

Статистическая теория надежности.

/ Слепченко С.Д., Начальник аналитического отдела

Статистическая теория надежности.

Перспективы использования для анализа отказов УЭЦН



Тема моего выступления — Перспективы использования статистической теории надежности для анализа отказов УЭЦН. С докладами на озвученную тему компания «Новомет» уже выступала неоднократно на конференциях. Многие из Вас и этими выступлениями знакомы. Но мы по-прежнему считаем, что к этой теме надо привлекать внимание, поскольку проблема объективной оценки надежности погружного оборудования остается для нефтедобывающей отрасли актуальной.

Показатели надежности

Показатели надежности невосстанавливаемых объектов		Показатели надежности восстанавливаемых объектов	
Вероятность безотказной работы	$P(t)$	Наработка на отказ	$I_r(t)$
Средняя наработка до отказа	$T_{ср}$	Средняя наработка между отказами	$T_k(t)$
Гарантированный ресурс	$T_{0,5}$	Вероятность восстановления	$P_B(t)$
Интенсивность отказов	$\lambda(t)$	Параметр потока отказов	$\omega(t)$
Плотность вероятности отказа	$f(t)$	Интенсивность восстановления	$\mu(t)$

Оценки, принятые в отрасли, утвержденные к применению в большинстве нефтяных компаний: межремонтный период, наработка на отказ — при оценке надежности непосредственно оборудования имеют недостаточную точность. Приведу примеры характерных проблемных ситуаций, возникающих при их использовании, на предыдущих выставках и конференциях мы это показывали.

Для оценки непосредственно оборудования следует использовать другие статистические подходы теории надежности. В соответствии с техническим условиями УЭЦН является восстанавливаемое ремонтируемое изделие. В соответствии с теорией надежности таких изделий описывают показатели безотказности, основные из которых:

- вероятность безотказной работы;
- средняя наработка до отказа;
- гарантированный ресурс.

Анализ надежности УЭЦН показатели безотказности



Вероятность безотказной работы (функция времени) — доля установок, отработавших время t без отказа. В зарубежных источниках также используется эта функция и называется она функцией надежности.

Анализ надежности УЭЦН показатели безотказности

Определяется надежность партии установок

N – количество установок в партии.

t_1, t_2, \dots, t_N – наработки до отказа установок исследуемой партии

Вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} \quad n(t) - \text{число отказов от } 0 \text{ до } t$$

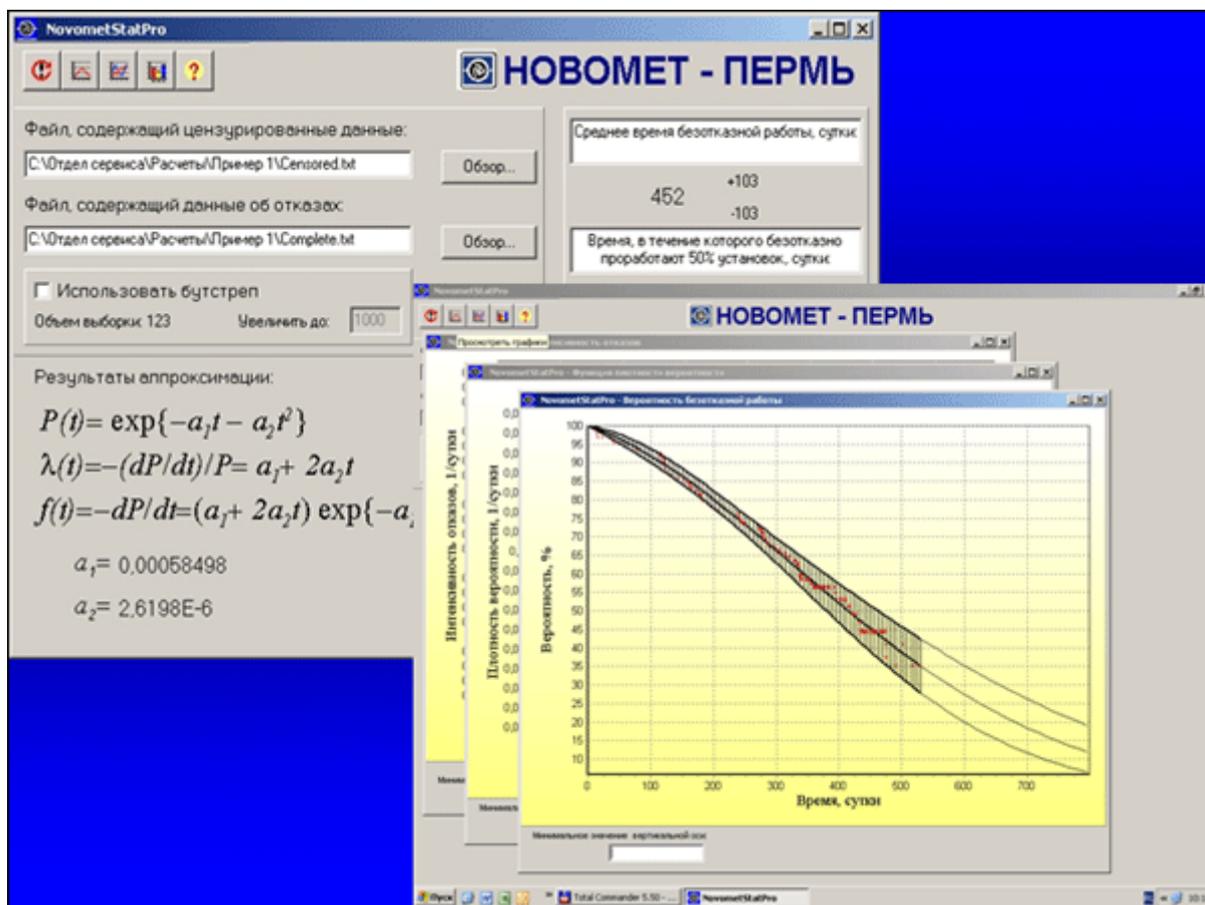
Средняя наработка до отказа, сум.:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N t_i$$

Гарантированный ресурс, сум.:

$T_{0.5}$ – время, которое безотказно проработает 50% установок

Важный момент — оценивается надежность конкретной партии установок, а не фонда скважин. По результатам эксплуатации этих установок получаем распределение наработок до отказа, нам его надо количественно описать, для этого и используем показатели безотказности. Все было бы просто, если бы у нас были только отказавшие установки.



Эти методы, позволяющие получать прогноз, реализованы нами в программе Novomet Stat-Pro — программе расчета надежности УЭЦН по эксплуатационным данным.

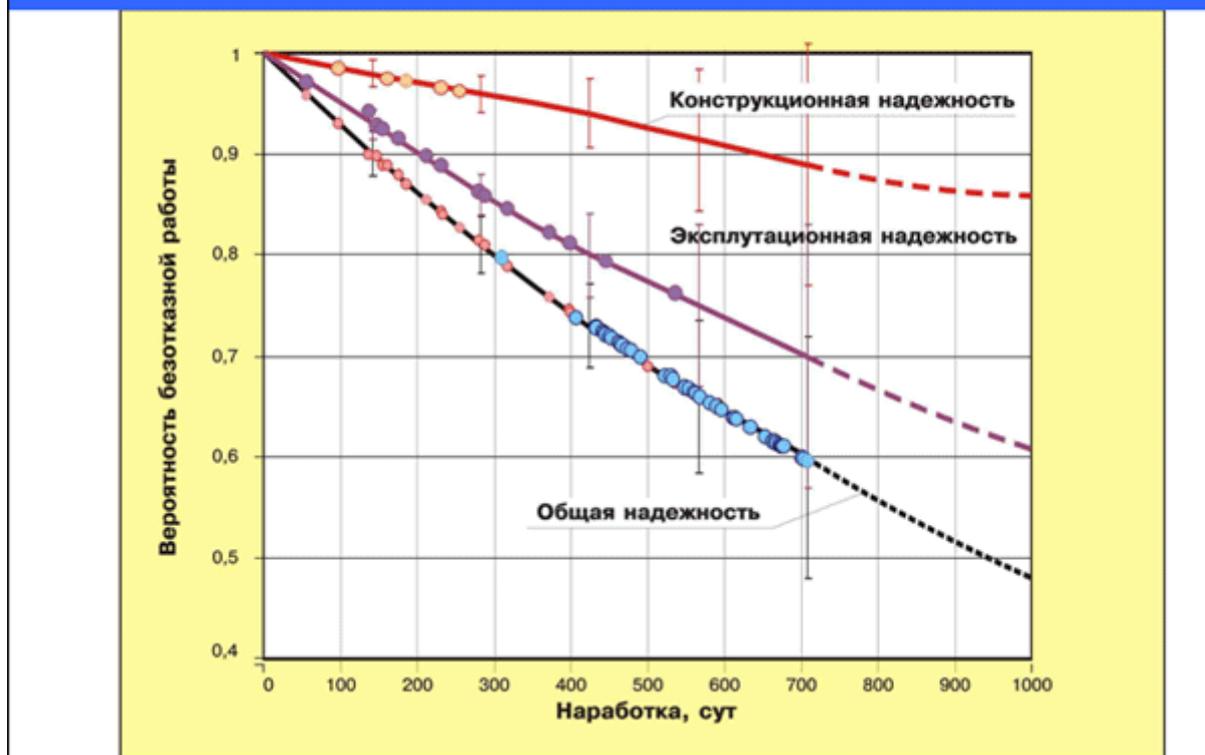
Структурный анализ надежности



Один из самых важных моментов использования программы: методы, в нее заложенные, позволяют проводить структурный анализ надежности УЭЦН, т.е. последовательно рассчитать общую, эксплуатационную и конструкционную надежность. В самом таком разделении ничего нового нет, это общепринятое для отрасли деление, но учет различных причин отказов должны вестись правильно, это значит, что должна быть определена вероятность тех или иных причин отказа по отношению ко всем запущенным установкам.

Структурный анализ надежности

вероятностное представление



Получаем следующее вероятностное представление, она разделено на две составляющие. Если мы хотим оценить надежность оборудования, то это только конструкционная надежность — вероятность возникновения отказа по вине оборудования по отношению ко всем запущенным установкам. В соответствии с теорией так правильно оценивать надежность непосредственно оборудования. Я понимаю, что для кого-то я повторяюсь, обо всем это мы неоднократно рассказывали, но я хотел бы еще раз вынести на обсуждение основные моменты анализа надежности УЭЦН.

1. Методы статистической теории надежности для сервиса



В предыдущих выступлениях мы затрагивали эту проблему с точки зрения производителя оборудования. В 2005 году в составе компании «Новомет» создано сервисное предприятие «Новомет-Сервис», и, первое, на что хотел бы обратить Ваше внимание в сегодняшнем выступлении, что может дать сервисной компании использование представленных методов.



НОВОМЕТ-СЕРВИС

■ СЕРВИСНЫЕ УСЛУГИ ■ ПРОКАТ ЭЛЕКТРОПОГРУЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ■ СУПЕРВАЙЗИНГ

ОБЩЕСТВО
С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

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

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

Скважина	До внедрения		"Новомет"	
	Средняя наработка, сут.	Q _{ср} м3/сут.	Нарработка, сут.	Q _{ср} м3/сут.
34	18	72	335 R-0	50
60	Фонт.	83	387 R-0	105
6	81	130	370 в работе	155
70	89	267	342 в работе	330
82	150	230	197 R-0, 134 в работе	120
29	92	200	338 в работе	296
46	125	470	300 в работе	465
100	167	110	295 в работе	138
54	94	175	308 в работе	230
93	102	130	257 в работе	195
53	83	480	132 в работе	480
17	102	400	91 в работе	576
44	51	360	197 в работе	465
18	142	240	255 в работе	335
94	129	370	0 негерм. НКТ	

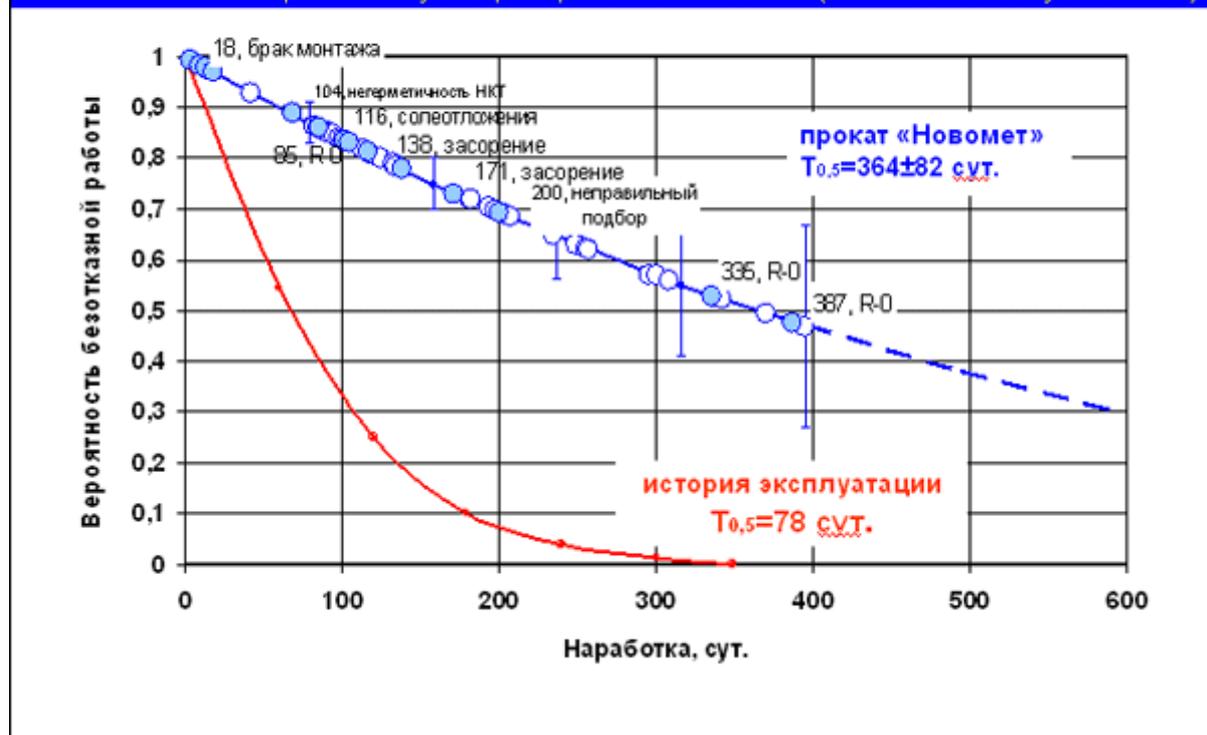
Первый пример – результаты нашей работы в «Саратовнефтегазе». В начале 2005 года «Новомет-Сервису» переданы на обслуживание скважины Белокаменного и Лимано-Грачевского месторождений, результаты на начало марта 2006 года. Можно составить таблицы, где по каждой скважине отмечаем, что было до нас – наработка, дебит – и какие результаты получены нами.

Результаты внедрения прокатных установок «Новомет» в ОАО «Саратовнефтегаз», м/р Лимано-Грачевское

Скважина/куст	До внедрения		"Новомет"	
	Средняя наработка, сут.	Q _{ср} м3/сут.	Нарработка, сут.	Q _{ср} м3/сут.
100	81	65	395 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, 203 в работе	55
56	Фонт.	30	138, нет подачи, 100 в работе	20
53	110	29	234 в работе	33
51	Фонт.	5	207 в работе	5
75	14	12	193 в работе	25
40	110	25	182 в работе	40
42	21	40	181 в работе	50
77	Фонт.	5	83 негерм. НКТ	11
24	Фонт.	20	12 полет ЭЦН по НКТ	58

ОАО «Саратовнефтегаз» общая надежность

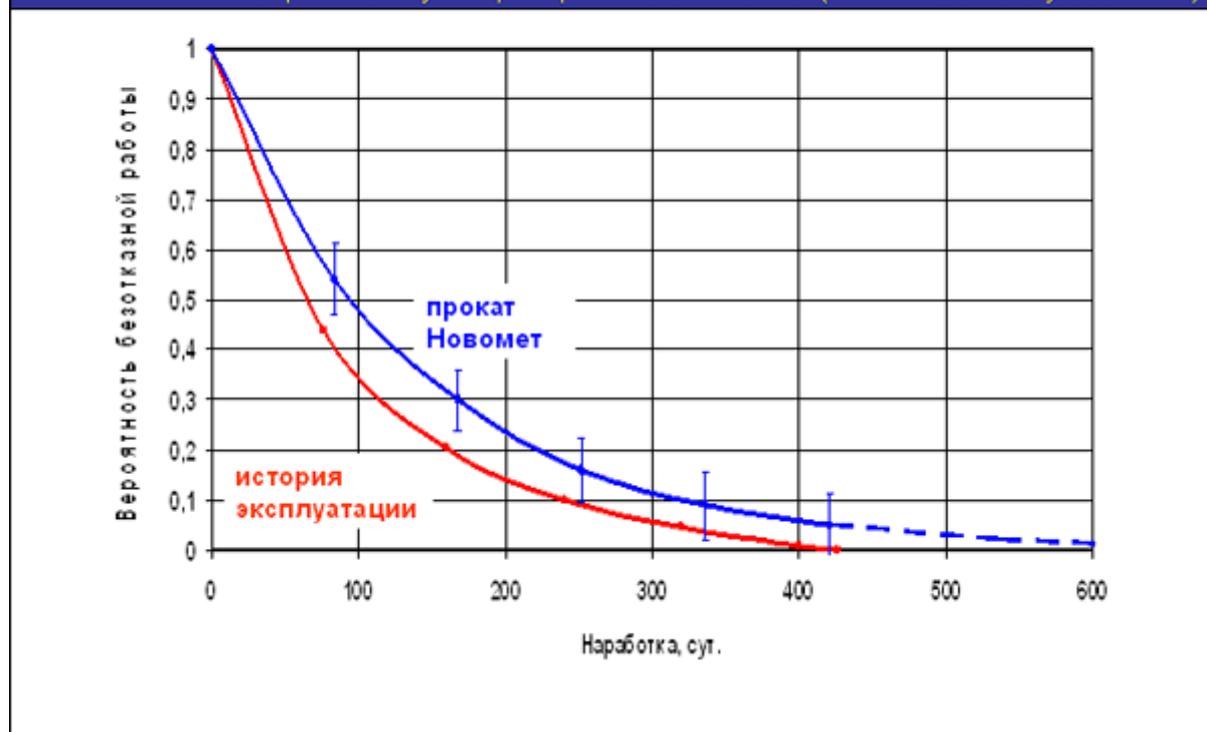
прокат «Новомет» (количество запусков – 48)
история эксплуатации прокатных скважин (количество запусков – 88)



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 начало 2006 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, методы теории надежности здесь – возможность быстро и точно оценить и показать Заказчику результат работы предприятия.

ТНК-Оренбург общая надежность

прокат «Новомет» (количество запусков – 47)
история эксплуатации прокатных скважин (количество запусков – 25)



Теперь пример проекта, где значительного увеличения ОН не произошло – прокат на месторождениях ТНК-Оренбург. Но здесь задача стояла намного сложнее - на газоконденсатном месторождении, газовый фактор $380-510 \text{ м}^3/\text{м}^3$, необходимо было перейти на механизированную добычу. 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.

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

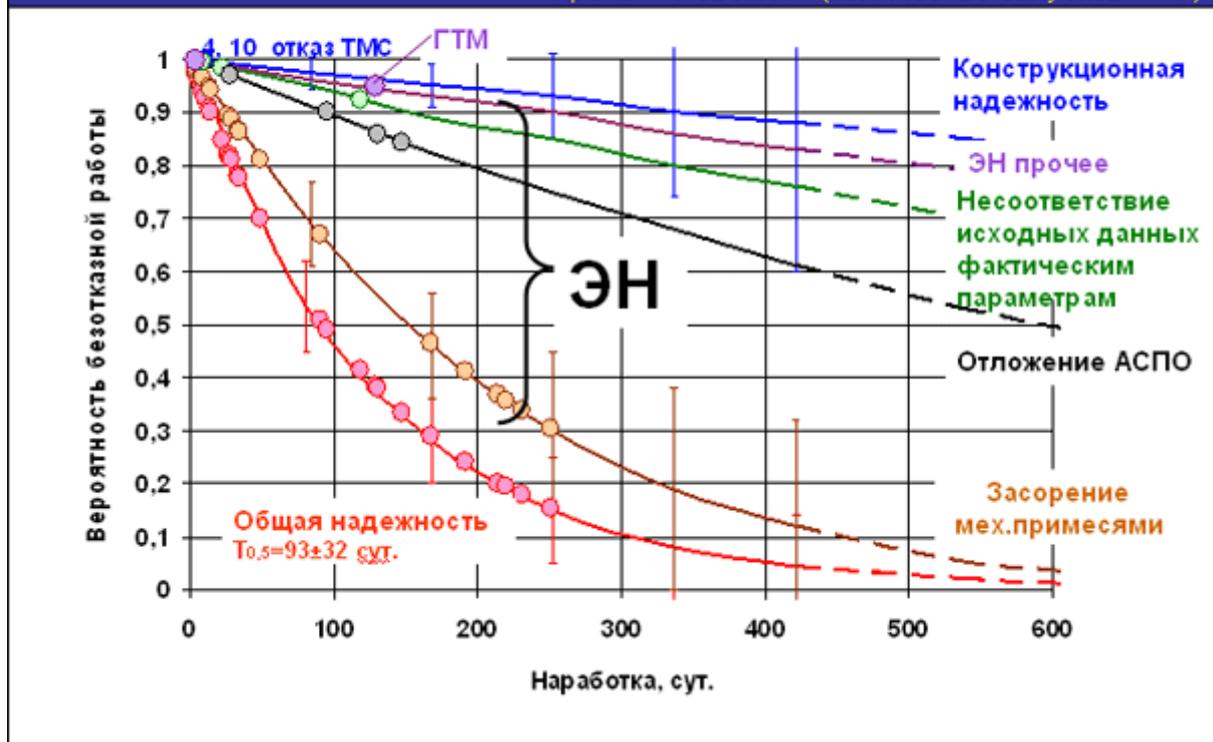
Скважина	До внедрения		"Новомет"	
	Средняя наработка, сут.	Q _{ср} м3/сут.	Нарботка, сут.	Q _{ср} м3/сут.
403	НГВ	3	27, 14, 98 в работе	24(27), 10(98)
422	Фонт.	2	219, 10, 40 в работе	33(219), 13(40)
2418	НГВ	6	194	10
2420	НВ	4	48, 34	24(48)
2443	Фонт.	Нет данных	26	18
2482	Нет данных	Нет данных	128	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.	Q _{ср} м3/сут.	Нарботка, сут.	Q _{ср} м3/сут.
43	Фонт.	27	411 R-0	75
48	Фонт.	2,9	8,7,250	44
49	45,128(Н), 39,94(А), 55(Л), 418(Н)	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

ТНК-Оренбург структура общей надежности

прокат «Новомет» (количество запусков – 47)



Для того чтобы разобраться, почему это произошло, необходимо провести структурный анализ надежности. Имели место конструкционные отказы - получено несколько отказов по причине гидравлического разрушения корпусов ТМС, но 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. И мы решаем эту проблему внедрением дополнительного оборудования в составе УЭЦН для борьбы с негативными эксплуатационным факторами.

Щелевой фильтр-входной ЖНШ

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

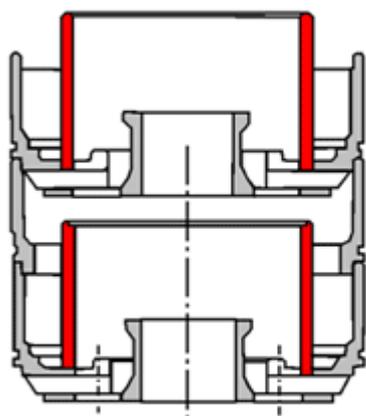
Особенности

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



Против засорения это – фильтры ЖНШ и шламоуловители.

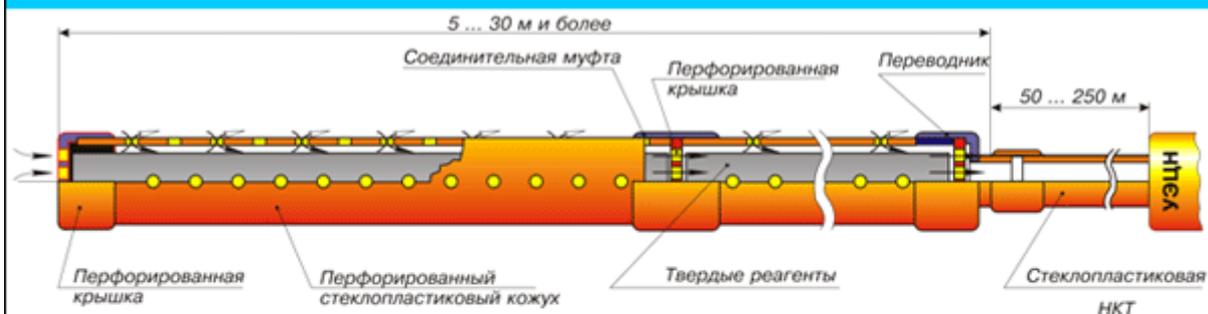
Шламоуловитель



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



Контейнер с твердыми реагентами для предотвращения АСПО, солеотложений и коррозии



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

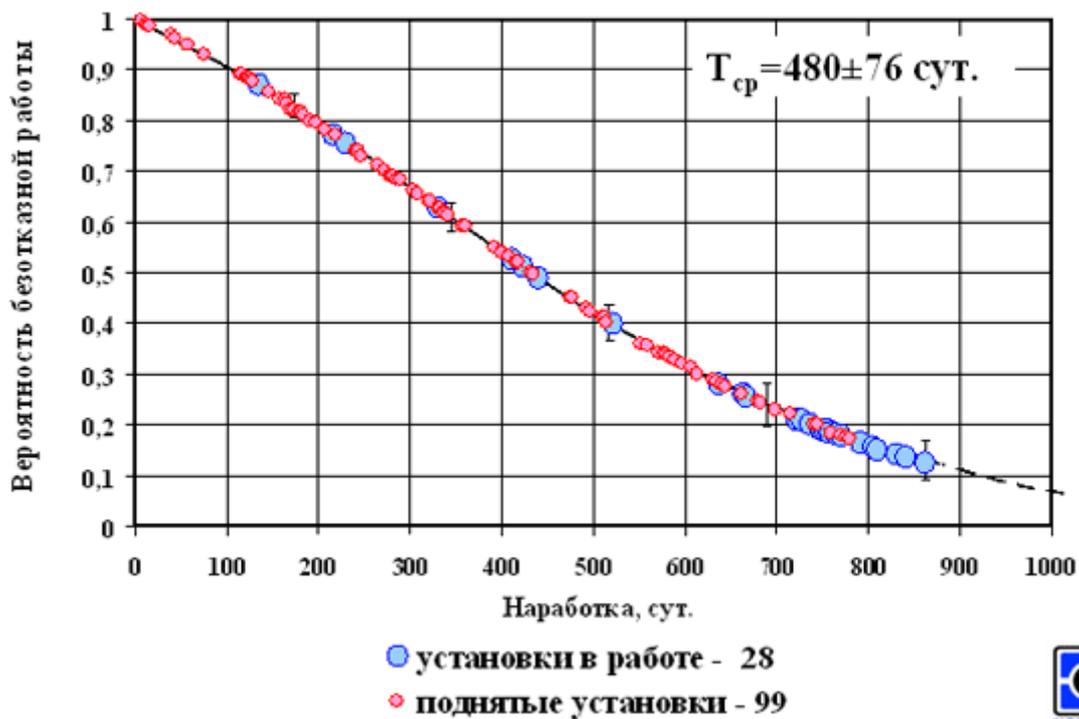
2. Сургут 1000

оценка на **01.03.2006 г.**

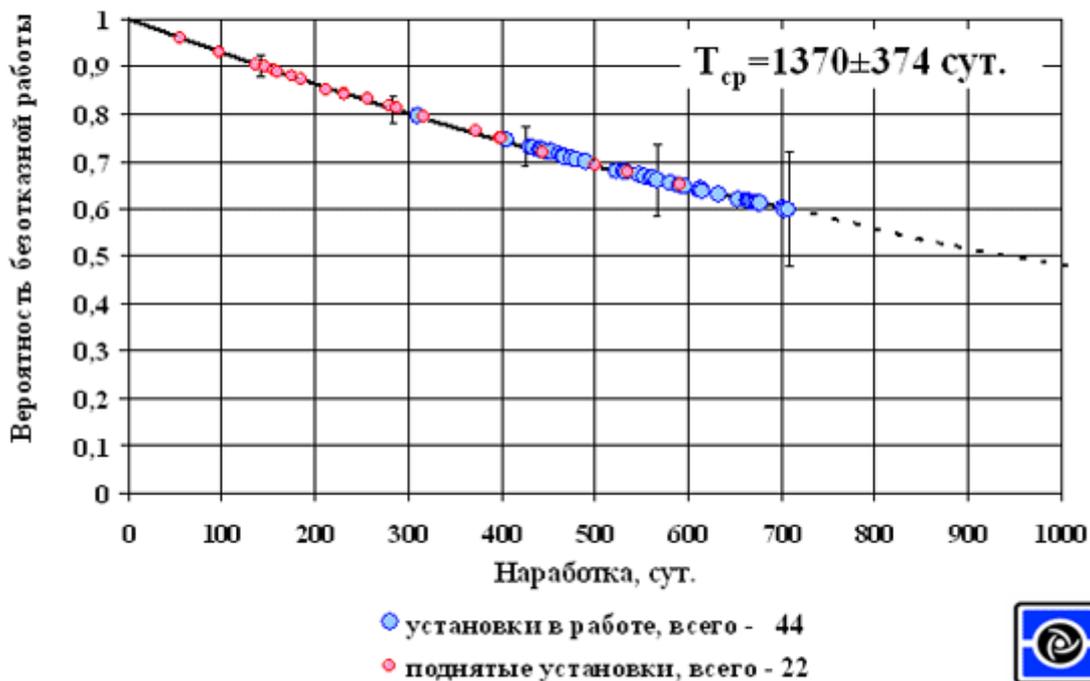


Далее, второй момент, на который хотел обратить Ваше внимание. При использовании представленных методов теории надежности, один из главных вопросов – подтверждение точности прогнозных оценок.

ОАО «Сургутнефтегаз»
общая надежность установок УВННПИС-25
состояние на 22.01.2005 г.



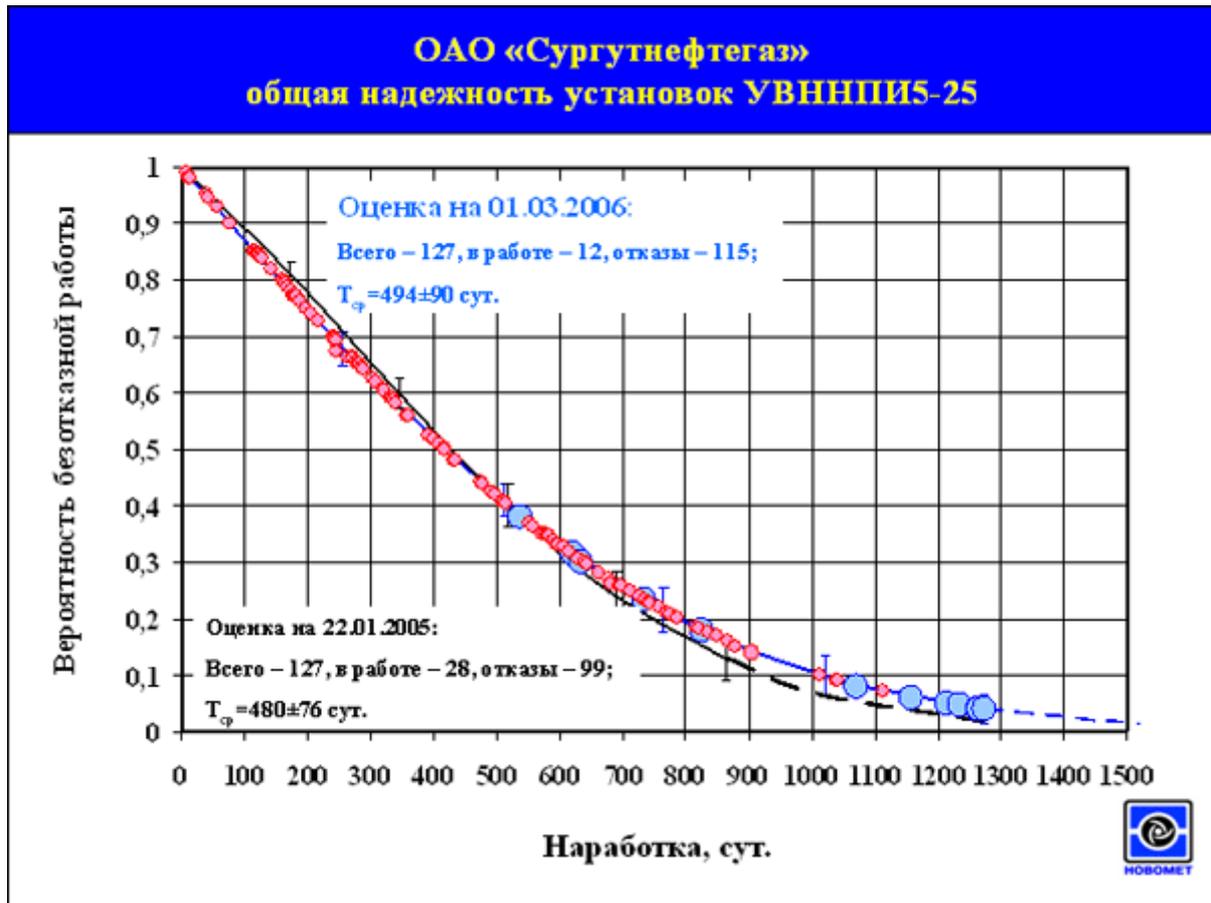
ОАО «Сургутнефтегаз»
общая надежность установок УВННПИС-79
состояние на 22.01.2005 г.



В прошлогоднем выступлении здесь на конференции, были представлены результаты эксплуатации установок «Новомет» с гарантией 1000 сут. по «Сургутнефтегазу». Напомню, это установки повышенной надежности с насосами износостойкого и износо-коррозионностойкого исполнения, типоразмер: 25-ки и 79-ки. Вот слайды с предыдущей конференции. Как было

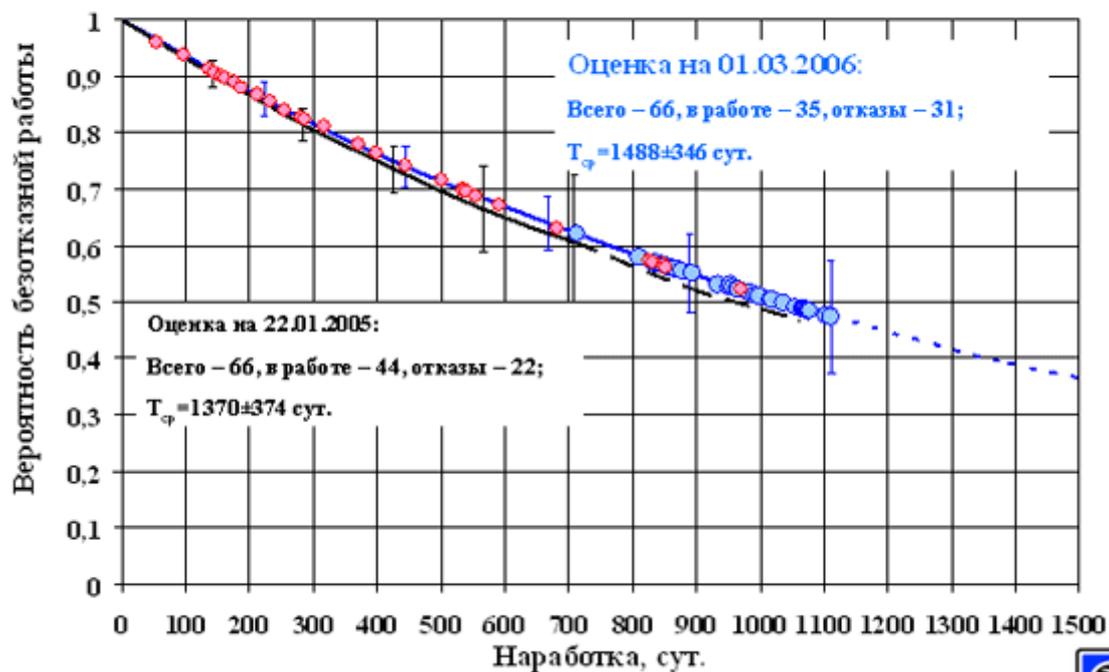
сказано в докладе, гарантией 1000 сут., мы объявили 1000-суточную надежность этих установок, и в ходе выступления было показано, что установки такой надежностью обладают.

И это вызвало, я думаю, естественное на тот момент, недоверие, как видно на слайде 1000-суточных наработок на тот момент не было.



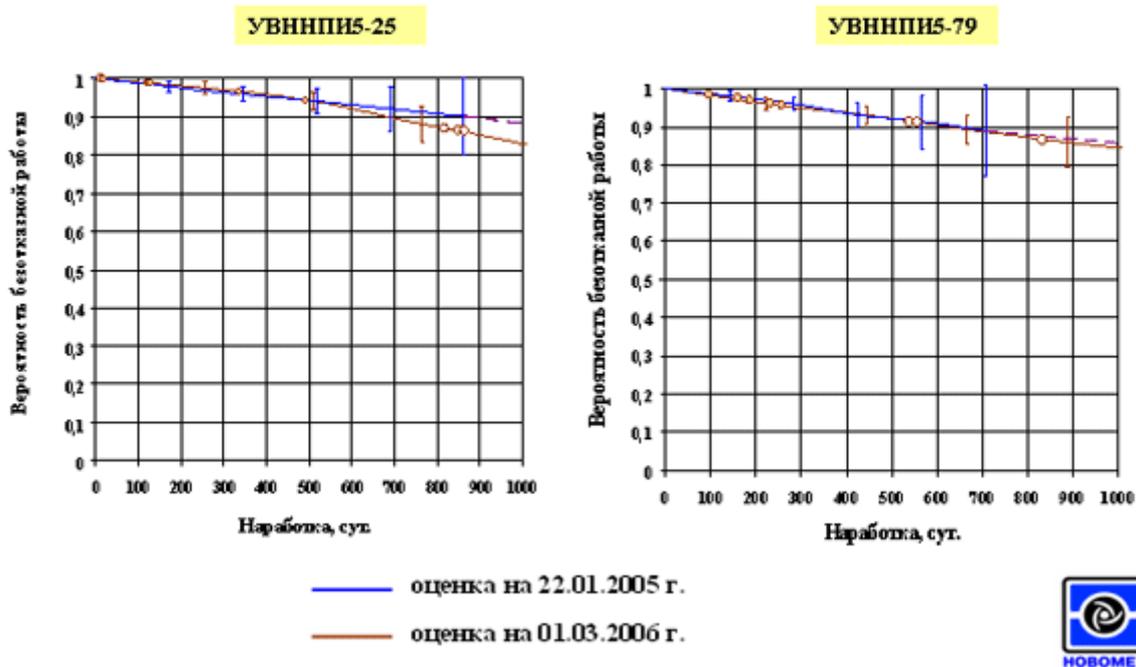
Расчет на 01.03.2006 г. Прошел год, рубеж наработок в 1000 сут. пройден. Сейчас можем посмотреть насколько точны оказались наши прогнозы. Черный график - прошлогдняя оценка, синий – расчет по последним данным. Естественно графики один в один не совпадают, но они достаточно близки и самое главное совпадают в пределах погрешности.

ОАО «Сургутнефтегаз»
общая надежность установок УВННШ5-79



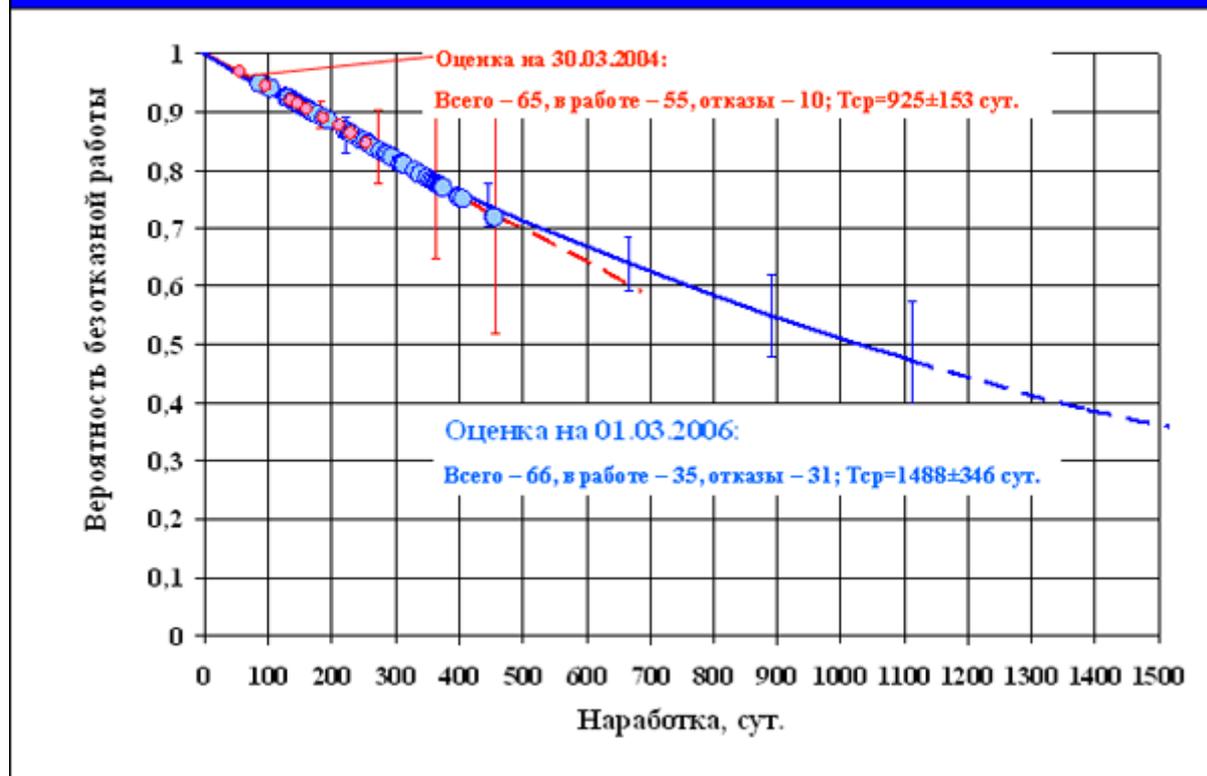
Особенно интересна ситуация с 79-ми, здесь с точностью прогноза могли быть проблемы. Год назад – много работающих и относительно небольшой период эксплуатации. Вот эти работающие установки (слайд 24) могли отказать при длительной наработке и оценки надежности могли снизиться, как видим (слайд 27) этого не произошло. Прогноз, который мы давали год назад – в пределах погрешности точен.

ОАО «Сургутнефтегаз» Конструкционная надежность установок «Новомет»



Причем, был дан точный прогноз, не только общей, но и конструкционной надежности.

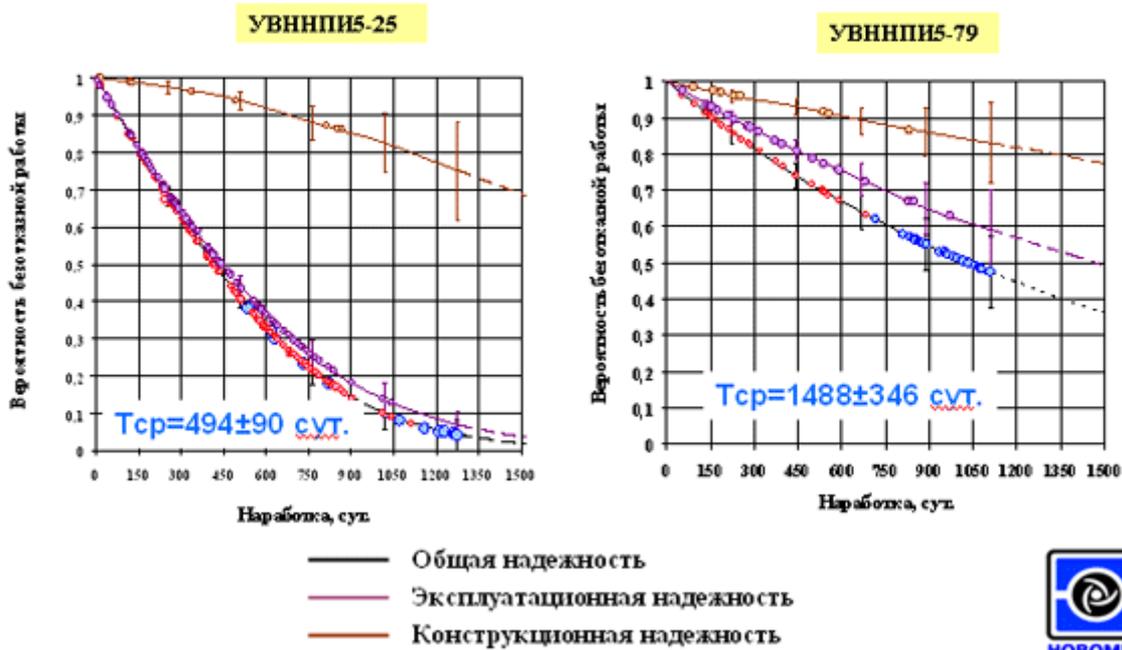
ОАО «Сургутнефтегаз»
общая надежность установок УВННПИС-79



При этом, самый первый прогноз мы давали еще раньше, было совещание в Сургуте в марте 2004 года. Представили следующие оценки – красный график. И уже тогда, при очень большом количестве работающих – 55 из 65, незначительном периоде эксплуатации – максимальная наработка 450 сут., мы дали прогноз, что средняя наработка до подъема составит 1000 сут., который подтверждается по последним данным.

Но эта оценка (синий график) тоже прогноз только по более уточненным данным, половина установок партии все еще остается в работе. И чтобы быть до конца уверенным в точности, надо дождаться момента, когда все они откажут. Но здесь важна своевременность и актуальность оценок, зачем и нужно все это прогнозирование – эти установки (слайд 29) могут проработать еще и год, и два. К тому моменту, когда все они откажут, с момента внедрения пройдет 5-6 лет, и задача определения их надежности потеряет всякую актуальность. Оценивать надежность требуется, задолго до отказа всех установок, и предлагаемые методы теории надежности позволяют это делать.

ОАО «Сургутнефтегаз»
Структурный анализ надежности установок «Новомет»
состояние на 01.03.2006 г.

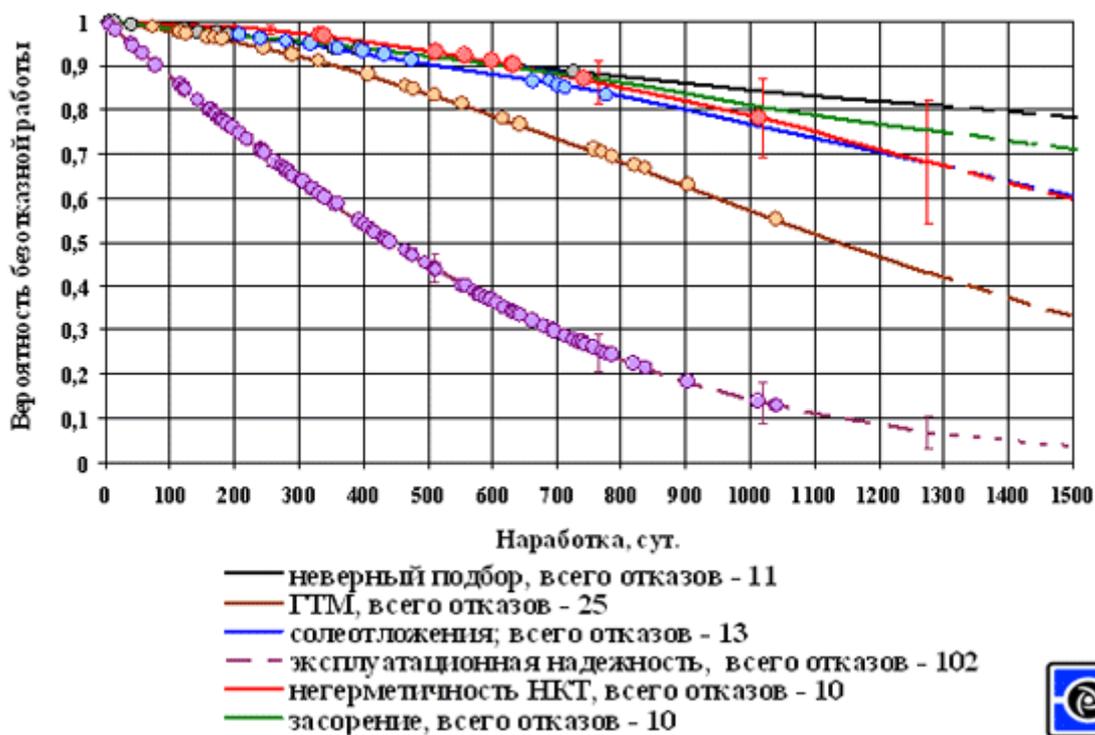


Что же касается установок по «Сургутнефтегазу». Сейчас когда, с момента внедрения прошло три года, достигнуты большие наработки, можно подвести итоги эксплуатации этих установок.

Общая надежность: средняя наработка до подъема 25-к – порядка 500 сут., 79-к в 2 раза больше – 1000 сут.

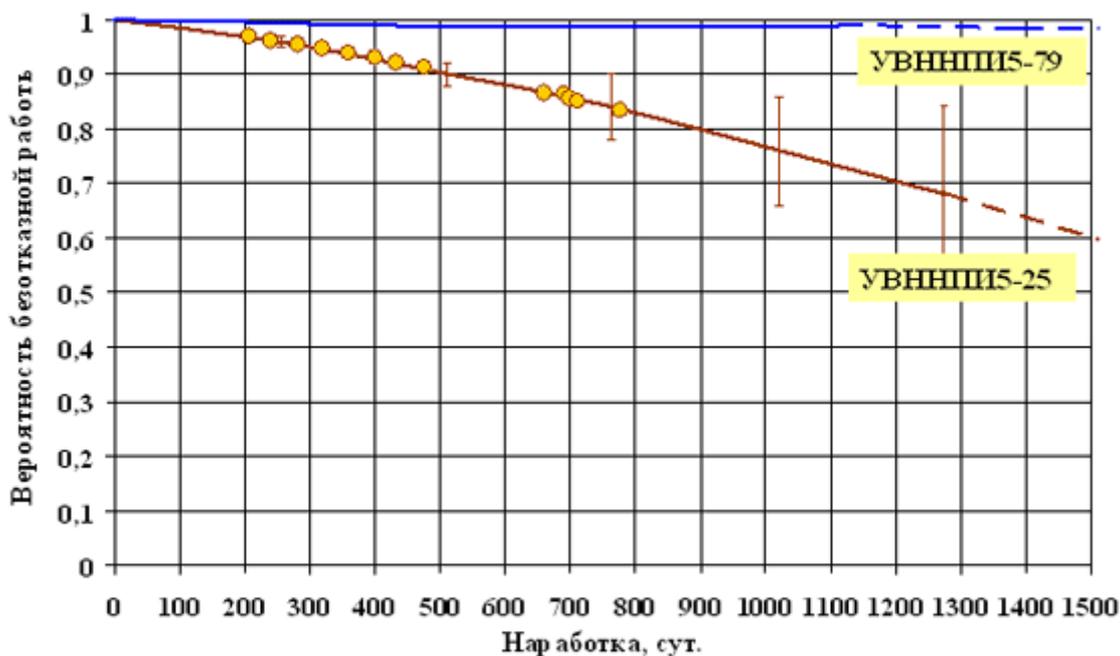
Как показывает структурный анализ, уровень наработок до подъема и соответственно разница в общей надежности 25-к и 79-к определяется эксплуатационными факторами. Как по 25-м, так и 79-м эксплуатационная надежность ниже, чем конструкционная. При этом эксплуатационная надежность по 25-м сильно ниже, чем по 79-м. То есть, тот факт, что 25-ки поднимают чаще и с меньшими наработками, определяют эксплуатационные факторы.

Структура эксплуатационной надежности УВННПИС-25

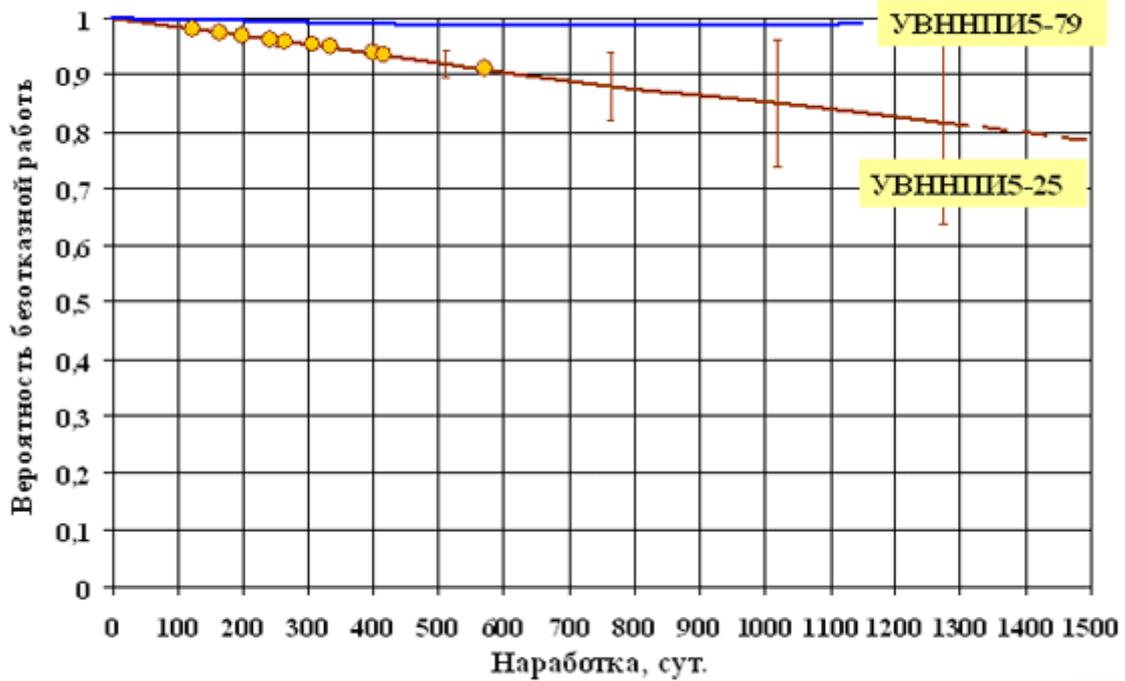


Основные из которых: ГТМ, неверный подбор, солеотложения, засорения, негерметичность НКТ.

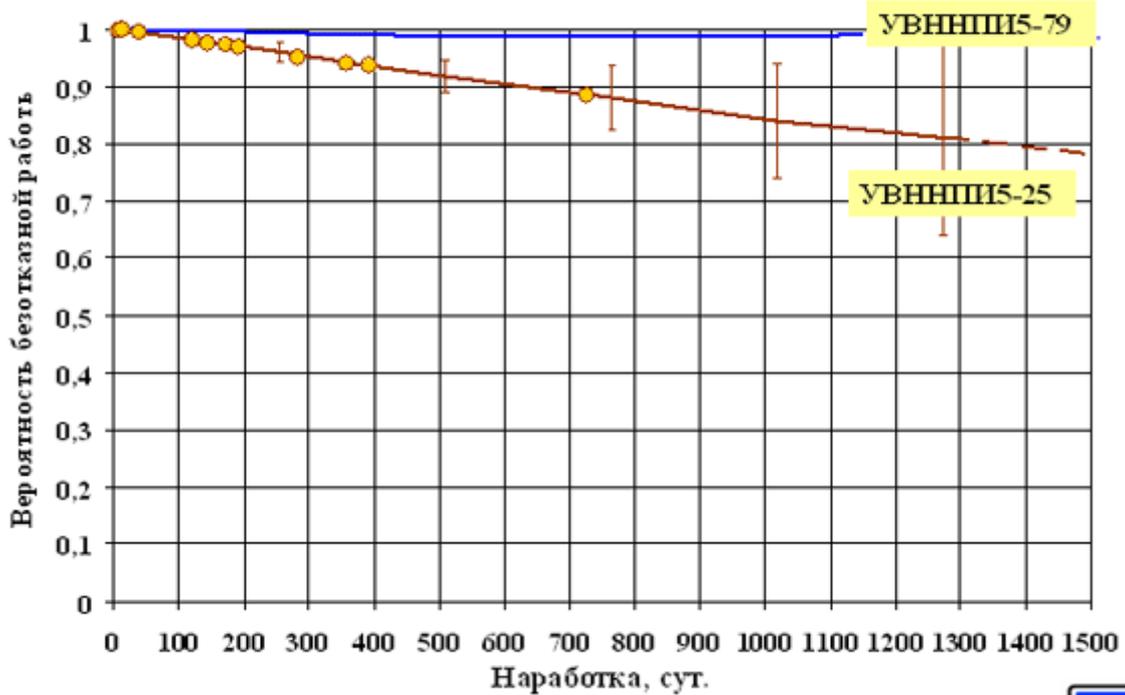
ОАО «Сургутнефтегаз» эксплуатационная надежность подъемы по солеотложениям



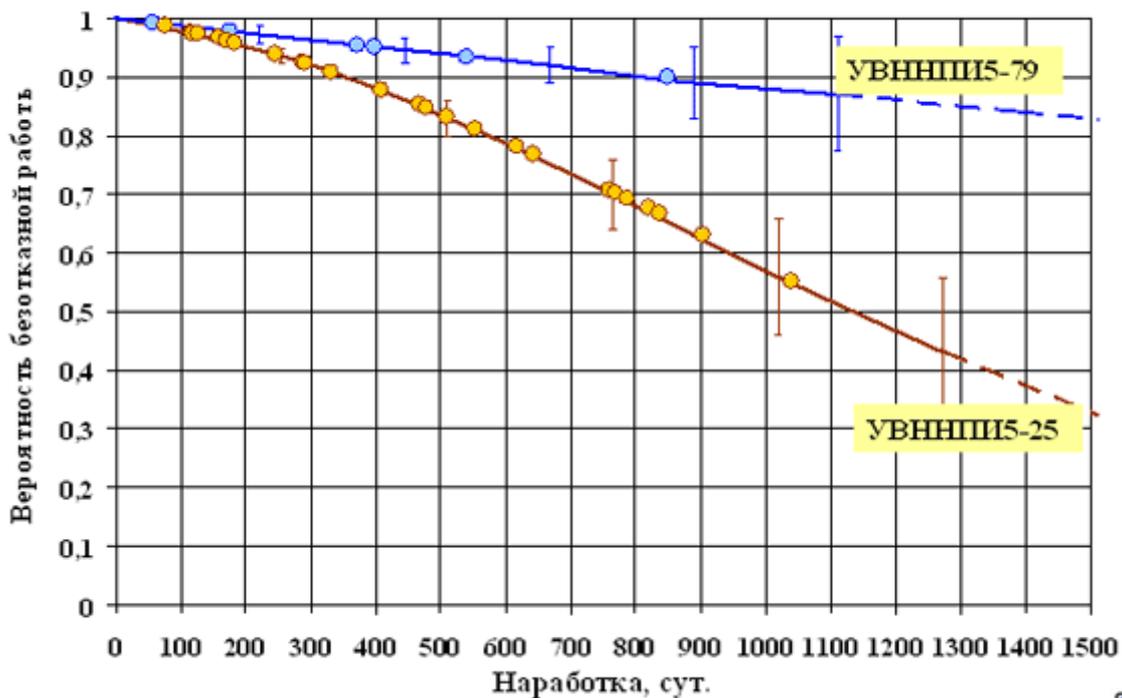
ОАО «Сургутнефтегаз»
эксплуатационная надежность
подъемы по засорению р/о ЭЦН



ОАО «Сургутнефтегаз»
эксплуатационная надежность
подъемы – неверный подбор, снижение притока

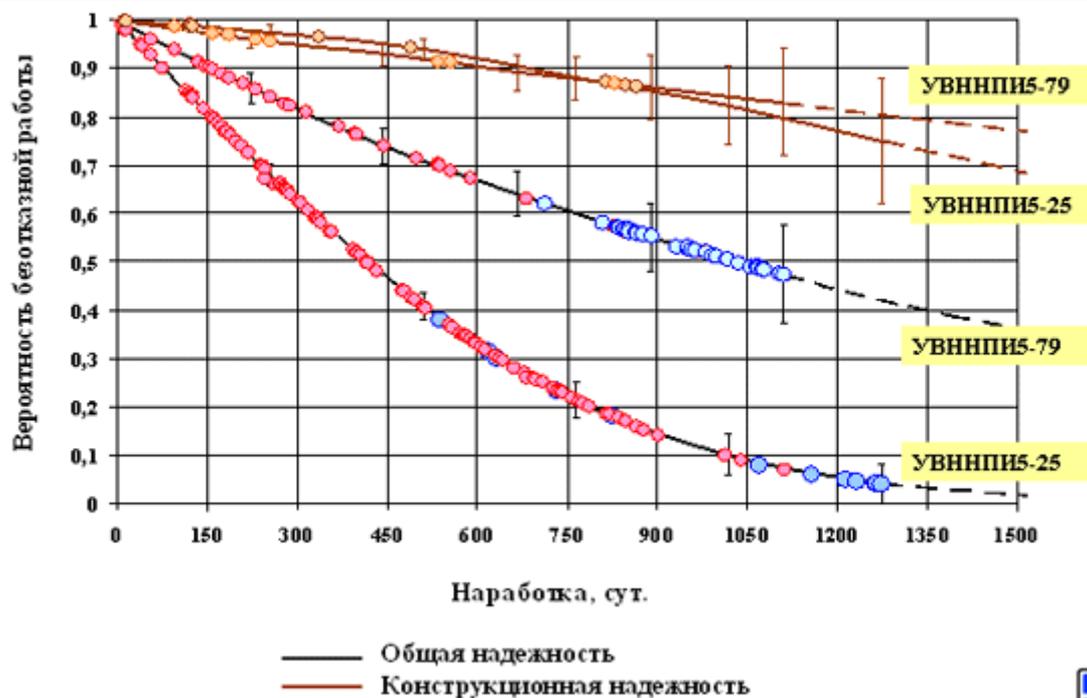


ОАО «Сургутнефтегаз»
эксплуатационная надежность
подъемы по ГТМ

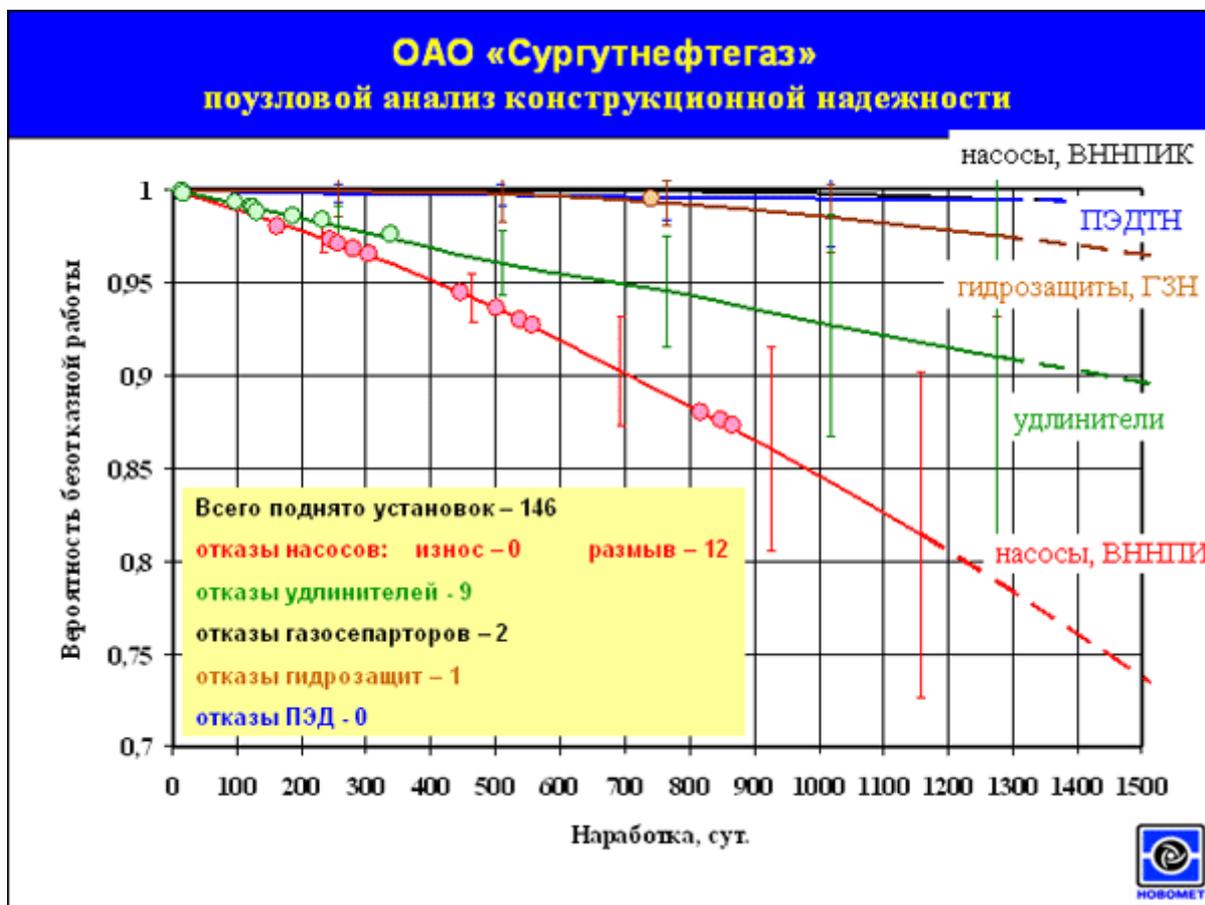


По 79-м большинства этих проблем просто нет. Не было ни одного отказа по солеотложениям, засорению р/о насоса мех.примесями, неправильному подбору. Меньше подъемов по ГТМ. В итоге именно это определило разницу в общей надежности.

ОАО «Сургутнефтегаз»
Структурный анализ надежности установок «Новомет»
состояние на 01.03.2006 г.



Что же касается конструкционной надежности оборудования. По 25-м и 79-м она примерно одинаковая, так и должно быть, поставлялось одинаковое по надежности оборудование. Здесь наглядно видно, что такая значительная разница в общей надежности этих установок определяется не конструктивными факторами. Интерес представляет детальный структурный анализ конструкционной надежности, что же отказывает на больших наработках.



Поскольку, конструкционная надежность одинаковая, объединим 25-ки и 79-ки в одну выборку и проведем поузловой анализ.

Надежность насосов:

- износ р/о насоса не явился причиной отказа ни в одном случае, даже при самых больших наработках, то есть износостойкость этой конструкции очень высокая;

- отказы по вине насоса – сквозные разрывы ступеней и корпуса, мы можем выделить 2 механизма этого процесса, отказы на малых наработках – коррозионное разрушение, на больших наработках – разрезание абразивом, но оба этих механизма исключены на коррозионностойком исполнении, по износо-коррозионностойкому исполнению ни одного разрыва не зафиксировано.

Удлинители, газосепараторы были не нашего изготовления, напомним это поставка 2002 года, тогда мы их еще не делали

Гидрозащиты:

Был один отказ в результате негерметичности гидрозащиты - попадание пластовой жидкости в ПЭД, произошло это при наработке 741 сут.

Двигатели – R-0 ПЭД безусловно случаи были, но ни одного отказа непосредственно по вине ПЭД, все они результат перегрева, неправильной эксплуатации.

Если же в целом оценивать ресурс этих установок, то, пока, в условиях «Сургутнефтегаза», можно говорить о средней наработке до непосредственного отказа оборудования на уровне 1500-2000 сут.

ВЫСТУПЛЕНИЯ:

1. ПГТУ
«Горные и нефтепромысловые машины»
2. УГНТУ
«Нефтегазопромысловое оборудование»
3. РГУ нефти и газа им.Губкина
«Кафедра машин и оборудования нефтяной
и газовой промышленности»

Мы понимаем, что представленные методы незнакомы нефтяникам и могут вызвать недоверие. Но это не выдумки «Новомета». Теория надежности, мат.статистика – написаны «горы» книг с четкими рекомендациями как оценивать надежность. Необходимо только правильно приспособить эти методы под оценку надежности именно УЭЦН. Безусловно, предлагаемый подход, должен пройти научную проверку, оценку. Одним из этапов распространения методики стало выступление и передача программы кафедрам ведущих нефтяных ВУЗов. Программа пройдет обкатку, проверку на этих кафедрах, и возможно, методика структурного анализа надежности УЭЦН будет включена в учебный план. И если, что такое показатели безотказности, вероятность безотказной работы студенты знают, это уже есть в учебных материалах, то теория цензурирования будет представлена в обучении впервые.

Статистическая теория надежности возможности для анализа УЭЦН

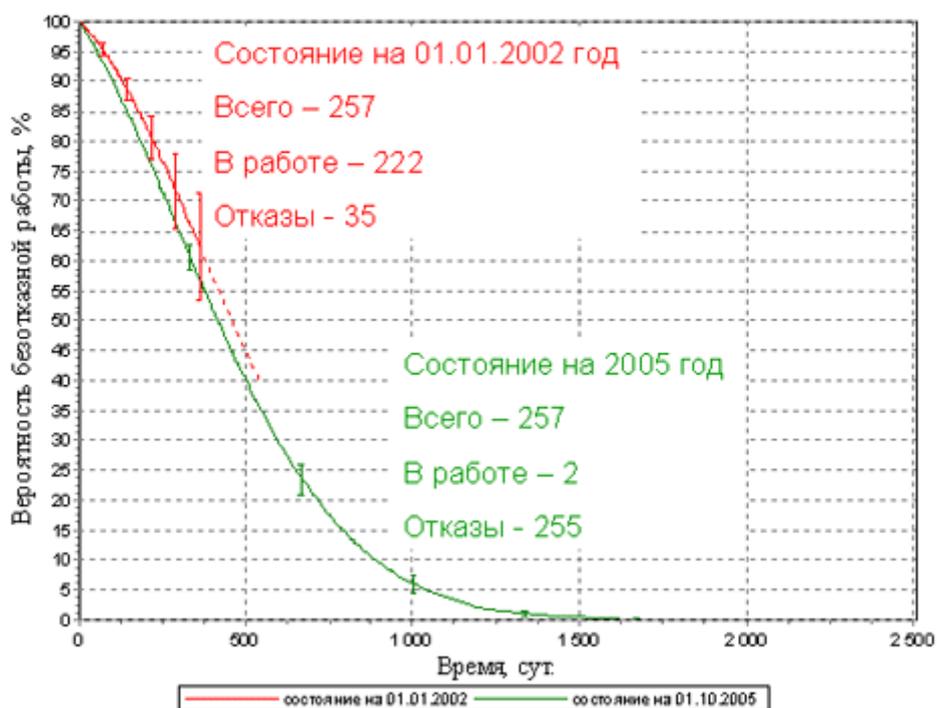
1. Возможность давать точный прогноз при продолжающейся эксплуатации оборудования
2. Возможность оценивать надежность непосредственно УЭЦН и отдельных узлов, исключая посторонние факторы
3. Возможность проведения структурного анализа с любой степенью детализации с последующими рекомендациями как поднять наработки;
4. Прогноз изменения надежности при ликвидации тех или иных причин отказа

В завершении, хотелось бы отметить, проблема оценки надежности актуальна всегда. Используя либо МРП и «наработку на отказ», либо какие-то другие ненаучные оценки, велика вероятность ошибиться, сделать совершенно не те выводы. МСТН снимают эту проблему и имеют ряд интересных возможностей. Это достаточно уникальные возможности, которые заслуживают широкого распространения в нефтедобывающей отрасли.

Проверка точности прогноза

установки с насосами 1ВННП15-25

запуски 2001 года



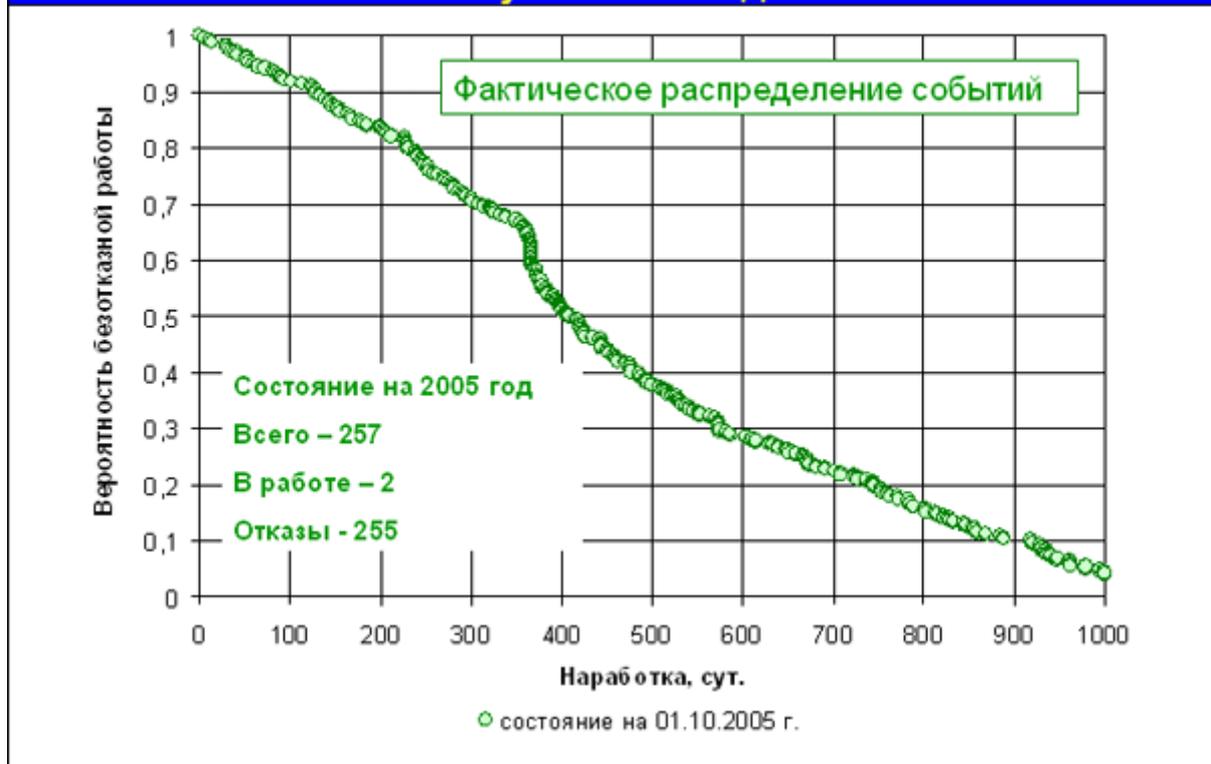
Далее ряд интересных ситуаций с точностью прогноза.

Выборка установок УВННП15-25, запущенных в эксплуатацию только в 2001 году. Понятно, что на конец 2005 года они почти все отказали, т.е. зеленая кривая. Это уже не прогноз, а реальная кривая отказов. И вроде бы прогноз после года работы этих установок – красная кривая – с зеленой кривой не совпадает.

Проверка точности прогноза

установки с насосами 1ВННПИС-25

запуски 2001 года

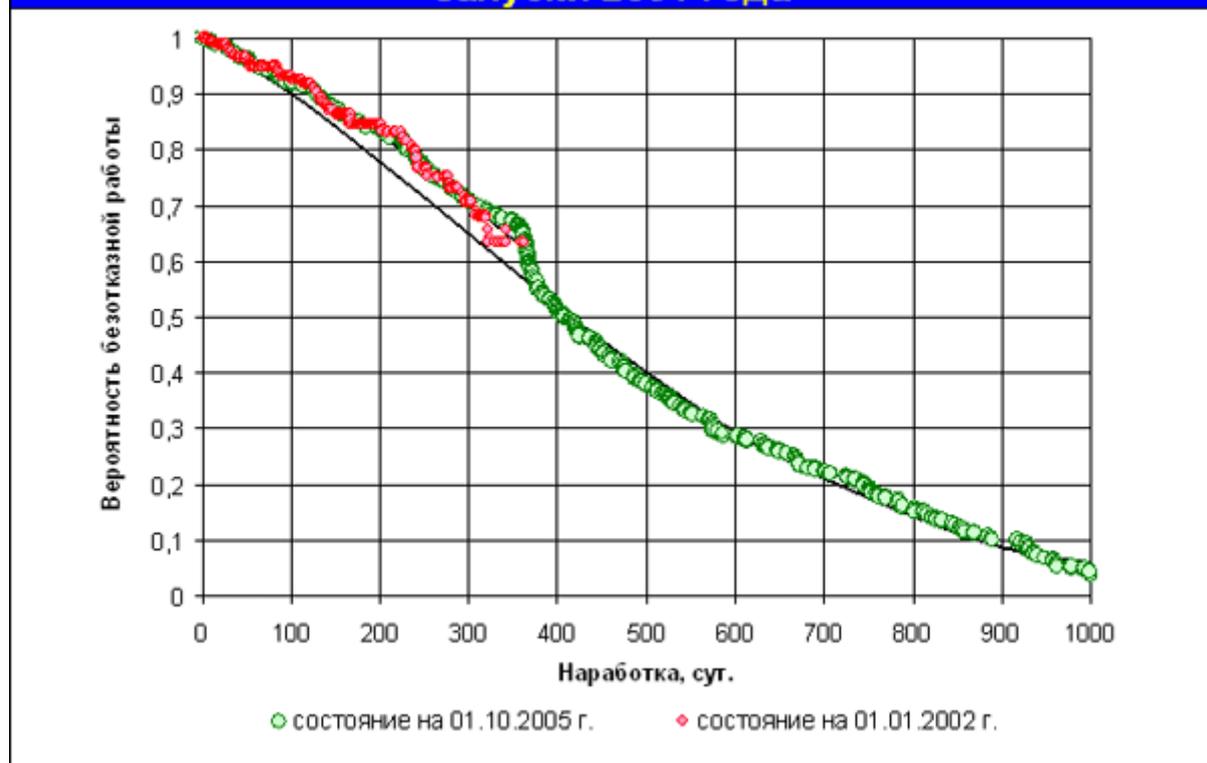


Но когда мы построили фактическое распределение событий, без выбора закона распределения, мы увидели, что в районе 365 суток происходит либо смена механизма отказов– вот эта ступень, либо субъективное действие человеческого фактора-365 суток— гарантийный срок.

Проверка точности прогноза

установки с насосами 1ВННПИ5-25

запуски 2001 года



При этом прогноз фактического распределения событий, т.е. оценка без выбора закона распределения после года работы совпало в один в один с реальными отказами. Если дальше мы будем подбирать закон распределения, то для зеленых точек будет одна аппроксимация. Вот она. Для красной естественно выше потому, что вот эти события, эти события еще не наступила. Это не проблема точности прогноза.