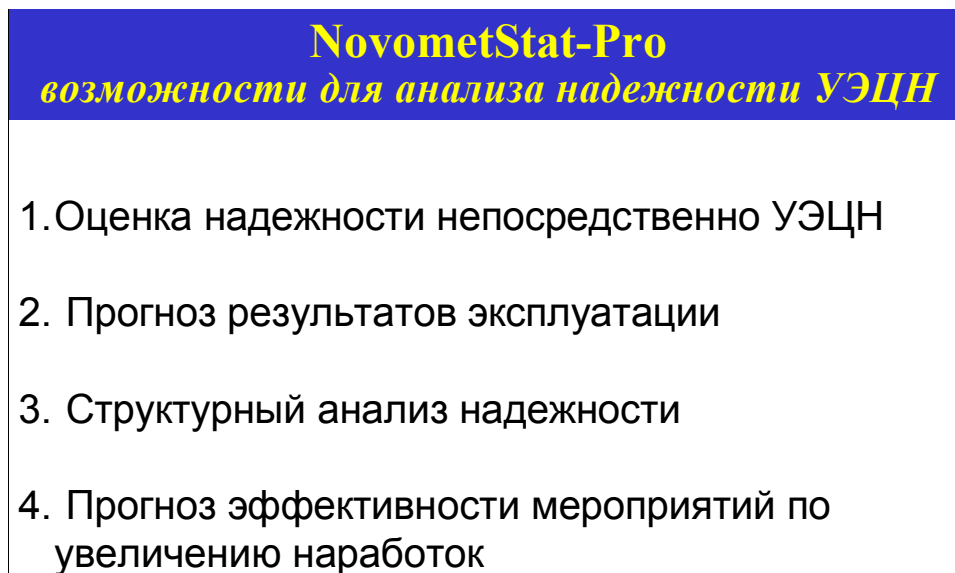


СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЭЦН

Слепченко С.Д., начальник аналитического отдела

Добрый день, о методах статистической теории надежности мы уже неоднократно рассказывали. Рассказывали о том, какие возможности эти методы дают для анализа надежности УЭЦН (слайд 1).



NovometStat-Pro
возможности для анализа надежности УЭЦН

1. Оценка надежности непосредственно УЭЦН
2. Прогноз результатов эксплуатации
3. Структурный анализ надежности
4. Прогноз эффективности мероприятий по увеличению наработок

Возможность оценивать надежность непосредственно оборудования – либо комплектных установок, либо отдельных узлов УЭЦН, исключая посторонние факторы. Возможность прогнозировать оценки надежности при продолжающейся эксплуатации оборудования. Возможность проведения структурного анализа с последующими рекомендациями по увеличению наработок. Возможность прогноза оценок надежности при ликвидации тех или иных причин отказа, то есть прогноз эффективности мероприятий по повышению надежности. Все эти возможности реализованы в программе NovometStat-Pro.

За последнее время программа получила определенное распространение. Интерес к ней проявляют как нефтяные компании в России и за рубежом, так и заводы-изготовители погружного оборудования. При внедрении программы, при представлении методики анализа на ее основе возникает множество вопросов. В прошлом году здесь на конференции, после выступления был задан ряд интересных вопросов, на которые в силу регламента не удалось подробно

ответить. И сегодняшнее выступление я хотел бы построить в виде ответов на эти вопросы.

Итак, первый часто задаваемый вопрос, связаны ли как-то между собой оценки, получаемые по NovometStat-Pro – средняя наработка до отказа, вероятность безотказной работы, и оценки – «наработка на отказ», «межремонтный период».

Слайд 2: Это разные по своему содержанию оценки, они не связаны между собой, в силу того, что предназначены для расчета надежности разных категорий объектов. «Нарработка на отказ» предназначена для описания результатов эксплуатации фонда скважин, по программе NovometStat-Pro проводится расчет надежности именно оборудования. Для восстанавливаемых объектов – оценка, это среднее время между ремонтами. В соответствии с технической документацией УЭЦН невосстанавливаемое изделие, здесь оценки надежности это временные показатели до полного отказа оборудования.

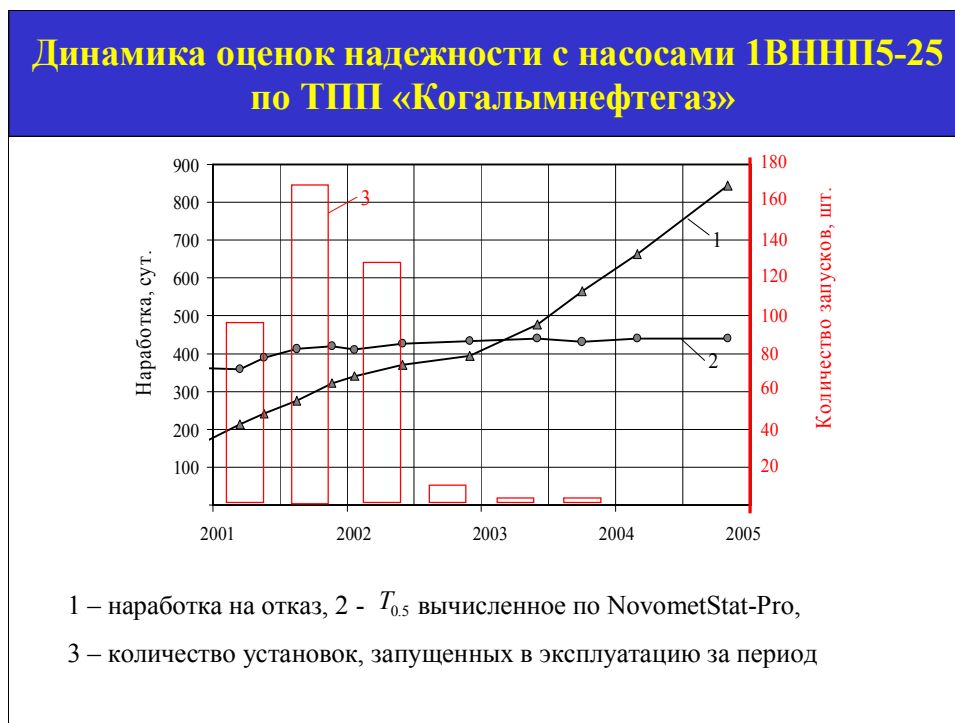
Показатели надежности			
Невосстанавливаемые объекты партия УЭЦН		Восстанавливаемые объекты фонд СКВАЖИН	
Вероятность безотказной работы – доля работающего оборудования	$P(t)$	Нарработка на отказ	$T_r(t)$
Средняя наработка до отказа	T_{cp}	Средняя наработка между отказами	$T_k(t)$
Гарантированный ресурс	$T_{0,5}$	Вероятность восстановления	$P_B(t)$
Интенсивность отказов	$\lambda(t)$	Параметр потока отказов	$\omega(t)$
Плотность вероятности отказа	$f(t)$	Интенсивность восстановления	$\mu(t)$

Часто возникает вопрос, на каком основании мы используем эти оценки, и идем, в общем-то, наперекор утвержденным в нефтяных компаниях методикам. Можно дать следующий ответ:

Основной документ при приобретении оборудования это Технические Условия. Вся эксплуатация оборудования должна вестись в соответствии с

требованиями ТУ, далее, когда происходит отказ, определение причин отказа проводится также в соответствии с Техническими Условиями, это основной документ при работе с оборудованием, с этим согласны все. Используя эти методы, мы продолжаем эту последовательность, мы и оценку надежности оборудования проводим в соответствии с ТУ, то есть фактически выполняем требования Технических Условий.

Слайд 3: С учетом того, что «наработка на отказ» дает объективную оценку только при стационарном потоке событий, для расчета надежности оборудования ее просто нельзя использовать. Простой пример - снятие оборудования с эксплуатации - это приводит к искусственно завышенным оценкам, понятно, что растет не надежность оборудования, а статистический показатель. То есть, это, точно не оценка надежности оборудования. У нас есть группа установок, и есть оценка надежности этих установок – средняя наработка, она не должна меняться только потому, что мы просто прекращаем эксплуатацию этих установок.

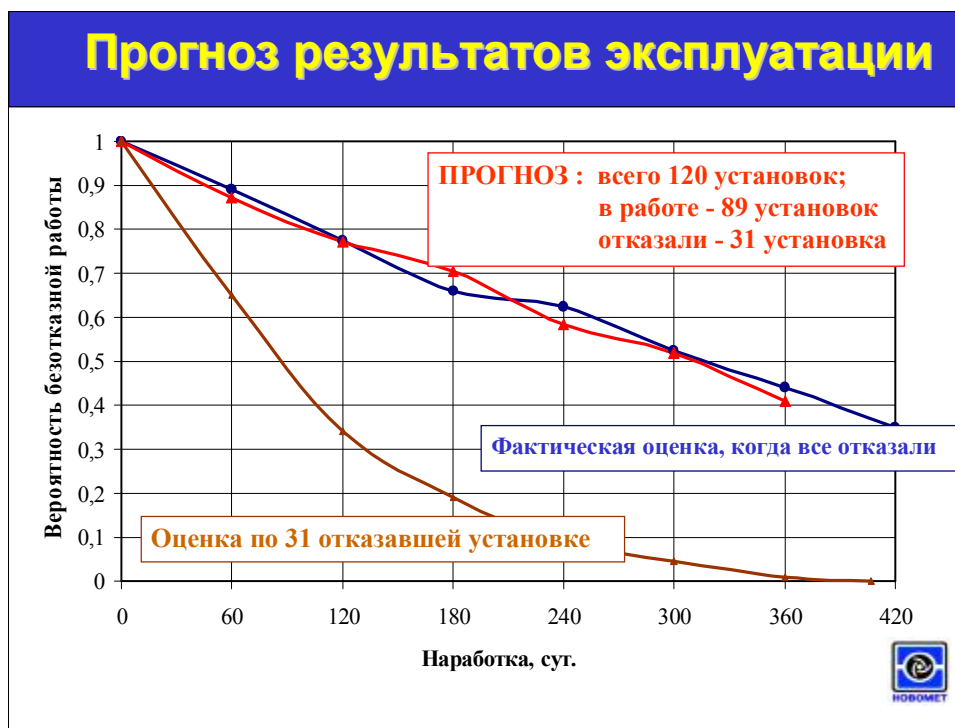


Второй важный момент необходимость прогноза результатов эксплуатации погружного оборудования.

Слайд 4: Одна из основных проблем анализа надежности УЭЦН – оценки требуется проводить при продолжающейся эксплуатации оборудования, при

наличии и отказавших и работающих установок. Оценивать только по отказавшим установкам, нельзя – получим очень далекие от реальности оценки.

Тогда возможны два варианта либо дождаться когда все откажут, но этого можно ждать несколько лет, либо спрогнозировать эту ситуацию, а это и будет прогнозом результатов эксплуатации. Таким образом, прогноз это необходимое условие правильного расчета оценок надежности, поскольку нельзя оценивать только по отказам, но это еще и уникальная возможность своевременно оценивать оборудование, тогда, когда это действительно актуально. Используя эти методы не надо ждать несколько лет, не требуется проводить длительных испытаний – оценить надежность можно достаточно быстро и оперативно – самые последние разработки и новинки, как раз то, что актуально в данный момент.

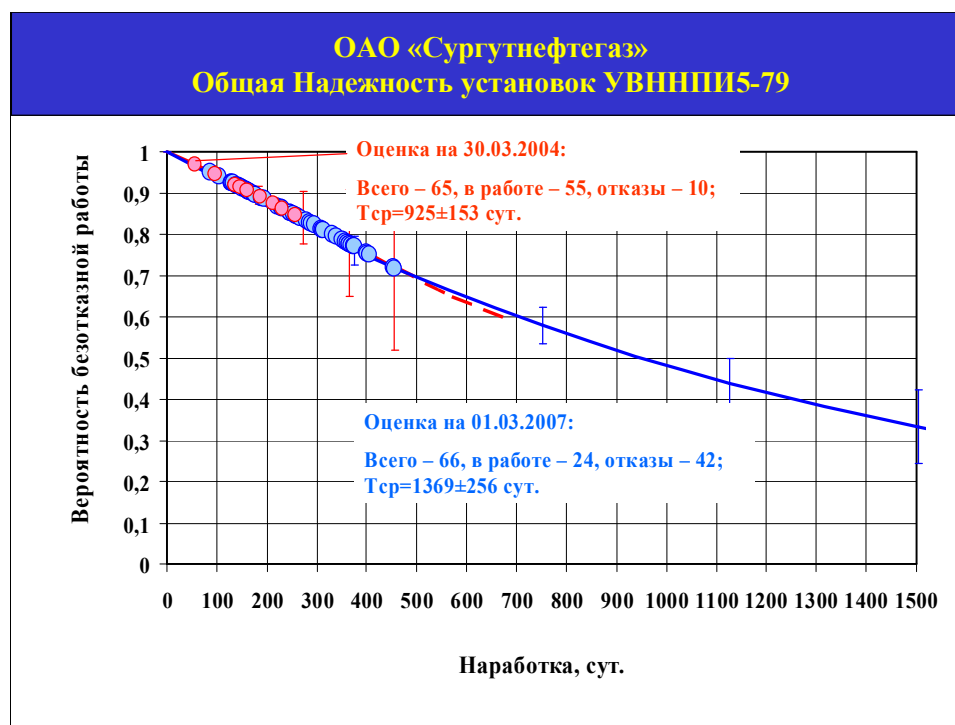


В существующей на сегодня версии программы, чтобы дать точный прогноз есть ограничение на количество установок и период эксплуатации – приемлемая точность достигается при объеме выборки порядка 50-100 единиц. Но при этом существуют методы, позволяющие прогнозировать надежность и для небольшого количества установок – порядка 10-20 единиц, при непродолжительном периоде эксплуатации. Это методика оценки пилотных проектов. По результатам работы установок за 3-4 месяца, на основании:

- суммарной наработки установок
- количества отказов, произошедшего за это время

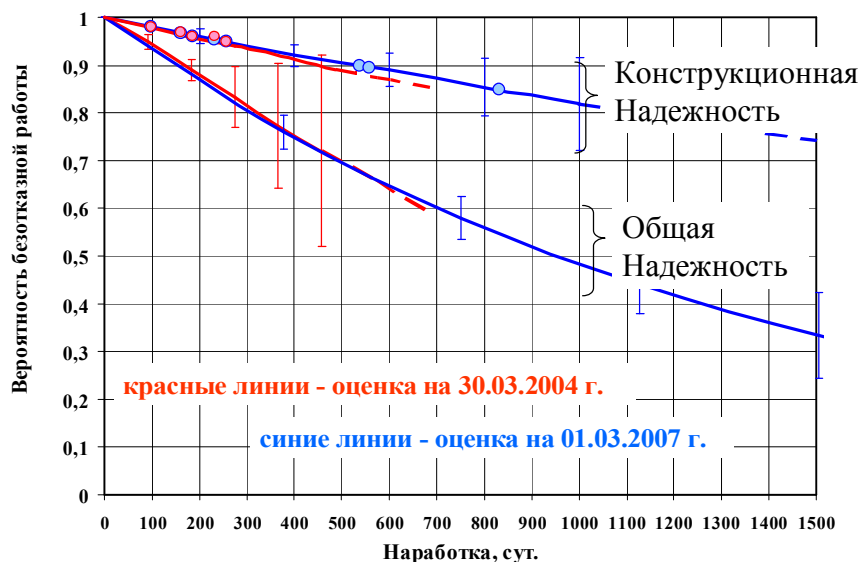
при приемлемом уровне риска принимается решение – могут ли данные установки обеспечить требуемый уровень наработок. Сейчас мы дорабатываем этот блок программы, по готовности, обязательно сделаем подробный доклад по этой теме.

Слайд 5: Этот пример я уже приводил на прошлой конференции, но хотелось бы подчеркнуть еще раз. Оценка надежности этих установок, а это установки с гарантией 1000 сут. по ОАО «Сургутнефтегаз», была актуальна в 2003-2004 годах, сделав прогноз на тот момент, как показывают последние результаты, мы не ошиблись в оценках, мы не ошиблись в выводах о надежности этого оборудования. Был получен точный прогноз Общей Надежности, то есть надежности, рассчитываемой по всем подъемам УЭЦН.



Слайд 6: Более того, был получен точный прогноз Конструкционной Надежности, то есть надежности, рассчитываемой по непосредственным отказам оборудования. Уже тогда мы получили представление о надежности оборудования, о том, какой уровень наработок оно может обеспечить.

ОАО «Сургутнефтегаз»
Общая и Конструкционная Надежность установок УВННПИС-79



На прошлой конференции, по поводу этой ситуации, то есть по поводу Общей и Конструкционной Надежности, возникла дискуссия, что же является оценкой надежности УЭЦН.

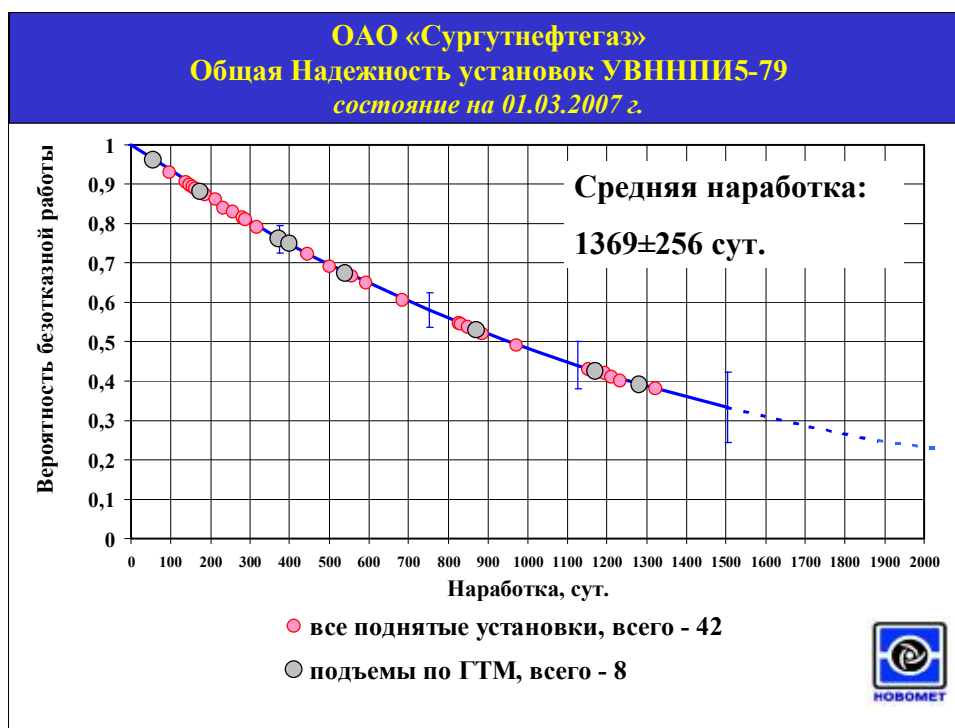
Далее я хотел бы дать подробный, развернутый ответ на вопрос, что является оценкой надежности УЭЦН.

Слайд 7: По представленной нами схеме структурного анализа Общая Надежность разделяется на две составляющие – Эксплуатационную и Конструкционную Надежность.

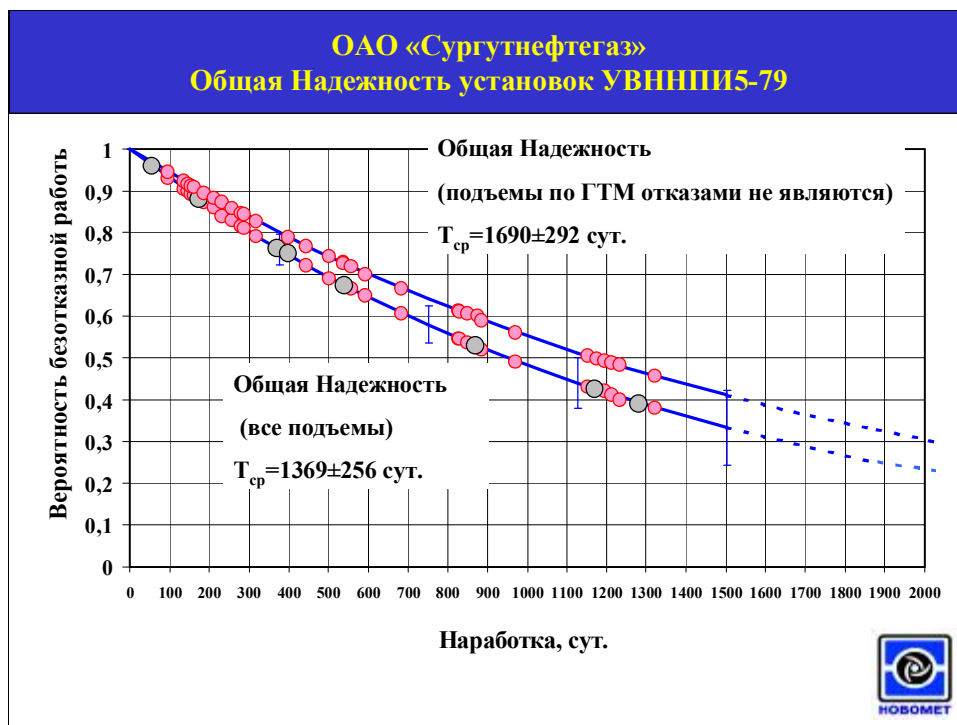


При представлении этой схемы, часто спрашивают – почему при расчете надежности установок учитываются подъемы по ГТМ? Подъемы по ГТМ учитываются при расчете Общей и Эксплуатационной Надежности, при этом Общая Надежность все-таки не является оценкой надежности оборудования.

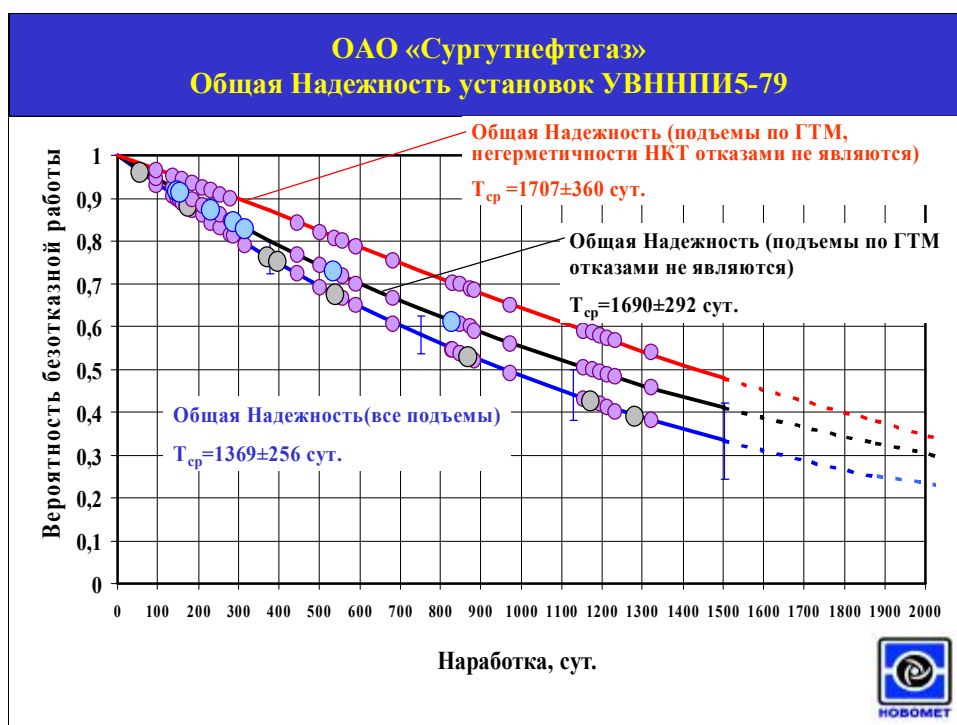
Слайд 8: Рассмотрим пример с теми же 79-ми по «Сургутнефтегазу». Проводя анализ, примем, что при подъеме по ГТМ отказа оборудования точно не было, тогда в расчет оценок надежности непосредственно оборудования вот эти подъемы входить не должны. Их надо исключать, но важно, сделать это статистически правильно. Нельзя просто выбросить эти наработки из выборки данных. Таких подъемов, может быть значительное количество, а по теории надежности нельзя искусственно менять объем выборки, наработка установок поднятых по ГТМ может быть большой, и это важное событие, характеризующее надежность оборудования – большая наработка и оборудование в норме, не отказало. В соответствии с теорией надежности правильный выход из этой ситуации – факт отказа снимать, значение наработки сохранять.



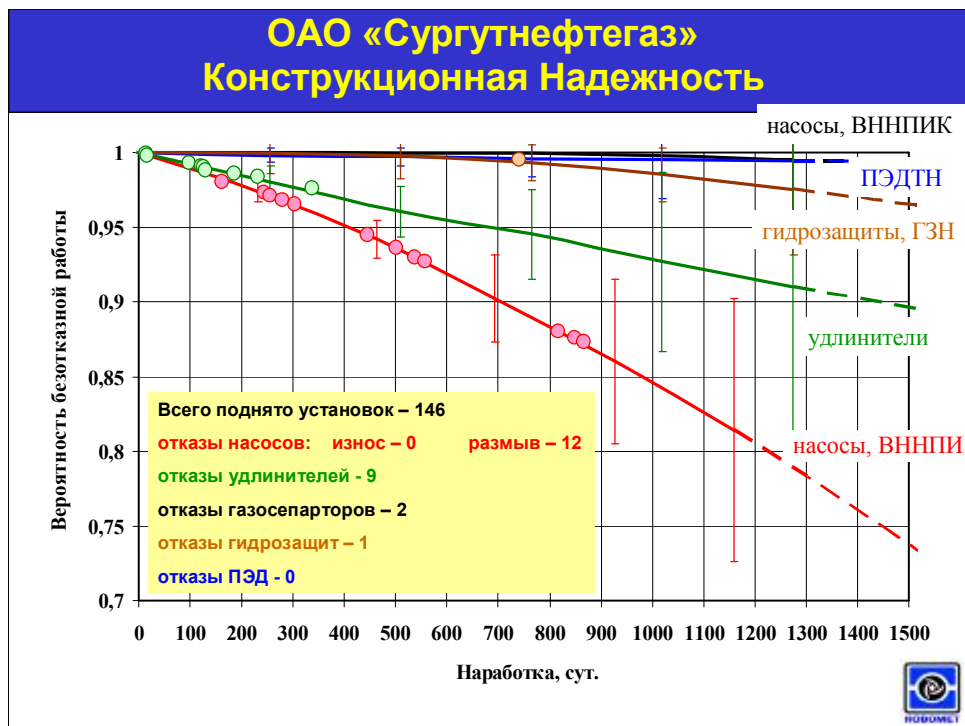
Слайд 9: Поступив, таким образом, рассчитав снова оценки надежности, мы получим более точную характеристику надежности оборудования. Вот эта кривая ближе к надежности оборудования, чем исходная Общая Надежность, вычисленная по всем подъемам.



Слайд 10: Далее точно так же можно поступить с подъемами по негерметичности НКТ, которые, тоже, точно не связаны с УЭЦН, вот эта оценка будет еще более точной оценкой надежности оборудования.



Слайд 11: Поступая, таким образом далее, мы и дойдем до отказов, произошедших непосредственно по вине оборудования, это и будет Конструкционная Надежность – оценка надежности именно оборудования.



Слайд 12: Вот на основании этой идеи – выявить непосредственные отказы оборудования, но если отказа не было, то наработку не исключать, а просто снимать факт отказа, и возникла представленная схема структурного анализа – разделение Общей Надежности на все, что относится к оборудованию (КН) и то что с оборудованием не связано (ЭН).



Но, в тоже время, данная схема – не догма. Важно, она задает определенный порядок, опираясь на результаты работы комиссий ПДК, позволяет избежать разногласий между Заказчиком и Потребителем на этапе определения оценок надежности. Но это, далеко, не исчерпывающий вариант оценки надежности оборудования.

Слайд 13: Если уйти от категории «виновности», то оценка надежности оборудования определяется конкретными задачами исследования, и что такое надежность в каждом конкретном случае задает сам исследователь. Можно рассмотреть условный пример. Предположим у нас есть 45 установок, из которых к моменту расчета отказали 8 установок по следующим причинам – часть связана с оборудованием, часть точно нет. Что же в этой ситуации будет оценкой надежности насосов?



Слайд 14: Вариантов оценок может быть несколько. Вариант 1 – если мы придерживаемся представленной ранее схемы: вина узла в отказе установки. Вариант 2 – если мы хотим оценить износостойкость данных насосов, то оценка надежности оборудования, будет рассчитываться, уже вот по этим отказам, не считаем отказом «промыв», при этом важно знать не только причину отказа, но и состояние насосов после эксплуатации. Если получен значительный износ насоса, то неважно, что был подъем по ГТМ, для оценки износостойкости этот подъем будет восприниматься как отказ. Вариант 3 возникает, если мы хотим

оценить стойкость насосов к засорению. Вариант 4 – в итоге надежностью насоса могут быть все эти отказы вместе.

Условный пример причины отказов						
Наработка, сут.	Причина отказа	Состояние насоса при ревизии	Оценка надежности ЭЦН			
			Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
40	Негерметичность НКТ	в норме				
50	ГТМ	неремонтоприг. износ		отказ		
110	Засорение	неремонтоприг. износ		отказ	отказ	отказ
170	Промыв р/о насоса	промыв 100%	отказ			отказ
200	Износ р/о насоса	полный износ	отказ	отказ		отказ
220	Засорение	неремонтоприг. износ		отказ	отказ	отказ
270	Засорение	неремонтоприг. износ		отказ	отказ	отказ
330	Износ р/о насоса	полный износ	отказ	отказ		отказ

Слайд 15: Но все-таки даже по 4-му варианту оценкой надежности оборудования будет не Общая Надежность, а оценка, рассчитанная по событиям, которые мы признали отказами, статистически правильно исключив все лишнее. В этом и состоит основная идея метода по оценке надежности оборудования, заложенная в программу NovometStat-Pro.



Слайд 16: Как может быть, несколько вариантов оценок надежности, также может быть и несколько вариантов схем структурного анализа. Проводя анализ надежности, одна из основных задач – предложить мероприятия по увеличению наработок. Для решения этой задачи эффективной может оказаться следующая схема. Проводится структурный анализ, но теперь Общая Надежность делится на группы на основании причин подъема:

1-ая группа – подъемы, вызванные непосредственными отказами оборудования. Это все подъемы по R-0 (все подъемы, вызванные отказом электрической части независимо от причины). Все подъемы по причинам «клин», «отсутствие» или «снижение подачи», вызванные засорением, износом, разрушением узлов УЭЦН.

2-ая группа – подъемы, при которых непосредственного отказа оборудования не произошло. Подъемы по ГТМ, негерметичности НКТ, «снижение подачи», вызванное снижением притока, когда оборудование точно не отказало.



Что нам дает такой анализ:

- мы делаем упор непосредственно на оборудование, это позволяет выявить все отказы оборудования независимо от причины;

- таким образом, мы можем провести поузловой анализ, выявить наиболее слабые узлы, то есть узлы, по которым происходит наибольшее количество отказов;

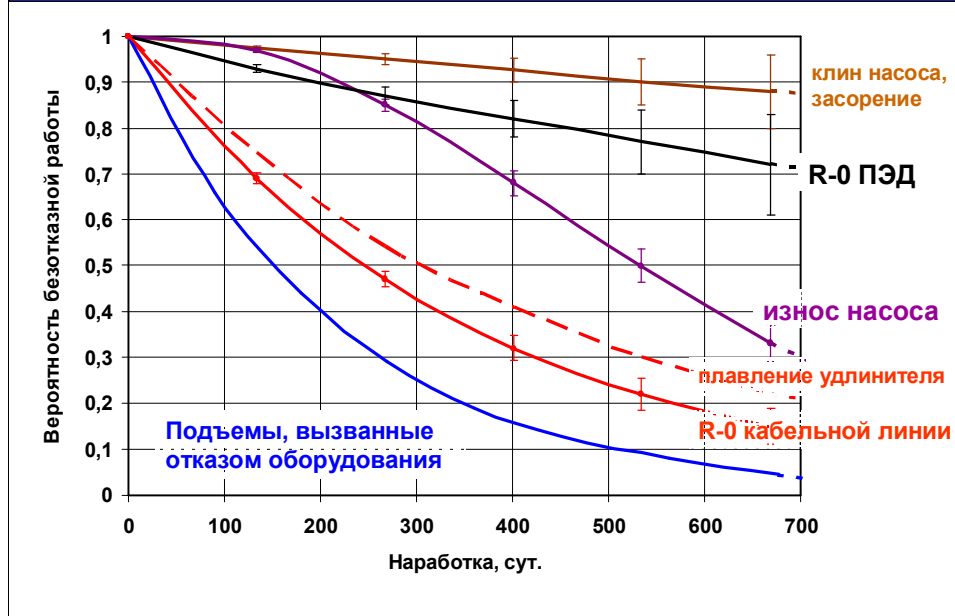
- соответственно, решая эти проблемы, мы получим наиболее быстрый путь увеличения наработок.

Слайд 17: Вероятностное представление. Проведя анализ по одному предприятию, получили следующие результаты. Вероятность, что произойдет подъем не связанный с оборудованием, вероятность, что подъем будет вызван отказом оборудования. Чем ниже кривая, тем больше таких отказов, тем в большей степени эти отказы определяют уровень наработок до подъема.



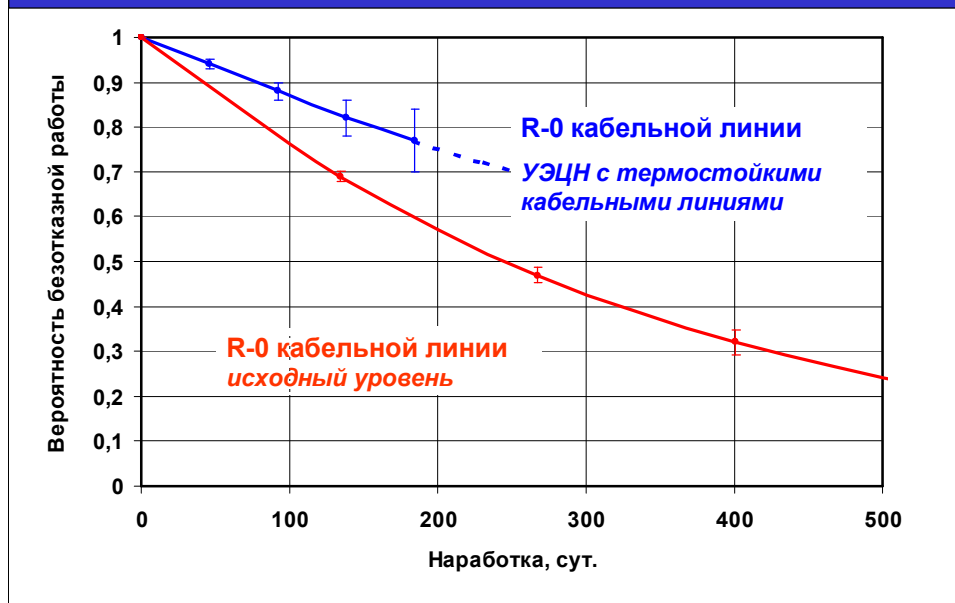
Слайд 18: Структура таких отказов. Узел, по которому происходит наибольшее количество отказов, и соответственно узел, надежность которого определяет уровень наработок до подъема – кабельная линия, и конкретно кабельный удлинитель. Также много, особенно после 200 сут., случаев износа рабочих органов насоса. Мероприятия по решению этих проблем, по снижению количества этих отказов, должны дать наиболее быстрый эффект по увеличению наработок. В данном случае, в качестве первоочередных мероприятий было предложено внедрение термостойких кабельных линий в составе – термостойкий удлинитель + термостойкая вставка, требуемой длины, далее повышение износостойкости насосов.

Поузловой анализ надежности УЭЦН



Слайд 19: Следующий важный этап – оценка эффективности, предложенных мероприятий. Было внедрено определенное количество установок с термостойкими линиями. Спустя 180 сут. с начала внедрения мы можем дать оценку, что по этим установкам доля подъемов по R-0 кабельной линии значительно меньше, чем при исходном уровне, кабель уже может обеспечивать, более высокие наработки до подъема.

Оценка эффективности мероприятий отказы кабеля



Слайд 20: Но главный, итоговый критерий эффективности предлагаемых мероприятий – это изменение *Общей Надежности* – произошло или нет

увеличение наработок до подъема. В данном случае видим, что есть статистически значимый эффект от предложенных мероприятий, наработки до подъема установок с термостойкими линиями значительно превосходят исходный уровень. Следует отметить, что с помощью «наработки на отказ» оценить эффективность предложенных мероприятий не получится, мы бы получили искусственно заниженные оценки, и не смогли бы сделать никаких выводов. Своевременно оценить эффективность мероприятий мы можем только с помощью прогноза оценок надежности.



Таким образом, NovometStat-Pro, методика анализа на ее основе, может выступать как инструмент по повышению наработок.

Слайд 21:

- NovometStat-Pro**
возможности для анализа надежности УЭЦН
1. Прогноз результатов эксплуатации
 2. Оценка надежности непосредственно УЭЦН
 3. Структурный анализ надежности
 4. Оценка (прогноз) эффективности мероприятий по увеличению наработок

В завершении хотелось бы еще раз подчеркнуть, что NovometStat-Pro это необходимое условие правильного расчета оценок надежности именно оборудования.

Это достаточно уникальные на наш взгляд возможности, которые позволяют получить объективное представление о надежности оборудования непосредственно на основании результатов эксплуатации.