

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ УЭЦН



В 2006 году специалисты компании ТНК-ВР провели сравнительный анализ показателей по наработке на отказ УЭЦН в ведущих мировых НГК. Оказалось, что средняя наработка в западных компаниях в несколько раз выше аналогичных показателей по всем российским НК. Поэтому руководством ТНК-ВР была принята стратегия по удвоению наработки УЭЦН к концу 2011 года. По предварительным подсчетам, увеличение показателя наработки до уровня 600 суток позволит компании получить дополнительный прирост добычи, равный 12 млн баррелей, освободить 80 тыс. бригадо-дней ТКРС на выполнение других работ, а также снизить затраты на приобретение оборудования. Суммарная экономическая выгода для компании в долгосрочной перспективе (20 лет) может составить \$1 млрд.

В рамках реализации данной программы в 2007 году ТНК-ВР в сотрудничестве с компанией «ИМАШ ресурс» и заводами-изготовителями УЭЦН приступили к совместным научным исследованиям, направленным на повышение надежности погружного оборудования. Задача исследований — получить научно-обоснованные рекомендации по повышению надежности насосных секций и узлов УЭЦН на основе исследования физики отказов и механизма разрушений.

Данная работа включает, в частности, разработку методик и испытательного оборудования, проведение сравнительных испытаний промежуточных подшипников и рабочих ступеней, сравнительные испытания насосных секций на износостойкость, испытания упорных подшипников и торцевых уплотнений гидрозакрит, а также исследование коррозионно-эрозионных процессов в насосах и газосепараторах.

По итогам проделанной работы вносятся соответствующие изменения в «Технические требования ТНК-ВР к новому оборудованию УЭЦН» и «Технические требования ТНК-ВР к ремонтному оборудованию УЭЦН».

Сегодня с помощью УЭЦН в ТНК-ВР добывается более 90% нефти. При этом ежегодные затраты на ПРС по фонду скважин с УЭЦН составляют около \$70 млн в год, а на приобретение и ремонт центробежных насосов — до \$400 млн.

В 2006 году специалисты Блока «Разведка и добыча» ТНК-ВР провели сравнительный анализ показателей по наработке УЭЦН на отказ в ведущих мировых НГК. Оказалось, что средняя наработка в западных компаниях в несколько раз превышает аналогичные показатели по всем российским НК. Поэтому руководством ТНК-ВР была принята стратегия по удвоению наработки УЭЦН к концу 2011 года.

По предварительным подсчетам, увеличение показателя МРП до уровня 600 суток позволит компании получить дополнительный прирост добычи, равный 12 млн баррелей, освободить 80 тыс. бригадо-дней ТКРС на выполнение других работ, а также снизить затраты на приобретение оборудования. Суммарная экономическая выгода для компании в долгосрочной перспективе (20 лет) может составить \$1 млрд.

По состоянию на 1 июня 2009 года наработка на отказ в ТНК-ВР составляет 466 суток, что на 75 суток превышает показатель за аналогичный период прошлого года (391 суток) и на 162 суток — показатель на начало проекта. С начала реализации программы в 2006 году экономический эффект составил порядка \$185,4 млн.

Система мониторинга, обработки и анализа

Мировая практика успешного применения УЭЦН подтверждает, что системный анализ информации по наработке и отказам УЭЦН, выявление проблем, связанных с конструкцией, производством и эксплуатацией оборудования, является одним из главных факторов в деле снижения отказов УЭЦН. Поэтому первым этапом реализации поставленной задачи стала разработка теоретической базы знаний по УЭЦН (терминология,

процедура расследования отказов, классификаторы, справочники и т.д.), внедрение единых подходов и интерпретаций событий отказов УЭЦН. За основу был взят опыт международной компании ВР. В результате уже в 2006 году в ТНК-ВР была создана и внедрена собственная «Система мониторинга, обработки и анализа информации УЭЦН», позволяющая выявить основные факторы, сдерживающие рост наработки на отказ, а также определить приоритетные направления действий по предотвращению отказов.

Система мониторинга имеет многоступенчатую структуру. Сбор информации, поступающей от сервисных предприятий, производственных единиц и геологических баз данных происходит в системе GAMS, которая формирует единый массив данных (всего — около 130 параметров по каждой скважине) по режимам работы скважин, физико-химическим свойствам продукции, конструкциям скважин, комплектации УЭЦН и результатам расследования причин отказов. Для обработки такого объема информации используется специально разработанный совместно с компанией StatSoft инструмент анализа данных на базе ПО системы STATISTICA.

На основании результатов аналитической обработки информации «Системы мониторинга, обработки и анализа информации УЭЦН», во-первых, определяются основные причины и факторы, влияющие на уровень отказов УЭЦН в скважинах; во-вторых, выявляются слабые места в самой конструкции УЭЦН (определение как надежного, так и ненадежного оборудования или узла). Все это позволяет принимать наиболее действенные и эффективные шаги, принимать экономически и технически обоснованные решения и программы действий.

Совместные исследования

На основании результатов «Системы мониторинга, обработки и анализа информации

УЭЦН» было определены основные виды отказов и разрушений узлов и деталей УЭЦН. ТНК-ВР в 2007 году в сотрудничестве с научно-технической компанией «ИМАШ ресурс» и заводами-изготовителями в рамках Программы по увеличению наработки УЭЦН приступили к совместным научным исследованиям, направленным на повышение надежности погружного оборудования. Задача исследований — получить научно-обоснованные рекомендации по повышению надежности насосных секций и узлов УЭЦН на основе исследования физики отказов и механизма разрушений.

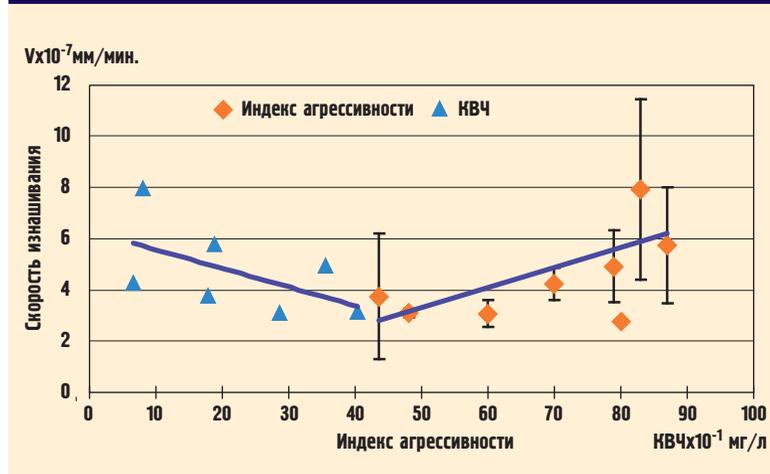
Ежегодные затраты ТНК-ВР на ПРС по фонду скважин с УЭЦН составляют около \$70 млн в год, а на приобретение и ремонт центробежных насосов — до \$400 млн

Данная работа включает: разработку методик и испытательного оборудования, проведение сравнительных испытаний промежуточных подшипников и рабочих ступеней, сравнительные испытания насосных секций на износостойкость, послеексплуатационный анализ деталей ЭЦН, проведение испытаний крепежных деталей на усталость в коррозионно-активной среде, испытаний упорных подшипников и торцевых уплотнений гидрозакрит, исследование коррозионно-эрозионных процессов в насосах и газосепараторах.

По предварительным подсчетам, увеличение показателя наработки до уровня 600 суток позволит ТНК-ВР получить дополнительный прирост добычи, равный 12 млн баррелей

По завершении совместных исследований будут разработаны конструктивные решения по повышению надежности насосов, газосепараторов, гидрозакрит; усовершенствована классификация групп оборудования по условиям эксплуатации; выявлены фундаментальные закономерности процессов динамики и изна-

Зависимость скорости изнашивания радиальных сопряжений секции от индекса агрессивности и КВЧ



Анализ результатов заводских испытаний шайб РК

УСЛОВИЯ ОПЫТА:

Предприятия 1, 2.

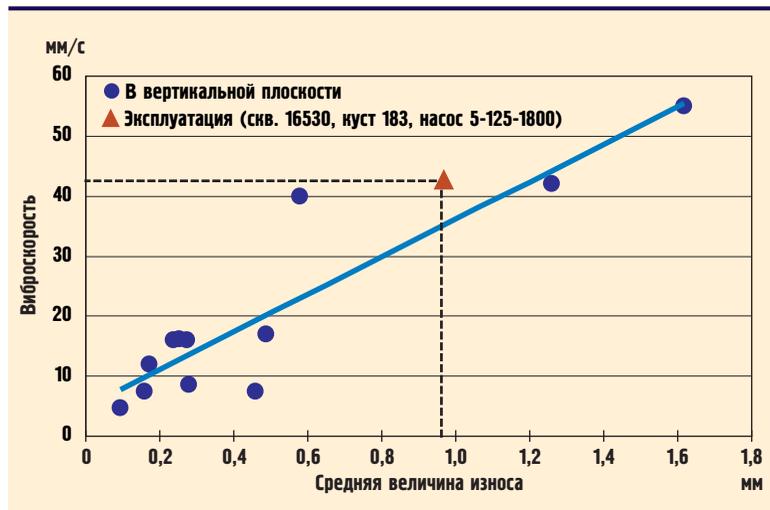
1. Опорные шайбы 44x35x2 мм
2. Смазка: литол + 5% песка или Al₂O₃
3. Осевая сила – 64 (60)Н
4. Частота вращения 2900 (2500) об./мин.
5. Время испытаний – 6 часов
6. Расход смазки – 10,8 г/ч; 0,9 г/ч

Предприятие 3.

1. Сборка из трех ступеней 50 м³/сут.
2. Вода + кв. песок (20 г/л)
3. Частота вращения – 3000 об./мин.

Материал	Интенсивность изнашивания асимметрия износа		
	Предпр. 1	Предпр. 2	Предпр. 3
Текстолит	$\frac{1,47 \cdot 10^{-8}}{9,9}$	-	$1,93 \cdot 10^{-5}$
Карбонит	$\frac{0,96 \cdot 10^{-8}}{6}$	$\frac{0,86 \cdot 10^{-9}}{2}$	$1,47 \cdot 10^{-6}$

Зависимость вибрации от износа



шивания, определены критерии работоспособности и допустимой скорости изнашивания для заданных условий эксплуатации. Помимо этого, совместная работа ком-

паний направлена на прогнозирование ресурса насосов в различных условиях эксплуатации (определение технических пределов срока работы различных кон-

струкций ЭЦН в конкретных скважинах).

По итогам проделанной работы вносятся соответствующие изменения в «Технические требования ТНК-ВР к новому оборудованию УЭЦН» и «Технические требования ТНК-ВР к ремонтному оборудованию УЭЦН».

Актуальность исследований в отрасли

Необходимость проведения подобных исследований в отрасли назревала давно. Дело в том, что сегодня, во-первых, не существует научно-обоснованных критериев работоспособности УЭЦН, узлов и деталей в заданных условиях эксплуатации. А во-вторых, все основные производители погружного оборудования используют разные методики испытаний одних и тех же деталей. Спрашивается, какой из них можно доверять?

Здесь приведем следующий пример. Перед тремя заводами-изготовителями была поставлена задача: представить результаты заводских испытаний на износ пары трения шайб рабочего колеса (РК). Стоит отметить, что на двух предприятиях испытания проводились по одной и той же методике, на третьем — по другой. Сравнительный анализ результатов показал, что интенсивность изнашивания текстолитовых шайб РК в зависимости от методики испытаний — разная (см. «Анализ результатов заводских испытаний шайб РК»). Следовательно, ни одну из них нельзя использовать в качестве единой методики. В итоге было решено провести анализ всех существующих методов испытаний и уже на основании полученных результатов разработать единую методику и спроектировать стенд для сравнительных испытаний деталей различных заводов-производителей, включая зарубежные.

Другой пример. На практике для оценки степени абразивного воздействия пластиновой жидкости на детали ЭЦН используют показатель «мехпримеси» или

«КВЧ». Была проведена работа по изучению состава мехпримесей скважин и выделению в них процентного содержания кварцевого песка. Как видно из рисунка (см. «Зависимость скорости изнашивания радиальных сопряжений секции от индекса агрессивности и КВЧ»), скорость изнашивания радиальных сопряжений насосных секций, определенная при послеэксплуатационном разборе, имеет разную форму зависимости от КВЧ и процентного содержания кварцевого песка («индекс агрессивности») в пластовой жидкости. Во втором случае эта зависимость физически более понятна. Поэтому одна из задач исследований – упорядочение терминологии, наполнение ее конкретным физическим смыслом.

Оценка износостойкости насосных секций

К настоящему моменту специалистами компаний уже разработаны методы экспериментальной оценки износостойкости насосных секций, рабочих ступеней, материалов трущихся поверхностей, а также методические указания по измерению износа при определении состояния УЭЦН после эксплуатации. Фактически это на 90-95% готовые методики, которые базируются на математических моделях, четком описании физики процесса и могут служить основой для разработки нового стандарта. Помимо этого, сейчас также разрабатывается метод испытаний упорного подшипника гидрозаклочки, а также методы экспериментальной оценки материалов газосепараторов. В планах — разработка методов экспериментальной оценки износостойкости восстановленных деталей.

Итак, в чем состоит методика испытаний на изнашивание насосной секции? Предлагается две основные группы испытаний. Первая (группа А) — моделирующие испытания, сущность которых состоит в оценке интенсивности изнашивания радиальных и осе-

вых подвижных сопряжений ЭЦН в эксплуатационных условиях. Испытания проводят при номинальных значениях расхода и давления с разомкнутой схемой движения абразива. Если правильно задать условия испытаний, в результате можно точно спрогнозировать ресурс и износ насосных секций.

Вторая группа (группа Б) — экспресс-испытания, сущность которых состоит в определении соотношения интенсивностей изнашивания исследуемой и эталонной секций, испытываемых при заранее установленных идентичных условиях. Испытания проводят при замкнутой схеме подачи абразивного материала.

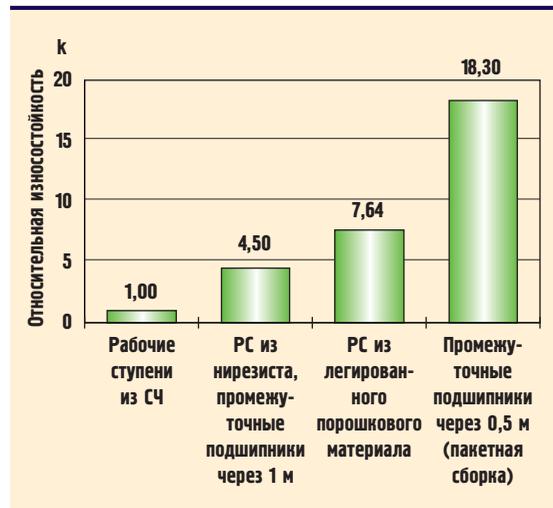
Специалистами компаний были проведены испытания свыше двадцати насосных секций. В результате удалось установить степень влияния конструкции на износостойкость: в частности, удалось провести ранжирование ЭЦН различного конструктивного исполнения по износостойкости в абразивосодержащей среде (величина k указана в первом приближении) (см «Влияние конструкции на износостойкость насосной секции Кк»). Кроме того, получена фундаментальная зависимость виброскорости от величины износа. Так, в пределах виброскорости до 80 мм/сек существует практически линейная зависимость между виброскоростью и величиной износа (см. «Зависимость вибрации от износа»).

В настоящий момент ведутся работы по проектированию и изготовлению вертикального стенда. Данный стенд позволит реализовывать всю методику испытаний на изнашивание насосных секций, в которую будут заложены все основные оценочные характеристики: величина износа радиальных и осевых сопряжений, коэффициент асимметрии износа, величина скорости вибрации.

Испытания рабочих ступеней

Важным этапом исследовательской работы стало создание стенда для испытания рабочих

Влияние конструкции на износостойкость насосной секции Кк



ступеней. Основные оценочные характеристики, закладываемые

По состоянию на 1 июня 2009 года наработка на отказ УЭЦН в ТНК-ВР составляет 466 суток, что на 75 суток превышает показатель за аналогичный период прошлого года (391 суток) и на 162 суток — показатель на начало проекта

при стендовых испытаниях, это — скорость изнашивания, коэффициент асимметрии, а также коэффициент стойкости в коррозионно-активной среде.

На основании результатов «Системы мониторинга, обработки и анализа информации УЭЦН» было определены основные виды отказов и разрушений узлов и деталей УЭЦН

Структура методов стендовых испытаний состоит из трех групп. Группа А — это моделирующие испытания, сущность которых состоит в оценке интенсивности

Специалистами компаний были проведены испытания свыше двадцати насосных секций. В результате удалось установить степень влияния конструкции на износостойкость

изнашивания радиальных подвижных сопряжений рабочих ступеней ЭЦН в эксплуатацион-

ных условиях. Группа Б — моделирующие испытания, сущность которых состоит в оценке интенсивности изнашивания осевых подвижных сопряжений рабочих ступеней ЭЦН в эксплуатационных условиях. Наконец, группа В — это испытания рабочих ступеней для определения осевых

масс. HCl, вода + 3% масс. HCl. И третий — это комбинированное моделирование, когда воспроизводится или моделируется одновременно влияние абразивного материала и коррозионно-активной жидкости на процесс изнашивания радиальных сопряжений рабочих ступеней. Испытания рекомендуется проводить в модельной жидкости: вода + 1% масс. HCl, вода + 3% масс. HCl.

Моделирующие испытания группы А по вариантам 1 и 3 (а также группы Б) проводят при двух схемах подачи абразивного материала в испытательную камеру. Это, прежде всего, экспресс-испытания, сущность которых состоит в определении соотношения интенсивностей изнашивания исследуемой и эталонной деталей, испытуемых при заранее установленных идентичных условиях. Данные испытания проводятся при замкнутой схеме подачи абразивного материала и его концентрации равной 5 г/л. При этом максимальная концентрация абразивного материала в жидкости не должна превышать величину, при которой происходит осаждение в виде осадка более 5% его количества в жидкости.

И, во-вторых, ускоренные ресурсные испытания, предназначенные для оценки и контроля ресурса подвижных сопряжений применительно к заданным условиям эксплуатации, проводят при разомкнутой схеме подачи абразивного материала, при концентрации абразивного материала в жидкости равной 50 мг/л и 300 мг/л.

Моделирующие испытания группы Б рекомендуется проводить при трех значениях

расхода и давления, соответствующих номиналу, левой и правой границам рабочей зоны расходно-напорной характеристики. Дополнительно устанавливается износостойкий подшипник для предотвращения износа радиальных подвижных сопряжений.

В настоящее время эта методика уже насчитывает порядка 20 страниц текста. Фактически это также готовый стандарт.

Методы экспериментальной оценки износостойкости материалов

При оценке износостойкости материалов на стенде используется типовая машина трения с оригинальной схемой самоустановки образцов. При этом используются две группы методов испытаний: группа А (конструкционные материалы для изготовления рабочих ступеней) и группа Б (высокоизносостойкие материалы для подшипников скольжения ЭЦН). Основные оценочные характеристики — интенсивность (J) или скорость изнашивания (Vh), коэффициент трения f и предельная нагрузка P.

Из вышеприведенного видно, что создаваемая комплексная, физически обоснованная, система методов испытаний ЭЦН позволяет прогнозировать их ресурс на основе мультипликативной зависимости, использующей закон изнашивания рабочей ступени, коэффициенты влияния конструктивных особенностей насосной секции, материалов подшипников.

Метод испытания упорного подшипника

Для испытаний упорного подшипника также был разработан специальный стенд. В данном случае проводились испытания непосредственно самого упорного подшипника без сборки в гидрозащите. Основные параметры — коэффициент трения (f), показатель PV и величина износа (h).

Необходимость создания стенда была обусловлена отсутствием методики испытаний упорных подшипников на заводах-изготовителях.

Поэтому основная задача на данный момент заключается в том, чтобы разработать физически обоснованные критерии работоспособности упорного подшипника из различных материалов. В ближайшее время данная работа будет завершена. Ее итогом станет разработка соответствующей методики, а также рекомендаций по проведению стендовых испытаний. 

Для испытаний упорного подшипника также был разработан специальный стенд. В данном случае проводились испытания непосредственно самого упорного подшипника без сборки в гидрозащите

нагрузок в рабочем диапазоне эксплуатации

При испытаниях группы А рассматривается влияние абразивного материала на процесс изнашивания, влияние коррозионно-активной жидкости и комбинированное влияние, то есть синергетический эффект.

При оценке износостойкости материалов на стенде используется типовая машина трения с оригинальной схемой самоустановки образцов

Моделирующие испытания группы А проводятся при номинальных значениях расхода и давления в трех вариантах. Первый — это моделирование эксплуатационных условий, когда воспроизводится или моделируется влияние абразивного материала в жидкости на процесс изнашивания радиальных подвижных сопряжений рабочих

Необходимость создания стенда была обусловлена отсутствием методики испытаний упорных подшипников на заводах-изготовителей

ступеней. Второй — это моделирование эксплуатационных условий, когда воспроизводится или моделируется влияние коррозионно-активной жидкости на процесс изнашивания радиальных подвижных сопряжений рабочих ступеней. Испытания рекомендуется проводить в модельной жидкости: вода + 1%

ПРОТОКОЛ №5

совещания Экспертного совета по механизированной добыче нефти

г. Москва, ЭКСПО-центр.

26 июня 2009 г.

Повестка дня:

1. Концепция разработки раздела «Условные обозначения, конструкция, основные параметры и размеры приводных электродвигателей». Докладчик: Григорян Е.Е.
2. Концепция разработки раздела «Методы испытания лопастных насосов». Докладчик: Агеев Ш.Р.
3. Концепция разработки раздела «Методы испытания отдельных узлов установки». Докладчики: Горланов С.Ф., Смирнов Н.И.

После обсуждения повестки дня совещания определило:

1. Принять к сведению концепцию разработки раздела «Условные обозначения, конструкция, основные параметры и размеры приводных электродвигателей». Продолжить работу по формированию раздела. Ответственные: Гинзбург М.Я., Григорян Е.Е.
2. Принять к сведению концепцию разработки раздела «Методы испытания лопастных насосов». Продолжить работу по формированию раздела. Ответственные: Агеев Ш.Р., Зимин А.А.
3. Принять к сведению концепцию разработки раздела «Методы испытания отдельных узлов установки». Продолжить работу по формированию раздела. Ответственный: Смирнов Н.И.
4. Следующее совещание Экспертного совета по механизированной добыче нефти провести в октябре 2009 г.

