Статистическая теория надежности.

/ Слепченко С.Д., Начальник аналитического отдела



Компания «Новомет» неоднократно обращала Ваше внимание на проблему оценки надежности погружного нефтедобывающего оборудования.

Напомню, речь идет о том, что для правильной - быстрой и точной оценки результатов эксплуатации погружного оборудования, необходимо использовать соответствующие методы статистической теории надежности, поскольку оценки принятые в нефтедобывающей промышленности МРП и «наработка на отказ» достаточной точностью не обладают.

В предыдущих выступлениях мы затрагивали эту проблему с точки зрения Производителя оборудования.

В 2005 г. в составе компании «Новомет» создано сервисное предприятие «Новомет-Сервис», и в сегодняшнем выступлении я хотел бы показать, что может дать сервисной компании использование этих методов.

1. Наработка на отказ, сут.:

HHO = Суммарная наработка отказавших установок за 1 год Число отказов

2. Межремонтный период, сут.:

 $MPII = \frac{\text{Суммарная наработка всех установок за 1 год}}{\text{Число отказов}}$

В начале, коротко, в чем проблема использования МРП и «наработки на отказ» - эти оценки разработаны для описания работы фонда скважин.

При переносе этого подхода на оборудование могут давать ошибочные результаты. МРП дает завышенные оценки при внедрении оборудования, «наработка на отказ» при внедрения оценки получаются заниженные, при снятии с эксплуатации - завышенные.



Ошибки могут быть, настолько серьезными, что эти методы просто нельзя использовать, когда речь идет об оборудовании. Все это статистические проблемы, нельзя использовать подход, предназначенный для описания стационарного потока отказов, а именно по этому принципу рассчитываются МРП и «наработка на отказ», для описания нестационарных событий.

Пример – снятие оборудования с эксплуатации, внедрение прекратилось в 2003 году и «наработка на отказ» уверенно пошла вверх, причем, понятно - растет не надежность оборудования, а статистический показатель. Именно с таким представлением о надежности мы не согласны. Не мы первые заявляем об этой проблеме, это отмечается еще в работах ОКБ БН 80-х годов.



Для оценки надежности <u>непосредственно оборудования</u> следует использовать методы статистической теории надежности. Основные оценки:

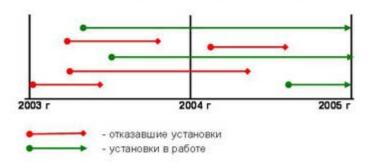
- вероятность безотказной работы доля установок проработавших определенное количество суток без отказа, понятно, что чем больше наработка, тем меньше таких установок, чем выше этот график, тем выше надежность;
- средняя наработка, рассматриваемой партии оборудования, статистически более точный аналог, которой оценка T0.5.

Основные положения статистической теории надежности:

Необходимость оценки надежности при продолжающейся эксплуатации оборудования (наличие отказавших и работающих установок)



Оценка представляет собой прогноз ситуации отказа всех установок.



Выборки для расчета оценок надежности формируются по периоду запуска в эксплуатацию (исследуемое событие – каждый запуск УЭЦН).

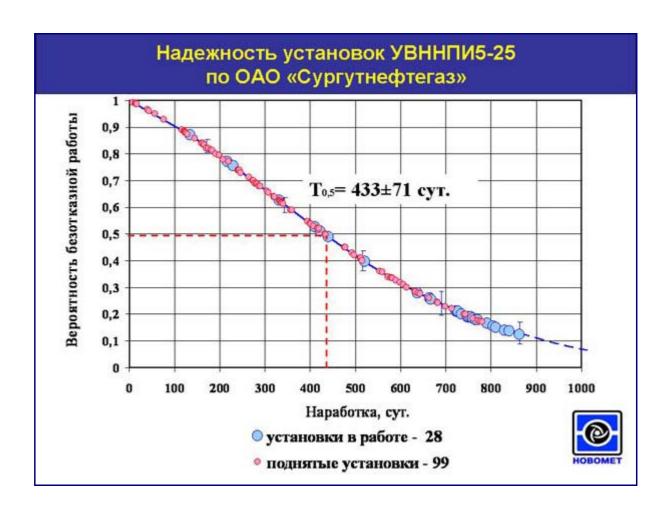


Основанная проблема анализа надежности УЭЦН – практически всегда, оценивать надежность приходится при продолжающейся эксплуатации оборудования.

Т.е. в выборке данных для анализа есть как работающие, так и отказавшие установки – на практике ждать, когда все они откажут нереально.

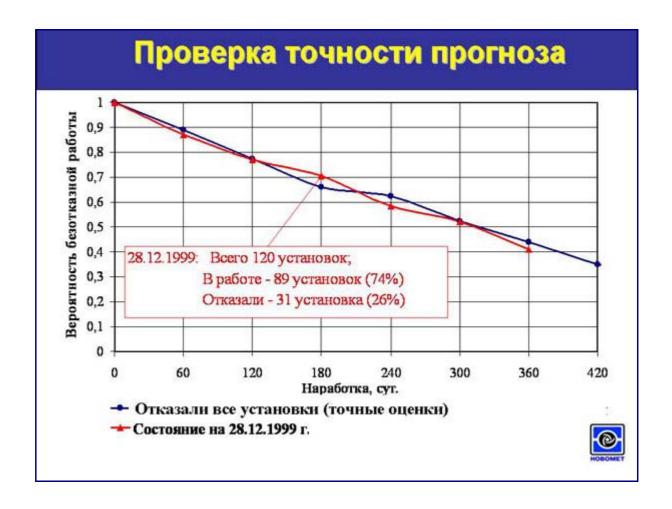
<u>Единственно</u> правильный выход из этой ситуации - давать прогноз, получаемые оценки надежности должны представлять собой прогноз ситуации, когда откажут все запущенные установки.

Такие оценки можно получить с помощью методов СТН, именно их мы и предлагаем использовать.



На практике ситуация выглядит следующим образом — есть работающие установки и есть отказавшие.

Оценка – ВБР и $T_{0.5}$ – прогноз, когда откажут все.



Проверка точности прогноза. Красный график – оценка, когда есть работающие установки, причем не мало – 74%.

Синий график – когда отказали все. Видно, что даже при таком большом количестве работающих установок, метод дает приемлемые по точности результаты.



МРП и «наработка на отказ» не только неточны, но и недостаточны для описания надежности оборудования.

Надежность составное, комплексное понятие – много различных по своей природе факторов определяют наработки УЭЦН до подъема.

Полное описание надежности дает структурный анализ, который заключается в следующем.



Надежность последовательно рассчитывается на нескольких уровнях. Первый уровень – общая надежность – учитываются все подъемы, оценки надежности определяются по всем подъемам независимо от причины.

ОН разделяется на две составляющие:

- ЭН рассчитывается по отказам, связанными с нарушением технологии эксплуатации,
- КН рассчитывается по отказам, произошедшими непосредственно по вине погружного оборудования.



Далее можно провести более детальный структурный анализ. Вероятность проявления отдельных эксплуатационных факторов.



Оценить надежность отдельных узлов УЭЦН. Если мы хотим оценить надежность оборудования, то это только КН. Завод-изготовитель УЭЦН отвечает именно за уровень КН. Если мы хотим разобраться из чего складывается тот или иной уровень общей надежности, т.е. уровень наработок до подъема, нам надо последовательно провести весь структурный анализ.



Представительства:

Сургут Нижневартовск Нефтеюганск Радужный Бузулук Кызылорда (Казахстан)

Сервисные услуги:

- подбор и изготовление оборудования к конкретным скважинам
- услуги по сервисному обслуживанию и прокату УЭЦН
- текущий и капитальный ремонт УЭЦН
- обучение персонала Заказчика
- строительство баз по ремонту УЭЦН
- продажа и сопровождение программного обеспечения

Это было представление метода — теперь на примерах хочу показать, зачем же все это надо сервисной компании. В 2005 г. создано сервисное предприятие «Новомет-Сервис», наши представительства ..., оказываемые услуги

Когда НОВОЕ сервисное предприятие приходит на месторождение, первое, что от него ждут — высоких наработок, увеличение наработок по сравнению с тем, что было ранее. В этом заинтересовано и само сервисное предприятие, т.к. основная форма оплаты сервисных услуг — оплачиваются сутки проката, понятно, чем больше наработка, тем больше заработает сервисная компания.

<u>Таким образом, главный критерий эффективности сервиса – увеличение ОН, т.е. увеличение наработок УЭЦН до подъема.</u>

| Скважина/куст | До внедрения | | "Новомет" | |
|---------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Средняя наработка, сут. | Q ср м3/сут. | Наработка, сут. | Q cp м3/сут. |
| 100 | 81 | 65 | 249 в работе | 67 |
| 46 | 55 | 40 | 16 R-0, 104 в работе | 37,5 |
| 93 | 144 | 60 | 103 негерм. НКТ, 29 в работе | 60 |
| 47 | 46 | 50 | 99 слом вала, 56 в работе | 55 |
| 56 | Фонт. | 30 | 98 в работе | 20 |
| 53 | 110 | 29 | 88 в работе | 33 |
| 51 | Фонт. | 5 | 61 в работе | 5 |
| 75 | 14 | 12 | 47 в работе | 25 |
| 40 | 110 | 25 | 35 в работе | 40 |
| 42 | 21 | 40 | 35 в работе | 50 |
| 77 | Фонт. | 5 | 83 негерм. НКТ | 11 |
| 24 | Фонт. | 20 | 12 полет ЭЦН по НКТ | 58 |

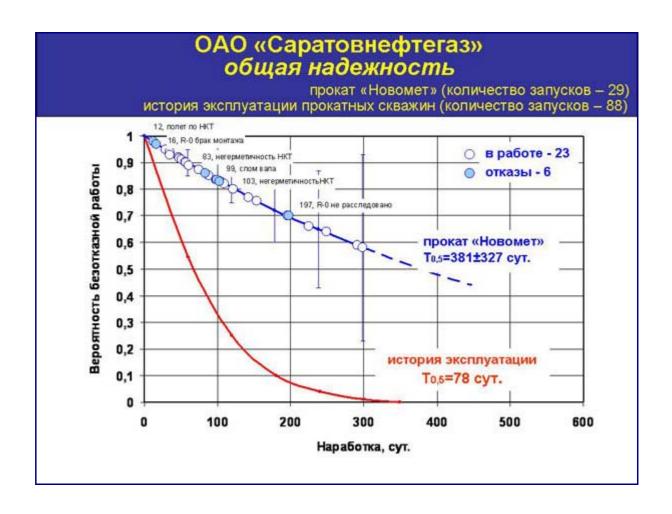
Первый пример — результаты нашей работы в «Саратовнефтегазе». В начале 2005 года «Новомет-Сервису» переданы на обслуживание скважины Белокаменного и Лимано-Грачевского месторождений, результаты на конец октября 2005 года.

Можно составить таблицы, где по каждой скважине отмечаем, что было до нас – наработка, дебит – и какие результаты получены нами.

Результаты внедрения прокатных установок «Новомет» в ОАО «Саратовнефтегаз», м/р Белокаменное

| Скважина | До внедрения | | "Новомет" | |
|----------|----------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| | Средняя наработка, сут. | Q ср м3/сут. | Наработка, сут. | Qср м3/сут. |
| 34 | 18 | 72 | 298 в работе | 50 |
| 60 | Фонт. | 83 | 291 в работе | 105 |
| 6 | 81 | 130 | 225 в работе | 155 |
| 70 | 89 | 267 | 197 в работе | 330 |
| 82 | 150 | 230 | 197 R-0 | 120 |
| 29 | 92 | 200 | 196 в работе | 296 |
| 46 | 125 | 470 | 154 в работе | 465 |
| 100 | 167 | 110 | 142 в работе | 138 |
| 54 | 94 | 175 | 121 в работе | 230 |
| 93 | 102 | 130 | 109 в работе | 195 |
| 53 | 83 | 480 | 74 в работе | 480 |
| 17 | 102 | 400 | 57 в работе | 576 |
| 44 | 51 | 360 | 51 в работе | 465 |
| 18 | 142 | 240 | 48 в работе | 335 |
| 94 | 129 | 370 | 0 Негерм. НКТ | |

Видим, где-то наработка значительно увеличилась, причем без снижения и даже с оптимизацией по дебиту, но где-то пока не ясно – установки в работе с небольшими наработками, есть и отказы при незначительных наработках. Из таблицы никак не оценить, что происходит в целом по проекту.

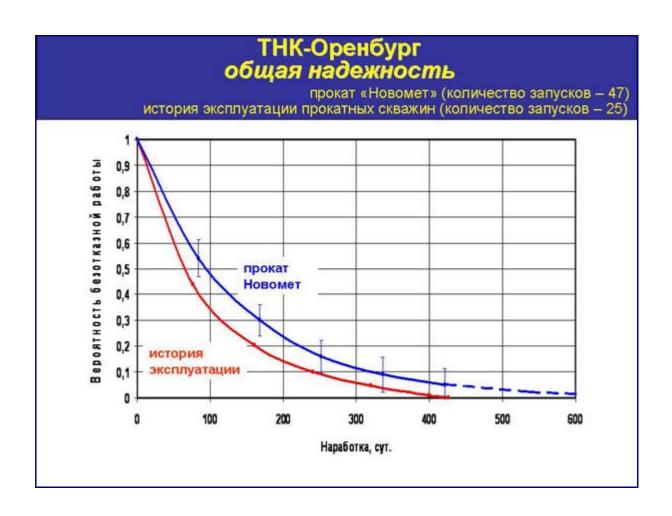


Представление о проекте в целом дает вероятность безотказной работы. Получаем оценку проекта – результат эксплуатации (нашей работы) по состоянию на конец октября 2005 г.

Эта оценка прогноз ситуации, когда откажут все запущенные установки, мы уже сейчас можем оценить есть ли разница с тем, что было до нас. Получаем наглядное распределение наработок – видим при каких наработках, что происходит.

Здесь уже к «Новомету» относится не только КН, но и такие отказы, как «брак монтажа», но если бы их было много, то ВБР была бы много ниже, и мы с Вами на эту тему не разговаривали, нас бы просто не было как самостоятельного предприятия.

В целом же ОН повысилась значительно, и сейчас идут переговоры об увеличении нашего обслуживания в «Саратовнефтегазе». Методы теории надежности здесь — это возможность быстро и точно оценить и показать Заказчику результат работы предприятия.



Теперь пример проекта, где значительного увеличения ОН не произошло (где в среднем больших наработок достичь не удалось) — прокат на месторождениях ТНК-Оренбург.

Но здесь задача стояла намного сложнее - на газоконденсатном месторождении, газовый фактор $380\text{-}510~\text{m}^3/\text{m}^3$, необходимо было перейти на механизированную добычу.

Результаты внедрения прокатных установок «Новомет» в «ТНК-Оренбург», м/р Ольховское

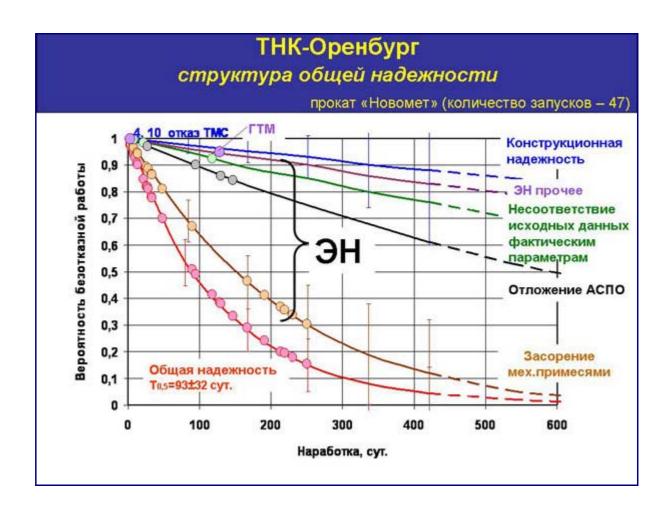
| Скважина | До внедрения | | "Новомет" | | |
|----------|----------------------------|----------------|-------------------------|------------------|--|
| | Средняя наработка, сут. | Qср м3/сут. | Наработка, сут. | Qср м3/сут. | |
| 403 | нгв | 3 | 27, 14, 98 в работе | 24(27), 10(98) | |
| 422 | Фонт. | 2 | 219, 10, 40 в работе | 33(219), 13(40) | |
| 2418 | нгв | 6 | 194 | 10 | |
| 2420 | НВ | 4 | 48, 34 | 24(48) | |
| 2443 | Фонт. | Нет данных | 26 | 18 | |
| 2482 | Нет данных | Нет данных | 128 | 50 | |
| 2504 | Фонт. | 5,9 | 59 | 25 | |
| 2564 | нгв | 2 | 230, 134 в работе | 18(230), 12(134) | |
| 2568 | нв | 1 | 33, 167 | 12 | |
| 2571 | Нет данных | Нет данных | 105 в работе | 55 | |

Результаты внедрения прокатных установок «Новомет» в «ТНК-Оренбург», м/р Загорское

| Скважина | До внедрения | | "Новомет" | |
|----------|--|----------------|------------------------------|----------------|
| | Средняя наработка, сут. | Qср м3/сут. | Наработка, сут. | Qср м3/сут. |
| 43 | Фонт. | 27 | 411 R-0 | 75 |
| 48 | Фонт. | 2,9 | 8,7,250 | 44 |
| 49 | 45,128(H), 39,94(A), 55(Π), 418(H) | 26 | 22 | 76 |
| 3605 | Фонт. | 5 | 147, 130, 13, 13 в работе | 25 |
| 3609 | Фонт. | 6 | 186 | 22 |
| 3612 | Фонт. | 6 | Не вышла на режим | • |
| 3629 | Нет данных | Нет данных | 28, 17 | 68, 89 |

Скважины передавались либо непосредственно после бурения, либо по завершению стадии фонтанирования, либо после неудачных попыток их

перевода на механизированную добычу на стандартном оборудовании по традиционной технологии добычи. При переходе на мех.добычу при нашем прокате дебиты выросли очень значительно, но наработки явно оставляют желать лучшего.



Для того чтобы разобраться, почему это произошло, необходимо провести структурный анализ надежности. Имели место отказы по вине «Новомет» - получено несколько отказов по причине гидравлического разрушения корпусов ТМС, глубины спуска до 3600 метров..

Но основная часть отказов - по причине засорения рабочих органов насоса. Засорение, отложение АСПО – это не наша зона ответственности, но мы не меньше НК заинтересованы в их устранении, для увеличения общей надежности.

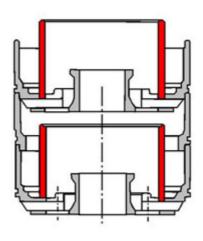
Щелевой фильтр-входной ЖНШ

Предназначен для предотвращения попадания в рабочие органы насосных секций механических примесей с поперечным сечением частиц до 0,2 мм.

Особенности

- Фильтрующие элементы не засоряются, обеспечивая высокий ресурс работы.
- Низкий перепад давления при высоких расходных характеристиках
- Возможность многократного использования.

Шламоуловитель



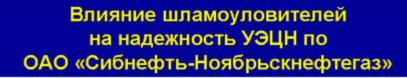
- Очистка пластовой жидкости от мехпримесей.
- Шламоуловитель центробежногравитационного типа может быть оснащен диспергатором.
- Длина: 3 ... 6 м.
- Подача: соответственно производительности насоса.

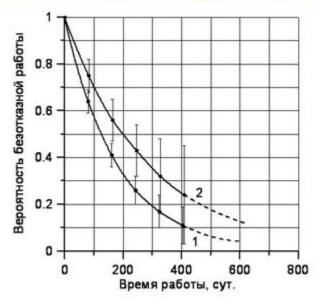


При этом «Новометом» разработано погружное оборудование в составе УЭЦН для борьбы с негативными эксплуатационными факторами. Против засорения это – фильтры ЖНШ и шламоуловители.



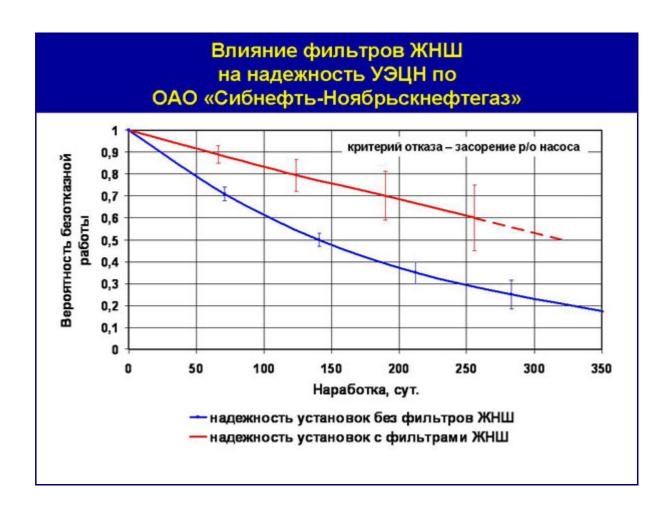
Против отложения солей и АСПО – глубинные дозаторы хим.реагента.





Надежность шламоуловителей, критерий отказа - засорение р/о насоса:

1 - установки без шламоуловителей, 2 - установки со шламоуловителями «Новомет»



Эффективность, которых, подтверждена результатами эксплуатации. Их внедрение, должно привести к увеличению наработок. И это наш следующий шаг при прокате в Оренбурге, то есть первоначально цель проекта — переход на мех.добычу с оптимизацией дебита себя оправдала, но выявлены определенные проблемы, которые надо решать на следующем этапе.



Используя МСТН можно спрогнозировать увеличение наработок, которое произойдет при внедрении того или иного оборудования, тех или иных мероприятий по повышению надежности.

В целом задачу можно сформулировать следующим образом – просчитать прогноз увеличения ОН по некоторому месторождению, когда на него приходит сервисная компания.

Пример решения такой задачи по одному из подразделений «Юганскнефтегаза». В начале определяется существующий уровень ОН по рассматриваемому региону.



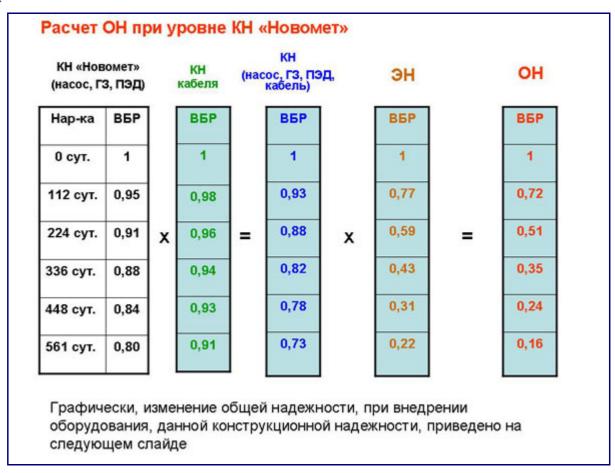
Далее разделение ОН на Э и КН.







Далее, по этому же региону определяем уровень КН новых узлов нашего производства – именно их внедрение будет происходить. Понятно, что уровень КН внедряемого оборудования должен быть выше существующего уровня.

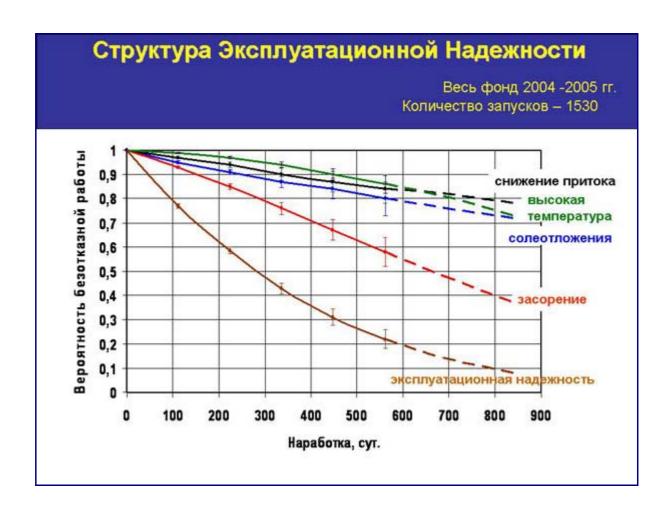


Поскольку это не полнокомплектные установки, а отдельные узлы необходимо по правилу перемножения вероятностей независимых событий определить их совместную КН - получим КН новых полнокомплектных установок «Новомет».

Далее считаем, что поставки кабеля не наши, т.е. уровень КН кабеля без изменений, перемножая получим уровень КН по фонду (см. слайд 26), но при внедрении «Новомета», умножив на существующий уровень ЭН, считаем пока, что на него тоже не влияем, получим прогноз ОН при внедрении установок «Новомет».

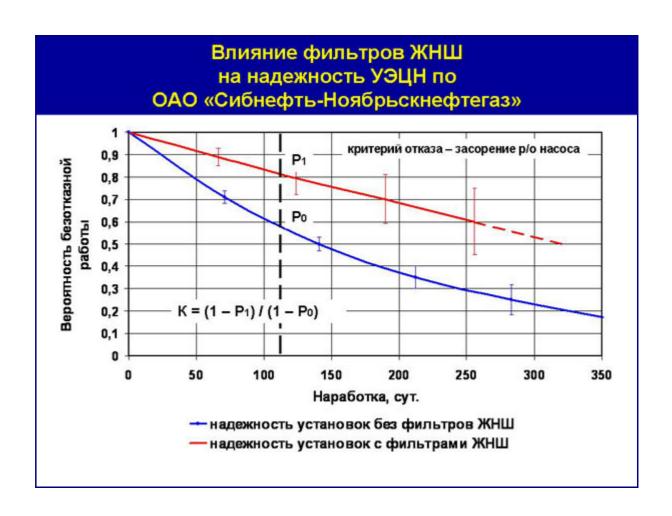


Представив расчеты графически, получаем наглядное представление об изменении уровня ОН – средняя наработка до подъема вырастет на 47 сут. (на 26%).

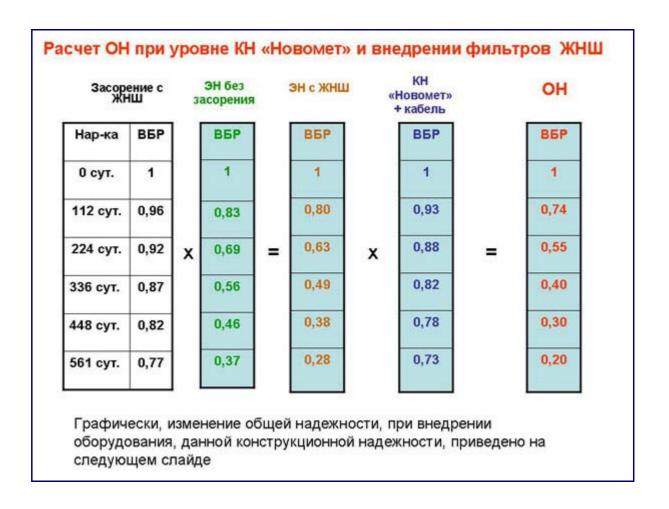


Как уже было сказано, у нас есть оборудование для борьбы с негативными эксплуатационными факторами, следующий шаг — прогноз изменения ОН при воздействии на эксплуатационные отказы.

Определяется структура ЭН. Допустим мы хотим проследить эффект от внедрения фильтров ЖНШ.



Через систему коэффициентов рассчитывается вероятность отказа по засорению при использовании фильтров ЖНШ с учетом эксплуатации ЖНШ в других регионах.



Перемножив эту вероятность с вероятностью эксплуатационных отказов без засорения получим уровень ЭН при внедрении ЖНШ, умножив на КН установок «Новомет», получим прогнозируемый уровень ОН.



Графическое представление – увеличение средней наработки до подъема на 76 сут. (на 42%).



Аналогично можно спрогнозировать эффект от других мероприятий – внедрение ингибитора, повышение качества обслуживания и совокупный эффект от всех мероприятий.

На этом примере он составит 116 сут. (65%). Эти цифры и составляют предмет переговоров с Заказчиком – устраивают или нет, стоят ли тех денег, которые будут потрачены.

Вот те основные моменты, о которых хотел рассказать – зачем нужна теория надежности сервисной компании.



Все расчеты, о которых рассказал Вам сегодня, реализованы в компьютерной программе NovometStat-Pro.

Программа прошла гос.регистрацию и является законченным пользовательским продуктом, который мы предлагаем к распространению как один из продуктов компании.

Публикации:

| № п/п | Название | Журнал | Номер |
|----------|---|---|---------------|
| 1 | Статистический анализ надежности погружных установок в реальных условиях эксплуатации | Надежность и сертификация оборудования для нефти и газа | №3 2003 г. |
| 2 | Надежность погружного оборудования в осложненных условиях месторождений ОАО «Юганскнефтегаз» | Технологии ТЭК | №5 2004 г. |
| 3 | Методика определения надежности погружного оборудования и опыт ее применения | Технологии ТЭК | №3 2005 г. |
| 4 | Procedure of submersible equipment reliability measurement and experience of its implementation | ESP Workshop Houston, April 2005 | 2005 |

WWW.NOVOMET.RU

Подробная информация о программе, о теоретических методах, которые легли в ее основу, о возможностях ее применения представлена в следующих публикациях. С ними Вы можете ознакомиться на сайте компании.