

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАБОЙНОГО ДАВЛЕНИЯ НА РЕСУРС УЭЦН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИНЫ

Максимального экономического эффекта от эксплуатации скважины невозможно добиться, не определив ее оптимальное забойное давление. Ведь просто приняв некую величину этого показателя «на свой страх и риск», не получится задать наиболее эффективный режим работы УЭЦН.

В статье представлен технологический вариант решения данной задачи для скважин объекта БВ8 Аганского месторождения.

Выполненный на базе теории надежности статистический анализ работы УЭЦН выявил устойчивую взаимосвязь между величиной забойного давления и надежностью работы установок. На базе выявленных закономерностей было определено оптимальное значение забойного давления, при котором достигается максимальный экономический эффект, а также критическое забойное давление, ниже которого эксплуатация скважины неэффективна при любых экономических и технологических параметрах.

Для определения величины забойного давления, при котором режим работы скважин, оборудованных УЭЦН, оказывается оптимальным, специалисты НГК «Славнефть» обобщили статистические данные по отказам погружного оборудования за период с 2000-го по 2007 год. В рамках этой работы была собрана информация о режимах работы скважин и оборудования за соответствующий период, обобщены данные по конструкции скважин и физико-химическим свойствам пластовых флюидов. После загрузки всего массива информации в базу данных появилась возможность определить забойное давление, при котором достигается наибольший экономический эффект.

Результаты

Анализ сводной диаграммы взаимосвязи между величиной забойного давления, при котором эксплуатируется скважина (Рзаб), и средней наработкой на отказ погружного оборудования (СНО) показал незначительную корреляцию этих параметров: только 4% рассмотренных отказов подтверждают существование зависимости Рзаб и СНО (см. «Корреляция СНО и забойного давления»). Отказ в данном случае рассматривается как достоверное событие, которое со 100%-ной вероятностью можно предсказать и

вывести на этом основании какие-либо функциональные зависимости. Между тем, для исследования надежности отказ оборудования необходимо рассматривать как случайное событие, которое можно предсказать с некоторой степенью вероятности.

Далее отказы УЭЦН были разбиты на группы по соответствующим значениям Рзаб с шагом 1 МПа. Всего выделено 13 групп, для каждой из которых построены фактические функции надежности УЭЦН, которые показывают уровень надежности при заданном диапазоне забойного давления.

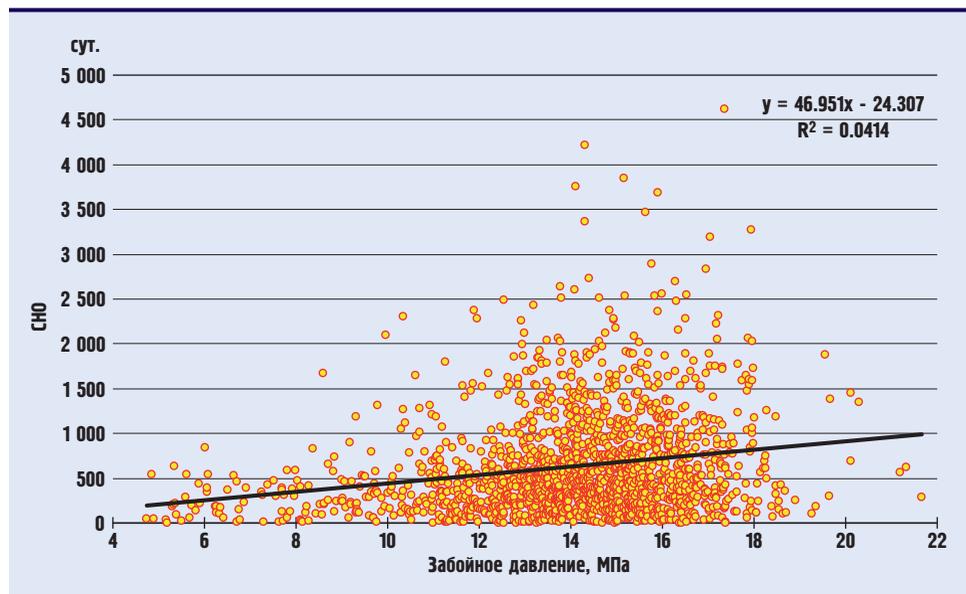
Чем больше величина забойного давления, тем выше располагаются соответствующие кривые функции надежности и тем больше вероятность безотказной работы погружного оборудования (см. «Параметры функций надежности»).

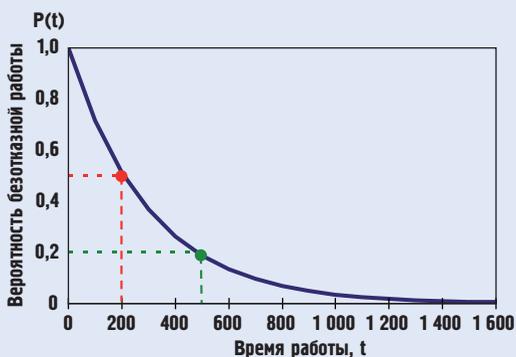
Анализ показал, что полученные фактические функции надежности УЭЦН хорошо согласуются с теоретическими (прогнозируемыми). Коэффициенты детерминации соответствующих экспоненциальных кривых (трендов) изменяются в пределах от 0,82 до 0,99. Среднее значение близко к единице (0,96), что сви-



ВИКТОР МЕЛЬНИЧЕНКО
Главный специалист по технологии и технике добычи нефти ОАО «НПК «Славнефть»

Корреляция СНО и забойного давления





Функция надежности описывается уравнением вида:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

где λ — интенсивность отказов, является локальной характеристикой надежности, определяющей надежность элемента в заданный момент времени. Иными словами, λ есть вероятность того, что элемент, проработавший безотказно до момента t , откажет в последующую единицу времени (если, конечно, эта единица мала). В терминах теории вероятностей λ есть плотность условной вероятности отказа в момент t , при условии, что до этого момента элемент работал безотказно. Зная величину λ , можно рассчитать среднее прогнозируемое время жизни оборудования (прогнозируемое СНО):

$$СНО_{пр} = 1/\lambda$$

Из приведенных закономерностей следует, что чем выше на графике располагается кривая функции надежности, тем меньше значение λ и соответственно больше надежность оборудования.

детельствует о большой степени сходимости теоретических и фактических кривых.

На основе данных построены корреляционные зависимости СНО от Рзаб. На основании проведенной корреляции получено регрессионное уравнение в виде функции $СНО = 495,32 \times \ln(Рзаб)$ —

Исходные данные для расчета экономических результатов, 2008 г.

Цена реализуемой нефти, руб./тн	6 291
НДПИ, руб./тн	3 686
Расходы на добычу жидкости, руб./тж	33,4
Постоянные расходы на 1 скв. в год, тыс. руб./скв.	1 025
Коэффициент дисконтирования, д.е.	0,15
Пластовое давление, МПа	22
Коэффициент продуктивности, м ³ /(сут. МПа)	50
Обводненность продукции скважины, % об	90
Плотность нефти, г/см ³	0,84
Темп падения дебита нефти, %/год	30
Количество дней простоя скважины при текущем ремонте, сут.	7
Стоимость ПРС, тыс. руб.	206
Глубина скважины, м	2 300
Удлинение на ВДП, м	200

678,47 с коэффициентом детерминации 94%, что характеризует данную зависимость как устойчивую и позволяет использовать ее при дальнейших расчетах (см. «Исходные данные для расчета экономических результатов»).

Затраты на приобретение УЭЦН представляют собой зависимость стоимости УЭЦН от производительности и напора установки. Данная зависимость позволяет учитывать увеличение затрат на оборудование при снижении забойного давления, так как при этом увеличиваются необходимый напор и производительность установки.

Поскольку величина СНО УЭЦН может составлять два года и более, расчет экономической эффективности выполнялся методом, основанным на дисконтировании, — методом чистой текущей стоимости (NPV). Денежные потоки по проекту рассчитывались по годам, продолжительность жизни проекта принята за три года.

Определение оптимальной величины

Результаты расчета экономической эффективности эксплуатации скважин с УЭЦН при различных забойных давлениях (см. «Параметры экономической эффективности эксплуатации скважины с УЭЦН при различных забойных давлениях») свидетельствуют о том, что по мере снижения Рзаб выручка от реализации увеличивается, но при этом увеличивается и количество отказов скважин и соответственно — затраты на обслуживание, ремонт и приобретение оборудования.

Вместе с тем, при снижении Рзаб до некоторой величины затраты начинают увеличиваться быстрее, чем выручка, и в результате происходит снижение валовой прибыли и NPV. В данном случае эта величина равняется 8,5 МПа, что и является экономически оптимальным забойным давлением, при котором достигается максимальный экономический эффект.

Необходимо также отметить, что существует критическое забойное давление, ниже которого

добыча нефти и соответственно выручка от реализации начинают уменьшаться на фоне снижения забойного давления. Причина этого явления состоит в том, что дополнительная добыча нефти от снижения забойного давления не компенсирует потери добычи нефти от простоя скважин при ремонтах. В рассмотренном примере величина критического давления равняется 5,0 МПа.

Дополнительные факторы

Приведенные результаты расчета эффективности были выполнены для обводненности продукции скважины равной 90%. Результаты расчетов для других значений обводненности показывают, что величина обводненности является критическим параметром при определении оптимального Рзаб. Чем меньше обводненность скважины, тем меньше и оптимальное Рзаб. Так, при обводненности скважины равной 94% величина оптимального Рзаб составила 12,0 МПа, при 70% — 5,5 МПа, а при нулевой обводненности — 5,0 МПа. При снижении обводненности скважины значение оптимального забойного давления стремится к своей критической величине.

Приведенные расчеты выполнены для погружного оборудования одной группы исполнения, без дополнительного оборудования. При применении дополнительного оборудования (фильтра, ТМС, кожуха и т.д.), а также использовании оборудования более надежного исполнения (нирезист вместо серого чугуна) кривая корреляционной зависимости СНО от Рзаб будет смещаться вверх. К примеру, абразивостойкое оборудование даже при меньших забойных давлениях будет иметь большую наработку на отказ по сравнению с обычным исполнением.

Из сказанного выше следует, что при снижении забойного давления при форсировании отборов жидкости не обязательно должно следовать снижение надежности работы погружного оборудования. При правильном планировании соответствующих мероприятий можно и увеличить среднюю

наработку на отказ УЭЦН на фоне снижения забойного давления.

Выводы

Установление оптимального забойного давления режима работы скважин с УЭЦН позволяет отметить несколько принципиальных моментов.

Во-первых, выполненный на базе теории надежности статистический анализ работы УЭЦН скважин объекта БВ8 Аганского месторождения выявил устойчивую взаимосвязь между величиной забойного давления и надежностью работы УЭЦН.

Во-вторых, на базе выявленных закономерностей возможно определение оптимального значения забойного давления, при котором достигается максимальный экономический эффект.

В-третьих, на величину оптимального забойного давления наибольшее влияние оказывает обводненность продукции скважины.

В-четвертых, существует критическое забойное давление, ниже которого эксплуатация скважины неэффективна при любых макроэкономических и технологических параметрах.

В-пятых, при планировании работы по форсированию отборов жидкости необходимо предусматривать мероприятия по снижению влияния негативных факторов на надежность работы погружного оборудования. 

ВОПРОСЫ ИЗ ЗАЛА

ВОПРОС: Были ли учтены при экономических расчетах операционные затраты, связанные с обводненностью фонда скважин?

В.М.: Да, эти показатели брались в расчет, они учтены в рублях на 1 м³ поднятой жидкости.

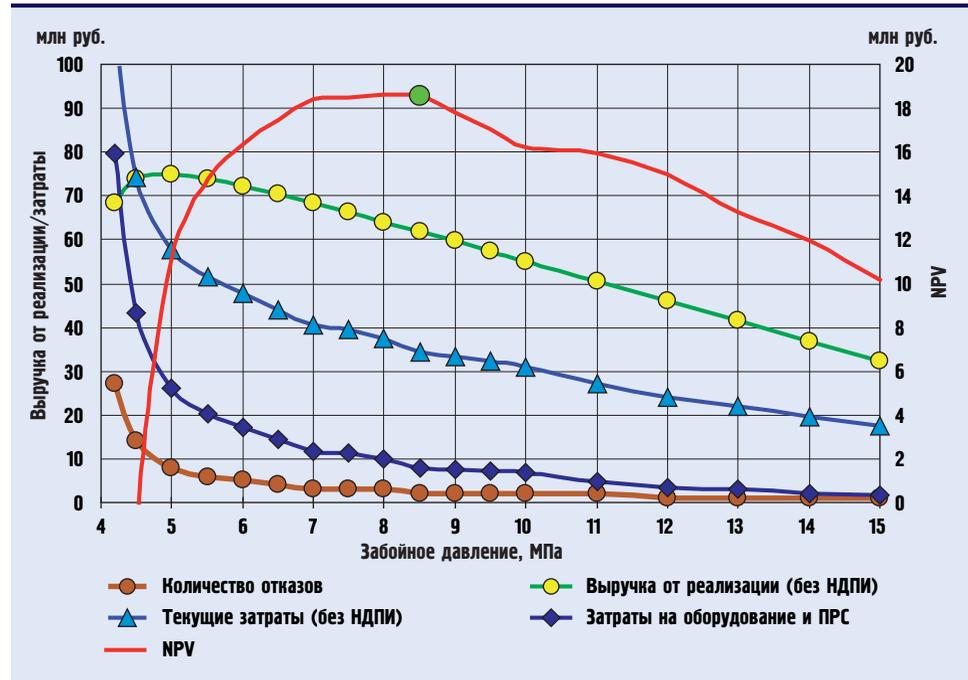
ВОПРОС: Была ли рассчитана экономика исходя из перспектив покупки своего оборудования или оказания услуг сервисными предприятиями?

В.М.: При расчетах мы исходили из возможностей покупки своего оборудования. Однако следует отметить, что с экономической точки зрения затраты будут примерно одни и те же в обоих случаях.

ВОПРОС: Учитывается ли в ваших расчетах забойное давление, указанное в техсхеме эксплуатации скважины?

В.М.: Нет, поскольку это показатель геологический, тогда как задача выявления оптимального показателя забойного давления носит технологический характер.

Параметры экономической эффективности эксплуатации скважины с УЭЦН при различных забойных давлениях



Параметры функций надежности

№ группы	Кол-во отказов в группе	Величина забойного давления, МПа			СНО, сут			Среднее прогнозное время жизни		Коэффициент детерминации (справочно)
		Диапазон	Среднее значение	Средневзвешенное значение	Среднее фактическое время жизни	λ	T=0,5			
1	18	5,0	6,0	5,5	5,4	218	0,0047	213	182	0,9594
2	18	6,0	7,0	6,5	6,4	285	0,0039	256	189	0,9015
3	18	7,0	8,0	7,5	7,7	284	0,0036	278	310	0,8199
4	24	8,0	9,0	8,5	8,5	347	0,0033	303	217	0,9731
5	39	9,0	10,0	9,5	9,5	394	0,0028	357	282	0,9683
6	54	10,0	11,0	10,5	10,6	500	0,0021	476	313	0,9783
7	112	11,0	12,0	11,5	11,5	443	0,0023	435	343	0,9818
8	166	12,0	13,0	12,5	12,6	548	0,0019	526	417	0,9847
9	295	13,0	14,0	13,5	13,5	618	0,0017	588	486	0,9693
10	339	14,0	15,0	14,5	14,5	717	0,0015	667	563	0,9775
11	298	15,0	16,0	15,5	15,5	717	0,0015	667	588	0,9764
12	185	16,0	17,0	16,5	16,4	691	0,0016	625	529	0,9681
13	134	17,0	18,0	17,5	17,8	777	0,0014	714	613	0,9820
Итого	1 700				11,5	503	0,0025	470	387	0,9569