



ИМАШ РЕСУРС

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА СТЕНДОВ И МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ УЭЦН НА РЕСУРС

Состояние вопроса

При разработке оборудования или его модернизации с целью улучшения эксплуатационных (ресурсных) характеристик проводятся различные виды испытаний. Наиболее распространены испытания материалов и отдельных узлов установки в сборе (насосная секция, газосепаратор и т.д.). Широко распространены также опытно-производственные испытания готовых изделий (ОПИ).

Основная задача — получение сравнительных износных характеристик в определенных условиях. Тщательный анализ литературных источников показывает, что существующие стенды и методики имеют ряд недостатков. Например, условия опыта и эксплуатации могут существенно образом различаться как по составу среды, так и по концентрации. Конструкция стендов зачастую не позволяет воспроизводить реальную динамику исследуемых объектов.

При проведении ОПИ трудно обеспечить идентичность скважинных условий. Статистика показывает, что в одной скважине наработка на отказ однотипного оборудования может отличаться в десятки и даже сотни раз. Результаты подобных опытов могут быть противоречивыми у различных постав-

щиков и не позволяют нефтяным компаниям корректно оценивать ресурсные характеристики насосов. В данной статье представлены результаты совместной работы в обеспечение Программы повышения ресурса УЭЦН в ТНК-ВР.

Научно-методологический подход

Научной основой испытаний на ресурс является расчетно-экспериментальный метод оценки ресурса УЭЦН, базирующийся на физических моделях разрушения, математическом моделировании динамики и экспериментально определяемых константах. В соответствии с этим методом ресурс по критерию износостойкости, например, центробежного насоса определяется из мультипликативной зависимости. Она включает конструктивно-технологический фактор, характеризующий динамику насоса и скорость изнашивания рабочей ступени. Первый фактор определяется из расчета, второй — экспериментально, на основе разработанных методов испытаний.

На основе представительной выборки скважин и оборудования проанализированы и классифицированы механизмы разрушения



НИКОЛАЙ СМИРНОВ

Технический директор
ООО «ИМАШ ресурс»

СЕРГЕЙ ГОРЛАНОВ

Старший менеджер
Департамента
механизированной добычи,
ОАО «ТНК-ВР»

деталей УЭЦН и выделены основные из них: абразивное, коррозионно-эрозионное изнашивание, фреттинг-износ, процессы усталостного разрушения. Вторым важным моментом заключается в выделении ресурсопределяющих дета-

Рис.1 Схема расчета износа РК

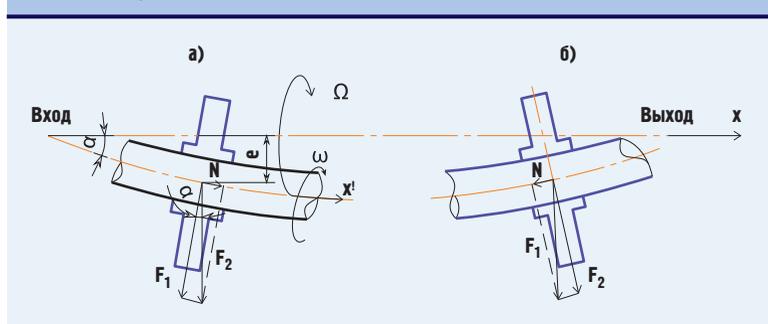
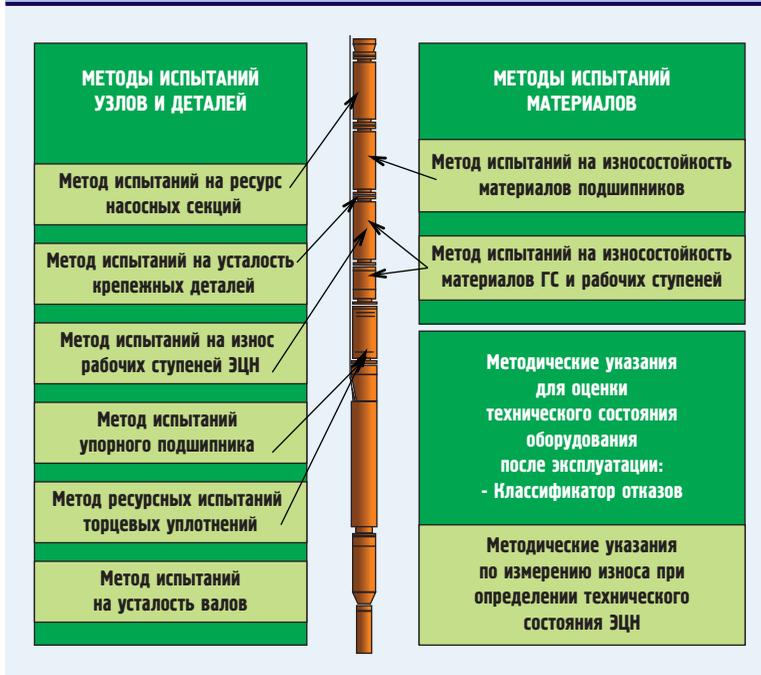


Рис.2 Односторонняя форма износа РК





Табл.1 Структура методов испытания ресурсопределяющих узлов и деталей



лей и узлов, т.е. элементов механической системы, в наибольшей степени влияющих на надежность и ресурс установки. Были также исследованы эксплуатационные условия: состав абразивных частиц, коррозионные свойства, вязкость пластовой жидкости, особен-

ности технологии подготовки и добычи, геометрия скважин и др.; выделены основные из них.

Разработанная методология испытаний обеспечивает выполнение следующих необходимых условий для получения корректных результатов опытов:

- ♦ адекватность физического процесса разрушения в опыте реальному процессу;
- ♦ количественные параметры условий опыта (концентрация абразива, нагрузка, частота вращения и др.) выбираются таким образом, что не происходит качественного изменения исследуемого процесса разрушения;
- ♦ нагружение деталей в опыте соответствует реальному процессу при эксплуатации;
- ♦ воспроизводимость результатов испытаний с заданной точностью;
- ♦ количество опытов соответствует репрезентативной выборке;
- ♦ приемлемая стоимость испытаний.

Проиллюстрируем обеспечение третьего условия на примере испытаний рабочих ступеней. Вал с рабочими колесами (РК) в изнашивающемся насосе совершает сложное движение: вращение вокруг собственной оси x' с номинальной частотой вращения ω и прецессионное движение вокруг оси корпуса насоса с угловой скоростью Ω (рис.1). Тип вращения вала, существующие зазоры и дисбалансы формируют определенную картину нагружения, от которой зависит характер износа и интенсивность изнашивания. При одинаковой величине частот ω и Ω наблюдается односторонняя форма износа ступиц рабочих колес (рис.2). Этот результат практически не достижим при использовании стендов, в которых применяются сборки рабочих ступеней в качестве испытываемых объектов со стандартными валами. В разработанном стенде эффект достигается за счет применения вала переменной жесткости. Динамические характеристики определяются жесткостью, зазорами и дисбалансом.

Табл.2 Конструкционная износостойкость

Деталь	Материал	Концентрация HCl	Концентрация абразива	Температура °C	Скорость изнашивания
		%	г/л		
Рабочая ступень	Нирезист	5	10	80	$8,5 \cdot 10^{-6}$
Корпус подшипника, концевые детали	Сталь 40X13	5	10	80	$3,3 \cdot 10^{-4}$
	Сталь X18H10T				$2,2 \cdot 10^{-6}$
Вал	Сталь	5	10	80	$9,7 \cdot 10^{-5}$
Корпус подшипника, концевые детали	Сталь 40x13	1,5	5	41–43	$3,2 \cdot 10^{-5}$

Научный подход позволил добиться единообразия в методах испытаний, разработать критерии работоспособности оборудования, объяснить с физической точки зрения причины отказов («полет», «промыв»), разработать технические требования к оборудованию и его классификацию по ресурсу.

Структура методов испытаний

Метод испытаний включает методику испытаний, которая определяет порядок проведения и режимы испытаний, критерии работоспособности объектов исследования, и испытательный стенд, обеспечивающий кинематическое и динамическое подобие объекта исследования реальным параметрам, условия испытаний, воспроизводимость и точность результатов. Для получения результатов испытаний в разумные сроки применяются ускоренные и форсированные методы испытаний. В том и другом случаях проверяется адекватность процесса разрушения в опыте реальному процессу путем исследования его кинетики и сопоставления результатов опыта с эксплуатационными данными.

Структурно методы испытаний (табл.1) разбиты на две группы: методы испытаний ресурсопределяющих узлов и деталей и методы испытаний материалов. Кроме того, на основании проведенных испытаний разработаны методические указания для технического состояния оборудования после эксплуатации (классифика-



тор отказов) и методические указания по измерению износа при определении технического состояния ЭЦН. Все стенды спроектированы на единых принципах, включающих единообразие измерительных средств (система LabVIEW компании National Instruments), согласование нагружающих факторов различных деталей, учет динамических процессов.

Для иллюстрации рассмотрим исследование процесса разрушения направляющего аппарата («промыв»). На стенде для испытаний рабочих ступеней путем варьирования различных условий опыта (абразив, коррозионно-активная среда, температура и состав жидкости) определяем преобладающий механизм разрушения. Как показали многочисленные опыты, физическая природа «промыва» — коррозионно-эрозионное разрушение.

Кроме того, в этих испытаниях определяем особенности процесса

изнашивания, силы, возникающие в сопряжениях. Нагружающие факторы в опыте с рабочими ступенями переносим на стенд для испытаний материалов РС, газосепараторов. Кинематика этого стенда обеспечивает проведение испытаний материалов в условиях, подобных тем, которые происходят в зоне («промыва») рабочей ступени. Таким образом, разработка конструкции стенда для испытаний материалов РС обусловлена результатами исследований на стенде для испытаний РС.

В табл.2 приведены результаты опытов с РС при одновременном действии трех факторов — абразива, коррозионно-активной жидкости и температуры. Анализировали скорость изнашивания основных деталей насосной секции. Видно, что выбор материала имеет большое значение для обеспечения равной износостойкости деталей насоса. Так сталь 40X13 в качестве материала корпуса промежуточ-



Рис.3 Скорость коррозионно-эрозионного изнашивания РС (условия опыта в табл.2)





ных подшипников и концевых деталей, находящихся в потоке пластовой жидкости с этими факторами, не пригодна. Необходимо использовать сталь класса X18H10T.

Уменьшение концентрации НС1 в три раза и температуры в два раза снижает скорость изнашивания стали 40Х13 в десять раз. Влияние концентрации абразива

при этом существенно ниже. Т.е. этот материал можно применять в менее сложных условиях эксплуатации. Рабочие ступени из нирезиста обладают достаточной стойкостью к возникновению «промыва». Результаты сравнительных испытаний РС из различных материалов при условиях опыта (табл.2) приведены на графике (рис.3).

При анализе результатов опытов применительно к конкретному насосу необходимо учитывать также разработанные критерии работоспособности каждой детали или узла. Только такие результаты позволяют ранжировать насосы и отдельные детали по классам износостойкости. Упрощенные методы, учитывающие отдельные факторы, как например, абразив, принесут мало пользы. 

ДИСКУССИИ

Вопрос: *Вопрос касается механического износа. Сейчас у нас развивается такое направление — увеличение КПД рабочего колеса. При этом мы теряем на напорности обычно. Достигаем эту напорность за счет увеличения количества оборотов, с 3000, допустим, до 6000 оборотов в минуту. При этом у нас и окружная скорость рабочего колеса растет, и скорость движения жидкости растет, и потери на трение у нас растут. Вопрос у меня следующий: проводили ли вы такие исследования, когда непосредственно во внимание бралась именно скорость движения жидкости и потери на трение при одних и тех же условиях абразива, допустим?*

Н.С.: Я считаю, что в УЭЦН влияние скорости, точнее, влияние частоты вращения остается неизученным вопросом. Особенно это очень актуально в случае коррозионно-эрозионного разрушения.

Если отвечать коротко, то эту работу предстоит еще провести. Надеюсь, доложить результаты на следующей конференции.

Вопрос: *Спасибо. Актуальная просто тема с учетом того, что мы сейчас говорим о КПД, об энергоэффективности, но не говорим об износе вообще рабочего колеса. Мы увеличиваем скорость вращения практически в два раза и, действительно, на 30% имеем экономию. Но никто же, в принципе, во времени не показал. Я все жду, когда мне это покажут, как во времени КПД рабочей ступени изменяется...*

Н.С.: Это касается не только износа. Когда мы увеличиваем частоту вращения, то необходимо иметь в виду следующее: есть собственная частота колебаний роторной системы и есть частота вращения — они между собой связаны вполне определенным допустимым соотношением. Вы не можете их абы как соотносить, есть вполне определенное соотношение. Иначе можно попасть в резонанс.

Ведь случаи разрушения валов при испытаниях высокооборотных насосов никак не идентифицируются или идентифицируются неправильно. А на самом деле там может возникать и какой-то резонансный режим. То есть это специальная работа, мы планировали ее поставить с ТНК-ВР, но не удалось в силу известных причин.

В.Кибирев (Baker Hughes): *При выяснении причин отказов у вас хорошие слайды были, где вы указывали на возможные ошибки при определении причин отказов. Может, следовало бы сделать какое-то справочное пособие, чтобы была какая-то третья сторона при рассмотрении причин отказов. То есть всегда между заказчиком и подрядчиком происходят споры. Дабы не было вот таких грубых ошибок и ненужных разборок, такой справочник очень сильно помог бы...*

Н.С.: Это хороший вопрос. Мне кажется, нам удалось провести хорошие исследования по этой теме, их результаты частично опубликованы на страницах технических журналов, в том числе и в «Инженерной практике». Мы продолжаем эту работу и надеемся выпустить две книги по вопросам надежности УЭЦН.

Вопрос: *Так ОПИ оборудования надо проводить или нет?*

Н.С.: ОПИ, конечно, надо проводить, но выборочно, очень тщательно формулируя критерии работоспособности, по которым вы хотели бы получить ответ. Вместе с тем я еще раз повторяю, что без исследования эффективности технических решений, выбора материалов на испытательных стендах по корректным методикам ОПИ — пустая трата времени.

Основное направление развития — четкие стандарты, корректные методики испытаний, единые для всех компаний и заводов. Вот тогда у нас эффективностькратно увеличится!



XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СУРГУТ. НЕФТЬ И ГАЗ

11 - 13 сентября 2013 г.

- 11 сентября 2013 г. - III-я практическая конференция
«Промышленная безопасность: технологии утилизации попутного
нефтяного газа и ликвидации нефтяных загрязнений»
- 12-13 сентября 2013 г. - IV научно-практическая конференция
«Пути повышения энергоэффективности в нефтедобыче»

(3462) 52-00-40, 32-34-53, 32-04-32,
e-mail: expo@wsmail.ru, www.yugcont.ru