УДК 665.6

# МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

# METHODS FOR OPTIMIZING EQUIPMENT RELIABILITY INDICATORS

**Родионов Антон Павлович**
магистрант,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова

**Родионова Анна Львовна**
старший преподаватель кафедры бурения скважин,
разработки нефтяных и газовых месторождений,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова

**Попов Александр Леонидович**
кандидат технических наук,
доцент кафедры транспорта, хранения нефти,
газа и нефтегазопромыслового оборудования,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова,
a.l.popov@narfu.ru

**Аннотация.** Рассмотрены методы анализа и оценки показателей надежности оборудования, важность прогнозирования и планирования сценариев эксплуатации установок и машин, изучен экономический фактор при принятии решений о повышении уровня надежности, исследована необходимость планово-предупредительных ремонтов.

**Ключевые слова**: надежность оборудования, отказы, сценарии эксплуатаций оборудования, методы моделирования, экономические показатели, система обслуживая скважин.

**Rodionov Anton Pavlovich**
Master's Student,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov

**Rodionova Anna Lvovna**
Senior Lecturer at the Department
of Well Drilling and Oil
and Gas Field Development,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov

**Aleksandr Leonidovich Popov**
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Transportation, Oil Storage, Gas,
and Oil and Gas Field Equipment,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov
a.l.popov@narfu.ru

**Annotation.** Methods of analyzing and evaluating equipment reliability indicators are considered, the importance of forecasting and planning scenarios for the operation of installations and machines is studied, the economic factor in making decisions on increasing reliability is studied, and the need for scheduled preventive repairs is investigated.

**Keywords**: equipment reliability, failures, equipment operation scenarios, modeling methods, economic indicators, well maintenance system.

Эффективная охрана нефтяных месторождений требует предотвращения аварий, стабильности производства и надежности оборудования. Для улучшения безопасности необходим комплекс технических и организационных мер, таких как увеличение интервала между ремонтами, улучшение обслуживания, обеспечение энергоснабжения и контроль технического состояния оборудования.

Важно обеспечить надежность и эффективность добычи нефти. Традиционные методы оценки не всегда точны, что затрудняет сравнение результатов деятельности компаний. Данные оценки не учитывают вероятностный характер процессов, происходящих в нефтедобывающей отрасли. Это приводит к тому, что аналитические выводы, сделанные на их основе, могут быть далеки от реальности. Кроме того, ограничение анализа одним календарным годом искусственно сокращает объем рассматриваемых данных, что уменьшает объективность оценок.

В процессе детального рассмотрения этой проблемы становится, очевидно, что существуют различные примеры ситуаций, когда использование упомянутых методов приводило к возникновению специфических проблем. Это могут быть как технические сбои, так и недопонимание между отделами компании из-за различий в интерпретации данных.

Важным аспектом в сфере нефтедобычи является оценка надежности оборудования, что требует разработки и внедрения более совершенных методов оценки. Эти методы должны быть точными и адаптированными к реальным условиям работы в отрасли. Повышение эффективности процессов и улучшение коммуникации внутри компаний и между ними возможно только при использовании таких современных методик.

Создание универсальных методик, ориентированных на вероятности, способных учитывать многогранность и сложность процессов добычи нефти, станет важным шагом для отрасли. Эти методики помогут более точно оценивать надежность оборудования и предсказывать возможные сбои.

**Анализ показателей надежности**

Одним из ключевых показателей надежности является вероятность безотказной работы. Этот показатель определяет долю установок, которые функционируют без сбоев в течение требуемого времени.

Кроме вероятности безотказной работы, не менее важным параметром является средняя наработка на отказ. Этот показатель позволяет оценить среднее время работы оборудования до возникновения отказа. Однако для более точной оценки надежности часто применяется гарантированный ресурс – время, в течение которого 50% установок продолжают работать без сбоев.

Разработка и использование методов оценки надежности помогает компаниям улучшить планирование обслуживания оборудования, предотвратить аварийные ситуации и обеспечить бесперебойную работу производственных процессов. Понимание и контроль над показателями безотказности оборудования являются основой успешного функционирования в нефтедобывающей отрасли [1, с. 12].

Анализ надежности глубиннонасосных установок является ключевым аспектом для обеспечения бесперебойной работы нефтедобывающей отрасли. На первом этапе этого анализа стоит выделить, что в фокусе внимания находится не общая совокупность, а отдельные партии установок. Это позволяет более точно оценить их работоспособность и предсказать сроки службы.

Для глубинного понимания надежности этих установок критически важно собрать данные об их эксплуатации. В этом контексте ключевым инструментом является анализ распределения времени работы до первого отказа. Именно эти данные позволяют формировать показатели безотказности, которые служат количественным описанием надежности.

Однако, одной из основных проблем в анализе надежности является необходимость проведения оценок в условиях продолжающейся эксплуатации установок. Это добавляет сложности, поскольку в любой выборке данных для анализа присутствуют как установки, уже вышедшие из строя, так и те, что все еще находятся в работе. Такое положение вещей требует особого подхода к анализу и интерпретации полученных результатов.

Важно также учитывать, что анализ надежности не ограничивается только количественным описанием прошлой работы установок. Он должен включать в себя разработку рекомендаций по улучшению эксплуатационных характеристик и предотвращению отказов в будущем. Таким образом, этот процесс становится не просто оценкой текущего состояния, а инструментом для повышения эффективности и надежности оборудования в целом.

Важно подчеркнуть, что:

1) необходимо учитывать все элементы выборки данных, включая те установки, которые продолжают функционировать, исключение работающего оборудования из анализа может привести к искажению результатов;

2) применение базовых методов математической статистики, таких как простое усреднение или расчет вероятности безотказной работы по классическим формулам, может не дать адекватного представления о надежности;

3) для адекватного прогнозирования ситуаций, когда может произойти отказ всех запущенных глубиннонасосных установок, рекомендуется использовать специализированные методы теории цензурирования, эти методы позволяют более точно оценить надежность оборудования.

**Планирование и прогнозирование сценариев эксплуатации оборудования**

Для успешного введения в действие новой серии установок, первоочередным шагом является тщательное планирование и прогнозирование возможных сценариев их эксплуатации. Это требует комплексного подхода, включая анализ рисков и определение потенциальных проблем, которые могут возникнуть в процессе работы оборудования [5, с. 2].

Для более глубокого понимания надежности системы, необходимо разделить ее на два основных типа - эксплуатационную и конструкционную. Эксплуатационная надежность оценивается исключительно по отказам, связанным с технологией использования, такими как засорение или солеотложение. В то время как конструкционная надежность определяется отказами, вызванными конструкционными причинами, такими как износ рабочих органов или усталость металла вала [4, с. 39, 3, с. 52].

Понимание причин возникновения отказов, как конструкционных, так и эксплуатационных, позволяет разрабатывать более эффективные стратегии предотвращения поломок и повышения надежности системы. Глубокий анализ каждого отказа в контексте его возможных последствий помогает улучшить процессы обслуживания и увеличить срок службы оборудования.

Важно понимать, что надежность системы несет в себе различные компоненты и факторы. Одним из ключевых аспектов является общая надежность, которая включает в себя эксплуатационную и конструкционную составляющие. Когда рассматривается эксплуатационная надежность, необходимо провести более детальный структурный анализ, разбив ее на отдельные факторы и составляющие. Например, можно проанализировать вероятность возникновения солеотложений и другие аспекты, влияющие на надежность системы. Также, для более глубокого понимания надежности системы мож-

но провести поузловой анализ конструкционной надежности глубиннонасосных установок. Этот подход позволит выделить уязвимые места в конструкции и предпринять меры для повышения надежности и безопасности работы установок [1, с. 14].

**Методы оценки надежности**

Для оценки надежности применяются различные методы, включая экспериментальный, аналитический и статистическое моделирование.

Аналитические методы играют важную роль в оценке надежности, поскольку они позволяют проводить сравнительный анализ различных вариантов выполнения объекта и находить оптимальные решения еще на ранних стадиях разработки. Такой подход дает возможность исследовать влияние различных факторов на надежность и оптимизировать процесс в целом [2, с. 25]. Существенным преимуществом аналитических методов оценки надежности является возможность получения решений в виде математических выражений, что помогает улучшить качество проектирования и решения проблем на ранних этапах разработки. Качество и точность аналитического исследования напрямую зависит от достоверности предоставленных данных. При анализе объектов со сложной структурой, использование аналитических методов может столкнуть исследователя с серьезными вычислительными препятствиями. Важно учитывать не только вероятность отказа элементов объекта, но и взаимосвязь между ними. Понимание влияния надежности каждого элемента на общую структуру объекта является ключевым аспектом успешного аналитического исследования. Важно уметь выделять наиболее критические компоненты, которые могут существенно повлиять на работоспособность всего объекта.

Порядок аналитической оценки надежности устанавливает ГОСТ Р 27.013-2019. Аналитическим методам близки методы статистического моделирования. Сходство в том, что и те, и другие методы требуют наличия данных о надежности элементов системы. Исследование функционирования статистической модели исследуемого объекта является ключевым этапом в методах статистического моделирования. Это позволяет получать оценки надежности объектов со сложной структурой. В отличие от аналитического исследования, статистическое моделирование позволяет эффективно оценить надежность объектов при ограниченных ресурсах.

Получается, что использование методов статистического моделирования является эффективным способом получения оценок надежности сложных систем, которые не поддаются аналитическому исследованию.

Важным аспектом статистического моделирования является возможность определения не только надежностных характеристик и показателей, но и эффективности исследуемых процессов. Методы статистического моделирования предоставляют возможность получить количественные оценки, которые могут нести в себе ценную информацию для принятия решений. Однако основным недостатком этих методов является то, что результаты часто представляются в числовой форме, а не в виде аналитических выражений, отражающих влияние различных факторов.

Это означает, что для интерпретации результатов необходимо иметь соответствующие навыки в области статистики и математики. Помимо этого, при использовании методов статистического моделирования необходимо учитывать возможные ограничения и предпосылки, которые могут повлиять на точность и достоверность полученных оценок. Важно также помнить о том, что статистические оценки могут быть подвержены ошибкам и неопределенностям, что требует дополнительного внимания и анализа со стороны исследователя.

Экспериментальные методы играют ключевую роль в изучении надежности оборудования. Они не только предоставляют информацию о надежности объектов, но и являются основой для аналитических и статистических исследований. Как показывает практика, эксперимент часто является единственным способом подтверждения надежности серийно производимого оборудования. Эксперименты позволяют получить данные, необходимые для анализа и улучшения надежности. Это позволяет предсказать вероятность отказа изделия и разработать меры по его улучшению с целью повышения надежности.

Экспериментальные методы не требуют предварительных знаний о надежности отдельных элементов, позволяя оценить надежность объекта в целом и его составляющих в реальных условиях эксплуатации.

Экспериментальная оценка может быть проведена двумя основными способами:

– организация специальных испытаний, где объект подвергается различным воздействиям для определения его прочности и долговечности;

– сбор статистических данных о работе изделия в условиях реальной эксплуатации, что позволяет получить информацию о его работоспособности в реальных условиях.

**Экономический фактор**

При принятии решений о повышении уровня надежности необходимо учитывать экономические факторы, поскольку экономика играет ключевую роль в определении практической эффективности. Современные технологии позволяют добиться высоких стандартов качества и надежности, но иногда

затраты на это могут оказаться неоправданными. Важно помнить, что результативность мероприятий по повышению надежности может оказаться недостаточной для компенсации высоких расходов.

Для повышения надежности мероприятия могут быть реализованы без больших затрат, например, путем оптимизации процессов. Важно сравнивать различные способы достижения необходимого уровня надежности с учетом экономических показателей производства и эксплуатации объекта, а также позитивного экономического влияния его использования в соответствии с задачей.

Оптимальность межремонтного периода определяется экономическим критерием, который заключается в минимизации экономических издержек, связанных с эксплуатацией оборудования. Эти издержки включают убытки от снижения производительности насосов, увеличение эксплуатационных расходов (из-за снижения КПД) и затраты на ремонт неисправного оборудования. Межремонтный период играет значительную роль в формировании данных затрат и эффекта, зависящих от интервала между ремонтами.

Что бы посчитать средние экономические издержки эксплуатации оборудования в единицу времени W(Ti) учитывая межремонтный интервал, можно применить по формулу:

$$W(Ti) = \frac{1}{T_1}[C_1 + C_2 + C_3 \cdot \varepsilon(T_1)],$$

где $C_1$ – средние экономические потери из-за снижения производительности и роста эксплуатационных затрат неисправного оборудования, значение $C_1$ зависит от области применения оборудования; $C_2$ – средние расходы, понесённые в связи с проведением единичного планового обследования оборудования; Сз – средние расходы, понесённые в связи с проведением одного ремонта; $\varepsilon(T_1)$ – средняя доля оборудования, забракованного при обследовании.

**Планово-предупредительные ремонты**

В современных условиях, когда ресурсы истощаются, а требования к надежности растут, особенно актуальными становятся организационные аспекты, такие как планово-предупредительные ремонты (ППР). Эти мероприятия позволяют не только повысить эксплуатационную надежность оборудования, но и оптимизировать процесс его обслуживания.

Основные цели системы обслуживания скважин можно выделить следующим образом:

– увеличение сроков службы оборудования;
– снижение времени простоя в процессе эксплуатации;
– обеспечение безопасности и эффективности работы.

Каждая из этих задач требует внимательного подхода и учета различных факторов. Необходимо учитывать неоднородность геологических условий, которые могут значительно варьироваться в зависимости от региона. Кроме того, режимы работы насосов, физико-химические свойства добываемой продукции и конструктивные особенности скважин влияют на надежность и эффективность работы глубиннонасосных установок.

Систематизация данных о сбоях и отказах глубиннонасосных установок позволяет разработать эффективные законы распределения отказов, которые помогут в будущем прогнозировать потенциальные проблемы и предотвращать их возникновение. Например, регулярный анализ данных о производительности и техническом состоянии оборудования может существенно снизить риски аварий и увеличить общую эффективность работы.

Исследование параметров скважин показывает, что интенсивность отказов глубинно-насосных установок возрастает непрерывно. Накопление необратимых изменений в оборудовании скважин происходит из-за физических, химических и прочих процессов, таких как усталость, износ и старение. Обводненность продукции оказывает наибольшее влияние на интенсивность отказов установок ШГН. Как показывают результаты исследования, параметр, характеризующий продуктивность скважины, оказывает наибольшее воздействие на интенсивность отказов установок ЭЦН [6, стр. 8]. Исследование установок ШГН и ЭЦН требует детального рассмотрения основных отличий в их принципах работы для достижения более надежных результатов.

В заключение, внедрение планово-предупредительных ремонтов и продуманная система обслуживания являются ключевыми элементами в обеспечении надежности нефтепромысловых систем. С учетом всех упомянутых факторов, можно утверждать, что грамотная организация ремонтных работ не только продлевает срок службы оборудования, но и способствует устойчивому развитию нефтегазовой отрасли в целом.

Подбор оптимальных показателей технического обслуживания и ремонта глубинно-насосных установок является ключевым этапом в обеспечении надежной работы скважин. Разработка индивидуальных стратегий ремонта для каждого месторождения требует комплексного подхода и анализа специфики работы установок в данной геологической среде.

Эффективное проведение ремонтных работ на скважинах напрямую зависит от точного определения технических параметров обслуживания и ремонта глубинно-насосных установок. Учитывая

различия в условиях эксплуатации и характеристиках месторождений, необходимо учитывать индивидуальные особенности каждой скважины при разработке планов обслуживания и ремонта [6].

**Заключение**

Для эффективного анализа и прогнозирования надежности необходим комплексный подход, учитывающий множество факторов и применяющий специализированные методы оценки. Отказы оборудования играют важную роль в оценке надежности, поэтому важно не только анализировать их причины, но и понимать их физический смысл.

После запуска установок необходимо регулярно анализировать данные о производительности и эффективности, чтобы оперативно выявлять и устранять возможные неисправности в работе оборудования. Такой подход позволяет также адаптировать процессы эксплуатации к изменяющимся условиям, обеспечивая более стабильную работу оборудования.

**Список литературы:**

1. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д.Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
2. ГОСТ Р 27.013-2019. Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности. – М. : Изд-во стандартов, 2019.
3. Оценка надежности погружного оборудования в условиях эксплуатации ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / Н.В. Инюшин [и др.] // Технологии ТЭК. – 2004. – № 6. – С. 51–55.
4. Развитие информационной системы нефтедобывающего производства ОАО «Юганскнефтегаз» / СВ. Костюченко [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 1999. – № 10. – С. 34–40.
5. Статистический анализ надежности погружных установок в реальных условиях эксплуатации / О.М. Перельман [и др.] // Надежность и сертификация оборудования для нефти и газа. – 2003. – № 3. – С. 28–34.
6. Ухалов К.А. Исследование и моделирование показателей надежности глубинно-насосного оборудования в наклонно направленных скважинах (на примере Кальчинского месторождения) : автореферат дис. … канд. техн. наук. – Тюмень, 2005.

**List of references:**

1. Gnedenko B.V. Mathematical methods in reliability theory / B.V. Gnedenko, Yu.K. Belyaev, A.D. Soloviev. – M. : Nauka, 1965. – 524 p.
2. GOST R 27.013-2019. Reliability in engineering. Methods for assessing failure-free performance indicators. – M. : Publishing house of standards, 2019.
3. Reliability assessment of submersible equipment under operating conditions of LUKOIL-Western Siberia LLC / N.V. Ilyushin [et al.] // TEK Technologies. – 2004. – № 6. – P. 58–59.
4. Development of the information system of oil production at Yuganskneftegaz OJSC / S.V. Kostyuchenko [et al.] // Oil industry. – 1999. – № 10. – P. 34–40.
5. Statistical analysis of the reliability of submersible installations in real operating conditions / O.M. Perelman [et al.] // Reliability and certification of equipment for oil and gas. – 2003. – № 3. – P. 28–34.
6. Ukhalov K.A. Research and modeling of reliability indicators of downhole pumping equipment in directional wells (using the Kalchinskoye field as an example): dis. candidate of technical sciences. – Tyumen, 2005.