

## Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования сетей связи на предприятиях нефтегазового комплекса

*И.М. Ажмухамедов, Ю.А. Гостюнин*

*Астраханский государственный университет, Астрахань*

**Аннотация:** Для обеспечения надежного функционирования сетей связи предприятия нефтегазового комплекса необходима правильная организация процесса технического обслуживания и ремонта оборудования. В настоящее время всё большее применение находит стратегия технического обслуживания и ремонта оборудования на основе рисков. На практике, для применения этой стратегии, необходимо производить предварительную оценку величины риска на основе вероятности отказа оборудования и тяжести последствий отказа. В качестве источника информации об отказах и тяжести последствий могут использоваться экспертные оценки. Для упрощения процесса анализа входных данных и уменьшения субъективной неопределенности экспертных данных целесообразно использовать систему поддержки принятия решений, которая должна опираться на аппарат теории нечетких множеств и методы коллективных экспертных оценок.

**Ключевые слова:** нефтегазовый комплекс, техническое обслуживание и ремонт оборудования, сеть связи, вероятность отказа оборудования, последствия отказа оборудования, метод коллективных экспертных оценок, шкала Харрингтона.

### Введение

Предприятие нефтегазового комплекса (НГК) представляет собой сложную систему из разных производственных площадок, которые выполняют определенные функции, многие из которых являются критичными с точки зрения безопасности. Сложность технологических цепочек предприятия НГК приводит к тому, что нарушение нормального функционирования небольшого объекта инфраструктуры может привести к нарушению работы всей системы в целом. Поэтому надежное функционирование даже не основных производственных активов, таких как сети связи, является необходимым условием для безопасного выполнения основной производственной функции предприятия. Для обеспечения требуемого уровня работоспособности сетей связи (систем видеоконференцсвязи, систем оповещения и радиофикации, систем телефонизации, сетей передачи данных) необходима правильная организация процесса технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования. Рациональное управление процессом ТОиР оборудования позволяет предпри-

---

ятию существенно экономить ресурсы, что особенно актуально в сложных экономических условиях. К примеру, годовые затраты на ТОиР оборудования составляют 10-25% его первоначальной стоимости [1].

### **Стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования**

По мере развития технологий, в промышленности были выработаны различные стратегии ТОиР, которые позволяют повысить рентабельность производства. Можно выделить несколько стратегий, которые применяются к управлению процессом ТОиР оборудования. Рассмотрим их основные преимущества и недостатки.

RTF (Run-to-Failure, ремонт после отказа). При выборе данной стратегии, оборудование эксплуатируется до отказа. Преимущества: оборудование полностью вырабатывает свой ресурс; отсутствует необходимость в планировании ТОиР. Недостатки: момент возникновения отказа непредсказуем; необходимо наличие резерва на всё оборудование; при отсутствии резервирования технологических цепочек необходимо останавливать производственный процесс на время ремонта.

TBM (Time-Based Maintenance, планово-предупредительный ремонт, ППР). Данная стратегия предусматривает ТОиР оборудования по истечению определенного времени, величина которого зависит от условий эксплуатации. Преимущества: простота планирования ТОиР. Недостатки: может успешно применяться только к простым изделиям [2]; детали заменяются независимо от их остаточного ресурса; нередко ремонтируются фактически исправные объекты[3].

CBM (Condition-Based Maintenance, ремонт по фактическому состоянию). При реализации этого подхода к ТОиР, обслуживание оборудования происходит в зависимости от результатов диагностики и прогноза технического состояния. Стратегия CBM призвана нивелировать недостатки TBM, то есть снизить количество необязательных ремонтных вмешательств и макси-

мально использовать ресурс оборудования[3]. Преимущества: практически полное использование ресурса оборудования [3]; отказы становятся более предсказуемы благодаря постоянному мониторингу технического состояния оборудования. Недостатки: невозможность строить долгосрочные планы ТОиР; необходимы дополнительные затраты на контроль технического состояния оборудования [4].

PM (Predictive Maintenance, прогнозное или проактивное обслуживание). Сущность данной стратегии заключается в снижении скорости развития или полном устранении неисправностей, которые выявляются при мониторинге технического состояния оборудования[3]. Преимущества: увеличение срока службы оборудования за счет устранения неисправностей на ранней стадии; выполнение только необходимых ремонтных действий. Недостатки: необходимы дополнительные затраты на контроль технического состояния оборудования и выбор необходимого ремонтного воздействия; повышенные требования к эксплуатирующему персоналу.

Для каждой единицы оборудования в зависимости от его роли в общем процессе производства, возможно, строить свои индивидуальные планы ТОиР и подбирать экономически обоснованную стратегию управления процессом ТОиР. Индивидуальный подход к различному оборудованию на предприятии получил развитие в комбинированных стратегиях, которые учитывают преимущества простых стратегий (RTF, TBM, CBM, PM) для сокращения затрат на ТОиР.

RCM (Reliability-Centered Maintenance, обслуживание, ориентированное на надежность). Различные единицы или группы оборудования на предприятии имеют разную значимость (критичность) для выполнения производственной системой своих функций и исключения возможного ущерба [4]. Исходя из этого комбинированная стратегия RCM призвана обеспечить максимальную работоспособность производственной системы в целом, при ми-

---

нимальных затратах на ремонт каждой единицы оборудования. Соответствие оборудования той или иной категории значимости позволяет применить к нему наиболее подходящий подход к ТОиР (RTF, TBM, CBM, PM). RCM органично объединяет разработки и достижения предыдущих стратегий, одновременно обеспечивая требуемый уровень работоспособности оборудования и минимизацию затрат на его ТОиР [3]. Преимущества: сокращение затрат на ТОиР оборудования как следствие комбинирования разных стратегий; повышение надежности производственной системы в целом [2]. Недостатки: этап оценки значимости оборудования является сложным и плохо формализуемым; игнорирование вероятности отказа оборудования может привести к нерациональному выбору стратегии ТОиР для каждой единицы оборудования.

RBM (Risk-Based Maintenance, обслуживание, ориентированное на риски). Совместный учёт степени важности оборудования и вероятности его отказов, позволяет выявить уровень риска, сопровождающий эксплуатацию оборудования. Уровень риска позволяет сбалансировать сроки и объёмы ТОиР оборудования, устанавливая приоритетность их выполнения, что в общем случае приводит к повышению надёжности и безопасности производственного комплекса, а также к снижению сопутствующих затрат[3]. По сути, RBM является дальнейшим развитием RCM с учетом еще одного параметра – вероятности отказов каждой единицы оборудования, которая может быть определена на основании имеющейся статистики отказов, либо экспертным путем. Преимущества: сокращение затрат на ТОиР оборудования в результате применения к каждой единицы оборудования наиболее подходящей стратегии ТОиР; повышение надёжности и безопасности производственного комплекса. Недостатки: сложный процесс оценки вероятности отказа оборудования и последствий этого отказа.

---

## Применение стратегии RBMна предприятиях НГК

Стратегия RBM, в настоящее время, находит всё более широкое применение на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях во всём мире [5]. Повышенное внимание к стратегии на основе рисков для такого рода предприятий лежит в подходе, который позволяет не только сократить расходы на ТОиР оборудования, но и обеспечить требуемый уровень безопасности опасного производственного объекта. В свою очередь, в основе стратегии RBM лежит методика RBI (Risk-Based Inspections), которая описывается в стандартах Американского института нефти (API), Американского сообщества инженеров-механиков (ASME), независимого классификационного и сертификационного общества DetNorskeVeritas, а также в (ГОСТ Р 55234.3-2013) [5,6]. Согласно этой методике производится оценка вероятности отказа оборудования и последствий этого отказа, величина же риска определяется как их произведение:

$$R = D \cdot P, \quad (1)$$

где  $R$  – величина риска;  $D$  – величина, характеризующего тяжесть нежелательного события и может описываться специфическими параметрами (последствия отказа, ущерб). Диапазон используемых при этом параметров может быть весьма широк – от экономических ценностей до человеческих жертв;  $P$  – вероятность возможного отказа оборудования [7,8,9].

Согласно (ГОСТ Р 55234.3-2013)и процедуре RIMAP (Riskbased Inspectionand Maintenance Procedures), для определения величин  $D$  и  $P$  в формуле (1) необходимо использовать различные источники данных. В качестве источников информации могут использоваться статистические данные об оборудовании и отказах, прогнозы технического состояния и последствий отказов, результаты моделирования, а также экспертные оценки. На практике, сбор входных данных для определения искомых величин  $D$  и  $P$  представляет достаточно трудоемкую задачу. Обычно, если существуют подходящие

---

для анализа модели отказов и их последствий, то они описывают только самые критичные элементы. К тому же из-за внедрения новых технологий производства созданные модели быстро теряют свою актуальность. Другой важный источник информации для определения вероятности отказа оборудования и последствий отказа – это статистические данные. Наличие хорошо структурированной статистической информации о процессе эксплуатации и отказах оборудования, помогает в анализе, проводимом в соответствии с процедурой RIMAP. При недостатке статистических сведений об объекте, возможно, применение статистики по аналогичному объекту с учётом возможной погрешности.

Однако, при практическом рассмотрении, далеко не для всего оборудования на предприятии может быть получена подходящая для анализа статистическая информация, и тогда как рекомендуется в (ГОСТ Р 55234.3-2013) следует использовать экспертные оценки.

Согласно (ГОСТ Р 55234.3-2013), экспертную оценку может дать многодисциплинарная группа, специалисты которой должны обладать достаточной квалификацией для инспектирования той или иной системы. Группа экспертов должна принимать коллективное решение, поэтому в их работе возможно применение методов коллективных экспертных оценок: метода Дельфи, метода «мозгового штурма», метода «суда», «круглого стола» и др.

Многодисциплинарная группа должна иметь возможность взаимодействовать с персоналом, обслуживающим оборудование (ГОСТ Р 55234.3-2013). Человек, который непосредственно производит обслуживание технических объектов, может предоставить ценную для анализа информацию об оборудовании в субъективном виде [10]. При этом опрашиваемому сотруднику часто сложно численно оценить объект по некоторому критерию, и многие характеристики описываются им вербально с использованием слов естественного языка. Таким образом, исходная информация содержит в себе

---

значительную субъективную неопределенность. Поэтому для формализации информации, полученной от обслуживающего персонала целесообразно применить аппарат теории нечетких множеств. С позиции этого аппарата вводится вербально-нечеткая (лингвистическая) шкала. В свою очередь, каждому вербальному значению этой шкалы либо ставится в соответствие нечеткое число, либо возможно сопоставление значениям лингвистической переменной числовых оценок шкалы Харрингтона (таблица 1) [11].

Таблица №1

Вербально-числовая шкала Харрингтона

№	Наименование градации	Числовые интервалы	Количественное значение
1	Очень низкая	0 – 0,2	0,1
2	Низкая	0,2 – 0,37	0,285
3	Средняя	0,37 – 0,63	0,5
4	Высокая	0,63 – 0,8	0,715
5	Очень высокая	0,8 – 1	0,9

В конечном итоге, взаимодействие с персоналом должно помочь группе экспертов понять фактическую конфигурацию и рабочие условия эксплуатации оборудования, оценить эффективность программ проверок и технического обслуживания, идентифицировать детали проблем и возможные отказы (ГОСТ Р 55234.3-2013).

### Выводы

Многие предприятия НГК в современных экономических условиях сталкиваются с необходимостью оптимизировать свою систему управления ТОиР оборудования. При этом необходимо обеспечить бесперебойную и надежную работу оборудования при минимально возможных затратах на его эксплуатацию и при максимальном сокращении потерь от простоев оборудования и внеплановых ремонтных работ. На предприятиях НГК в настоящее время всё большую популярность приобретает стратегия RBM, которая включает в себя лучшие практики в области ТОиР оборудования и при пра-

вильном применении позволяет повысить эффективность предприятия и его конкурентоспособность. На практике, для применения этой стратегии, необходимо производить предварительную оценку величины риска на основе вероятности отказа оборудования и тяжести последствий отказа. Для упрощения процесса анализа входных данных и уменьшения субъективной неопределенности экспертных данных целесообразно использовать систему поддержки принятия решений (СППР), которая должна опираться на аппарат теории нечетких множеств и методы коллективных экспертных оценок. СППР должна упростить работу многодисциплинарной группы по оценке рисков, и тем самым уменьшить время внедрения стратегии RMB на предприятии.

### Литература

1. Насыров Ш.Г. Организация технического обслуживания и ремонта оборудования предприятия. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. 111 с.
  2. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. NASA, 2000. 348 p.
  3. Современные стратегии ТОиР //galaktika.ua: Корпорация Галактика URL: [galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html](http://galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html).
  4. Антоненко И.Н., Крюков И.Э. Информационные системы и практики ТОиР: этапы развития // Главный энергетик. 2011. №10. С. 37-44.
  5. Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment //absa.ca: ABSA (Alberta Boilers Safety Association) URL: [absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB-505\\_Risk\\_Based\\_Inspection\\_Programs\\_for\\_Pressure\\_Equipment.pdf](http://absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB-505_Risk_Based_Inspection_Programs_for_Pressure_Equipment.pdf).
  6. Risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment // dnvgl.com: Det Norske Veritas URL: [rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2010-10/RP-G101.pdf](http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2010-10/RP-G101.pdf).
-



7. Окладникова Е.Н., Сугак Е.В. Управление техническим состоянием потенциально опасных объектов // Системы управления и информационные технологии. 2009. №1.1(35). С. 192-196.

8. Костиков В.А. Надежность технических систем и техногенные риски. М.: МГТУГА, 2008. 136 с.

9. Ажмухамедов И.М., Выборнова О.Н. Формализация понятий приемлемого и толерантного риска // Инженерный вестник Дона. 2015. №3. URL: [ivdon.ru/magazine/latest/n3y2015/3240](http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2015/3240).

10. Проталинский О.М., Ажмухамедов И.М. Системный анализ и моделирование слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах // Инженерный вестник Дона. 2012. №3. URL: [ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/916](http://ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/916).

11. Harrington E.C. The desirable function. Industrial Quality Control. 1965. V.21. no. 10. pp. 494-498.

### References

1. Nasyrov Sh.G. Organizacija tehničkog obsluživanija i remonta oborudovanija predprijatija [Organization of maintenance and repair of equipment]. Orenburg: GOUOGU, 2008. 111 p.

2. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. NASA, 2000. 348 p.

3. Sovremennye strategii TOiR. galaktika.ua: Korporacija Galaktika URL: [galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html](http://galaktika.ua/eam/sovremennye-strategii-toir.html)

4. Antonenko I.N., Krjukov I. Je. Glavnyj energetik. 2011. №10. pp. 37-44.

5. Risk-Based Inspection Requirements for Pressure Equipment. absa.ca: ABSA (Alberta Boilers Safety Association) URL: [absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB-505\\_Risk\\_Based\\_Inspection\\_Programs\\_for\\_Pressure\\_Equipment.pdf](http://absa.ca/wp-content/uploads/2015/04/AB-505_Risk_Based_Inspection_Programs_for_Pressure_Equipment.pdf).



6. Risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment.  
dnvgl.com: Det Norske Veritas URL:  
rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2010-10/RP-G101.pdf.
7. Okladnikova E.N., Sugak E.V. Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. 2009. №1.1(35). pp. 192-196.
8. Kostikov V.A. Nadezhnost' tehniceskikh sistem i tehnogennye riski [Reliability of technical systems and technogenic risks]. M.: MGTUGA, 2008. 136 p.
9. Azhmuamedov I.M., Vybornova O.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №3. URL: ivdon.ru/magazine/latest/n3y2015/3240.
10. Protalinskij O.M., Azhmuamedov I.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. №3. URL: ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/916
11. Harrington E.C. The desirable function. Industrial Quality Control. 1965. V.21. no. 10. pp. 494-498.