дорогостоящих натуральных испытаний. В НТЦ «Надежность» совместно с ОАО «Волгабурмаш» разработана новая методика экспресс оценки влияния смазочных материалов на состояние поверхностных слоев металлов. Новизна подхода заключается в том, что влияние среды оценивается по изменению энергии активации пластической деформации поверхностного слоя. Величина и знак приращения энергии активации позволяет характеризовать упрочняющее, разупрочняющее или нейтральное действие среды.

Энергия активации пластической деформации поверхностных слоев оценивается склерометрическим методом (патент РФ №2166745). Для этого из приработанных в эксплуатационных условиях деталей опор буровых долот вырезают образцы, устанавливают на приборном столике склерометра и производят постепенный нагрев образцов со скоростью около 2 °С/мин до достижения максимальной эксплуатационной температуры, на которую рассчитан испытываемый смазочный материал. При этом через каждые 5 °С на приработанной поверхности производится оценка энергии активации пластической деформации. Затем образец охлаждают до комнатной температуры, наносят на его поверхность тонкую пленку исследуемого смазочного материала и вновь производится оценка величины энергии активации для смазанной поверхности. При каждой температуре находят разность значений энергии активации для сухой и смазанной поверхности, которая и является энергетической характеристикой влияния среды. Образцы, после удаления модифицированного поверхностного слоя, могут использоваться многократно. Длительность испытаний зависит от исследуемого диапазона температур. Отсутствие саморазогрева материала поверхностного слоя при склерометрировании дает объективную оценку влияния смазочных материалов на металлическую поверхность при заданной температуре.

Эксперименты показали высокую чувствительность величины энергии активации

пластической деформации ко многим факторам, влияющим на состояние поверхностного слоя: изменению температуры, составу среды, напряженно-деформированному состоянию и структуре материала, микротвердости и др. Это позволяет производить оценку комплексных синергетических эффектов. Установлено, что материал поверхностного слоя при наличии граничной пленки смазочного материала находится в состоянии неустойчивого динамического равновесия, которое получается вследствие баланса действия ряда эффектов, оказывающих конкурирующее влияние на прочность поверхностного слоя. Изменение температуры на несколько градусов за счет действия среды может существенно изменить состояние материала. Подтверждена эффективность описанной методики при оценке свойств, выборе и оптимизации состава смазочных материалов для конкретных пар трения в опорах буровых долот с учетом их рабочих температур.

Помимо стендовых и лабораторных испытаний опор буровых долот в ОАО «Волгабурмаш» развиваются новые подходы, связанные с компьютерным моделированием фрикционного взаимодействия в опорах долот, поскольку режим трения и преобладающий вид изнашивания в опорах буровых долот во многом определяется условиями, реализуемыми участками фактического и контурного касания шероховатых поверхностей деталей пар трения. Однако решение контактных задач даже в весьма упрощенной постановке часто сопряжено с высокой трудоемкостью. Ситуация изменилась с появлением компьютерных технологий, позволяющих оперативно и качественно моделировать контактные взаимодействия поверхностей. Одним из таких программных пакетов является ANSYS, позволяющий на основе конечно-элементных моделей наглядно получать данные о распределении напряжений, деформаций, перемещений материала поверхностного слоя.

Одним из направлений применения программы ANSYS стал компьютерный анализ толщины поверхностного слоя, подверженного накоплению повреждаемости при малоцикловой и многоцикловой усталости, в зависимости от различных условий нагружения, параметров неровностей контактирую-

щих поверхностей, их механических свойств и др. факторов. Решение данной задачи уменьшает число эмпирически определяемых параметров, необходимых для расчетов на усталостное изнашивание материалов деталей пар трения. В частности важное практическое значение имеет оценка толщины поверхностного слоя, разрушаемая за один кинетический акт усталостного изнашивания, ограниченная, как известно, глубиной залегания debris-слоя. Не менее важна задача оценки глубины повреждаемости при контактной фрикционной усталости, размеры которой могут на порядки превышать зону малоциклового усталости. Поскольку в данной области при эксплуатации аккумулируются необратимые повреждения ее необходимо учитывать как при расчетах долговечности деталей пар трения. Оценка

соотношения глубины внедрения твердых неровностей к радиусу выступов позволяет по известному критерию И.В. Крагельского установить механизм контактного взаимодействия (микрорезания, пластического отеснения, упругого взаимодействия и т.д.). Применение ANSYS при решении контактных задач показало удовлетворительную точность решения при задании размеров конечных элементов порядка 2 мкм.

Описанные методики испытаний опор буровых долот позволяют существенно повысить эффективность работы по повышению надежности буровых долот.

Список литературы

1. Стойкость буровых долот/ Под ред. К.Б. Кацова. -Киев: Наукова думка, 1979.-244с.

KINETICS OF FATIGUE FAILURE OF HARD ALLOYS

© 2006 N.S. Nassif, I.D. Ibatullin, V.I. Kremlev, V.E. Barynkin

In the paper results of an experimental research of kinetics of fatigue failure of hard alloy teeth of chisels are described at cyclic shock influence. It is shown, that kinetics of damaging the teeth may be described by calculation models, received on the basis of structure-energetic theory.