

УДК 621.867.8

О применении метода анализа рисков на основе оценки технического состояния (RBI) для повышения эксплуатационной надежности оборудования и снижения вероятности аварии

Турищев Игорь Владимирович^(*)

turischevigv@sk.sibur.ru

SPIN-код: 5889-9286

ООО «Сибур-Кстово», Нижегородская область, Кстово, Россия

Аннотация. В современных условиях повышения требований к промышленной безопасности и экономической эффективности актуальной задачей является внедрение современных методов управления рисками. Метод анализа рисков на основе оценки технического состояния (RBI) позволяет оптимизировать программы технического обслуживания и ремонта оборудования, сосредоточив ресурсы на объектах с наибольшим уровнем риска. В работе представлены основные принципы и алгоритм применения RBI-анализа для технологического оборудования. В качестве критерия оптимизации рассматривается минимизация совокупного риска отказа оборудования при заданных бюджетных ограничениях. Сделан вывод на примере ООО «Сибур-Кстово» эффективности метода для повышения надежности и снижения эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: RBI-анализ, управление рисками, техническое обслуживание, основанное на риске, надежность оборудования, промышленная безопасность

Введение. Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации технологического оборудования является критически важной задачей для нефтехимической отрасли. Традиционные регламентные подходы к техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) часто неэффективны с экономической точки зрения и не всегда обеспечивают достаточный уровень безопасности для объектов с высоким риском.

Внедрение методологии Risk-Based Inspection (RBI) позволяет перейти от обслуживания по графику к обслуживанию по фактическому состоянию и уровню риска [1, 2]. Целью работы является апробация метода RBI на производственных объектах ООО «Сибур-Кстово», оценка его эффективности для оптимизации программ инспекций и разработка практических рекомендаций по его применению в условиях действующего законодательства.

Постановка задачи. В качестве исходных данных для RBI-анализа используются: тип и параметры эксплуатации оборудования (давление, температура, среда), история отказов и ремонтов, результаты предыдущих обследований (например, данные ультразвукового контроля толщины стенок), последствия отказа (влияние на безопасность персонала, окружающую среду, производственный процесс). Необходимо количественно оценить риск для каждого единицы оборудования, определяемый как произведение вероятности отказа и последствий отказа. В качестве критерия оптимизации выбира-

ется минимизация совокупного риска производственной системы при заданных ограничениях на бюджет инспекций и ремонтов.

Теоретические основы метода RBI. Вероятность отказа определяется на основе анализа механизмов деградации (коррозия, эрозия, усталость и т. д.) и данных о состоянии оборудования. Может выражаться в количественных (например, вероятность в год⁽⁻¹⁾) или качественных (низкая, средняя, высокая) показателях [1].

Последствия отказа оцениваются по нескольким аспектам: безопасность персонала, воздействие на окружающую среду, финансовые потери от простоя оборудования и затраты.

Уровень риска рассчитывается как произведение вероятности и последствий. Оборудование ранжируется по уровню риска, что позволяет визуализировать приоритеты для планирования мероприятий по контролю.

Алгоритм проведения RBI-анализа [3–5]. Алгоритм предусматривает следующие этапы.

1. Подготовка данных и планирование. Формирование перечня оборудования, подлежащего анализу. Сбор всей релевантной информации: паспортные данные, технологические режимы, данные по коррозии, история инспекций и отказов.

2. Оценка вероятности отказа. Для каждого объекта анализируются возможные механизмы повреждения и на основе моделей деградации или статистических данных рассчитывается/оценивается вероятность отказа.

3. Оценка последствий отказа. Моделируются сценарии отказа (разрыв, течь) и оценивается их воздействие на безопасность, экологию и экономику.

4. Расчет и ранжирование риска. Определяется уровень риска для каждого объекта анализа. Строятся матрицы и диаграммы риска «Вероятность — Последствие») для наглядного представления приоритетов.

5. Разработка плана инспекций. На основе карты рисков разрабатывается оптимизированная программа ТОиР. Для высокорискового оборудования планируются более частые и детальные методы контроля, для низкорискового — интервалы инспекций могут быть увеличены.

6. Актуализация и обновление. RBI-анализ является итерационным процессом или онлайн в случае интеграции с АСУ. Полученные в ходе инспекций новые данные используются для пересчета рисков и корректировки планов.

Результаты, полученные в рамках пилота.

1. Повышение безопасности и снижение рисков за счет более точного выявления потенциальных угроз — переоценка технического состояния происходит при любых изменениях условий эксплуатации.

2. Увеличение срока службы оборудования и сокращение капитальных затрат на его замену за счет заблаговременного выявления и планового устранения проблем.

3. Минимизация простоев и эффективная эксплуатация (опрозрачивание отклонений эксплуатационных параметров).

4. Принятие решений, на основе обобщенных данных благодаря хранению оцифрованных результатов инспекций.

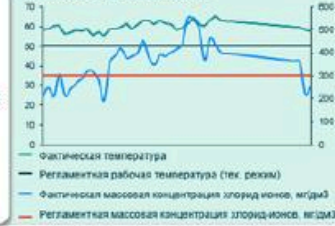
5. Экономия средств за счет сокращения избыточных проверок. Периодичность и объемы инспекции определяются на основе оценки риска.

Примеры Сибур-Кстово. Пример представлен на рисунке ниже.

Кейс Сибур-Кстово: по результатам RBI анализа выявлены критичные ЕО с отбраковкой, подтвержденной натурным обследованием

	Разгерметизация E-68/1 с выбросом у/в в воздух рабочей зоны	Разгерметизация T-31 с выбросом у/в в воздух рабочей зоны	Разгерметизация ТТ 109Б с выбросом у/в в воздух раб. зоны
Последствия реализации риска:	Останов производства пиролиза на срок до 5 суток, авария ИА2	Останов производства пиролиза на срок до 5 суток, авария ИА2	Останов производства продуктов пиролиза на срок до 8 суток, авария ИА2
Экономические последствия реализации риска:	XXX млн руб.	XXX млн руб.	XXX млн руб.
Результаты проведенной инспекции:			
Задачи выполненные в рамках RBI:	- Определены действующие механизмы деградации - Проведен наружный осмотр изоляции и определены участки потенциальных коррозионных повреждений. По результатам визуального осмотра и УЗТ в точках внимания был подтвержден механизм деградации и выявлено достижение отбраковочной толщины стенки металла		
Результаты проведения RBI:	- Отбракован штуцер - Запланированы корректирующие работы по устранению дефекта - Риск внесен в РРП с орг. мероприятиями	- Отбракован штуцер - Запланированы корректирующие работы по устранению дефекта - Риск внесен в РРП с орг. мероприятиями	- Отбракованы 2 отвода и уч. тела трубы - Запланированы корректирующие работы по устранению дефекта - Риск внесен в РРП с орг. мероп.

Оценено влияние технологического режима на техническое состояние оборудование. Выявлены превышения эксплуатационных параметров по 8 ЕО на Сибур-Кстово и 2 ЕО на Томскнефтехим, которые приводят к повреждениям в виде коррозии и растрескиваний

Топ 3 кейса:	Риск разгерметизации – Пластинчатый т/о установки РРП (Т-210/1-5) на СК Хлоридное растрескивание	Риск разгерметизации – Технологических трубопроводов УП (ТТ Рег. № 68 и 69) на СК Сульфидное растрескивание	Риск разгерметизации – Технологического тр-да установки ВПГ (Рег. № 111 Б) на СК Щелочное растрескивание
Фактические данные эксплуатационных параметров:	Выгрузка данных температуры закладочной воды и содержания хлоридов в среде с 01.04.2024 г. по 20.09.2024 г.  — Фактическая температура — Регламентная рабочая температура (тех. режим) — Фактическая массовая концентрация хлоридов, мг/дм³ — Регламентная массовая концентрация хлоридов, мг/дм³	Выгрузка данных температуры с 02.01.2022 г. по 01.10.2024 г.  — Фактическая температура — Регламентная рабочая температура (тех. режим)	Выгрузка данных температуры с 02.01.2022 г. по 01.10.2024 г.  — Фактическая температура — Регламентная рабочая температура (тех. режим)
Потенциальный УМД:	~ X млн руб.	~ XXX млн руб.	~ XXX млн руб.
Результат RBI анализа:	- Выявлено превышение температуры и содержание хлоридов более чем в 1,5 раза от регламентных значений - При формировании ТЗ на оборудование, не учитывается подверженность материалу воздействию хлоридов, что приводит к недовыработке ресурса оборудования - Для контроля данного механизма необходимо увеличение программы инспекции с целью контроля дефектов в виде трещин	- Выявлено превышение температуры более чем в 1,5 раза от регламентных значений - Для контроля данного механизма необходимо увеличение программы инспекции с целью контроля дефектов в виде трещин	- Выявлено превышение температуры более чем в 1,5 раза от регламентных значений - Для контроля данного механизма необходимо увеличение программы инспекции с целью контроля дефектов в виде трещин

Кейс Сибур-Кстово

Проблемы. Основной проблемой, препятствующей получению полноценного эффекта от внедрения RBI, является его противоречие с текущим федеральным законодательством (ФЗ № 116, Федеральными нормами и правилами). Регулярность инспекций жестко фиксирована и завязана исключи-

тельно на временной срок, без учета реального уровня рисков конкретного оборудования.

Заключение.

1. Применение методологии RBI-анализа на ООО «Сибур-Кстово» подтвердило свою эффективность для перехода от планово-предупредительной системы обслуживания к системе, основанной на оценке риска.

2. Внедрение RBI способствует повышению уровня промышленной безопасности, надежности эксплуатации и позволяет обоснованно продлевать срок безопасной эксплуатации оборудования.

3. Метод позволяет достичь значительного экономического эффекта за счет перераспределения ресурсов с низкорискового на высокорисковое оборудование.

4. Для полномасштабного внедрения метода необходима разработка и согласование методик, позволяющих интегрировать принципы RBI в рамки действующих нормативных требований ФНП.

Список источников

- [1] *API Recommended Practice 580: Risk-Based Inspection. Risk-based Inspection. American Petroleum Institute (API)*, 2022.
- [2] *BS EN 16991:2018. Risk-based inspection framework. British Standards Institution (BSI)*. 2018.
- [3] Khan F.I., Haddara M.M. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2003, vol. 16, no. 6, pp. 561–573.
- [4] Смирнов А.В., Козлов Д.Ю. Применение RBI-анализа для оптимизации программ диагностики оборудования на нефтеперерабатывающих заводах. *Нефтепереработка и нефтехимия*, 2021, № 5, с. 45–50. EDN: ABCDEF.
- [5] Vianello C., Maschio G. Risk Analysis Based Inspection Planning. *Chemical Engineering Transactions*, 2013, vol. 32, pp. 283–288.