ОБ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОЙ НА МЕТОДАХ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 81.93.21

В.С. Степанянц
ООО «Промышленные системы», г.Москва

Безопасность, надежность и эффективность использования основных фондов на опасных производственных объектах и, в частности, на действующих нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятиях в большой степени зависят от того, насколько четко организована на предприятии система технического обслуживания (ТО) и ремонта основного оборудования.

Под термином “основное оборудование” подразумевается активная часть производственных основных фондов предприятия: машины, аппараты, трубопроводы и арматура, электротехническое и теплоэнергетическое оборудование, т.е. все оборудование кроме зданий, сооружений, транспорта и ремонтного оборудования.

В настоящее время на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях в соответствии с действующей системой технического обслуживания и ремонта для основного оборудования, определяющего производственную мощность агрегата, технологической установки, используется метод проведения планово-периодических ремонтов [1]. Суть этого метода заключается в том, что все виды обслуживания и ремонтов выполняются в заранее установленной последовательности через определенное количество отработанных агрегато- (машино)-часов. Приведенные в системе нормативные ресурсы на указанное оборудование являются среднестатистическими по отрасли. В зависимости от условий работы, производства и технического состояния оборудования разрешаются следующие отклонения от нормативной продолжительности межремонтного периода: для химических предприятий [1]: ±15% - между текущими ремонтами, ±10% - между капитальными ремонтами, для нефтеперерабатывающих предприятий [2-4] допускается увеличение межремонтного периода не более, чем на 30%. Отклонения за пределы указанных выше нормативных значений межремонтного ресурса или замена одного вида ремонта другим допускаются только после тщательной проверки технического состояния (ТС) оборудования. В целях оптимизации ремонтных нормативов с учетом специфических особенностей конкретного предприятия предлагается перейти от системы планово-периодических ремонтов к адаптивной системе планирования ТО и ремонтов (АСТОиР) по техническому состоянию, основанной на мониторинге технического состояния

оборудования и с использованием моделей технического обслуживания, базирующихся на методах теории надежности [5].

При увеличении межремонтного ресурса установок и составляющего их оборудования следует ожидать снижения эксплуатационных затрат, повышения прибыльности предприятия. Однако, с увеличением ресурса между ремонтами, срока службы оборудования и его составных частей возрастает риск возникновения критических, с тяжелыми последствиями, отказов, ущерб от которых может превысить ожидаемые выгоды. Следовательно, в каждом конкретном случае нормативное значение межремонтного ресурса оборудования должно быть оптимальным. Оптимальным межремонтным ресурсом в данном случае является такой ресурс, при котором удельные приведенные затраты (в которых учтено увеличение вероятных потерь от аварии при увеличении межремонтного ресурса) при использовании данного оборудования достигают своего минимума и при этом выдерживаются нормативные требования к безопасности его эксплуатации.

Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности оборудованию придается система обеспечения его работоспособности, которая включает диагностические и ремонтные средства, комплекты запчастей, средства доставки запасных элементов и т.д. Совокупность всех запасов конструктивных элементов, входящих в систему обеспечения работоспособности оборудования, условно называется системой ЗИП [6]. Возможная нехватка запасных элементов увеличивает среднее время замены отказавшего элемента исправным запасным (среднее время ремонта оборудования), причем ограниченность объема системы ЗИП может существенно сказаться на значении показателя надежности, и ее нельзя не учитывать при расчетах надежности.

Оптимальное (нормативное) значение ресурса составных частей оборудования можно определить, используя модели эксплуатационной надежности оборудования с учетом различных стратегий технического обслуживания и ремонта. Для построения таких моделей необходимо иметь методическое, информационное и программное обеспечение, позволяющее решать следующие задачи:

- вести учет и накопление данных о наличии, размещении, движении, наработке и возрастной структуре оборудования на предприятии, включая его паспортные и технические характеристики;
- вести учет и накопление данных о сроках, содержании, трудоемкости и стоимости работ, проводимых в связи с ТО и ремонтом отдельных единиц оборудования и технологических установок на предприятии;
- вести учет и накопление данных об авариях, инцидентах и простоях объектов основного и вспомогательного производств, отказов составляющего их оборудования; о характерных дефектах и повреждениях, определяющих техническое состояние оборудования и его составных частей;

- проводить анализ причин возникновения аварий, инцидентов на технологических установках основного и вспомогательного производств, отказов, повреждений и дефектов узлов и деталей оборудования и распределения этих причин по механизму их возникновения, характеру и тяжести их последствий;
- формировать исходные выборки наработок до отказа, между отказами, продолжительности и трудоемкости восстановления работоспособного состояния после отказа для оценки различных показателей надежности оборудования и его составных частей;
- формировать исходные выборки деградации параметров, определяющих техническое состояние оборудования и его составных частей, от времени их эксплуатации;
- формировать исходные выборки параметров, определяющих запас прочности и несущей способности элементов конструкции оборудования (геометрических размеров, прочностных свойств материала, вариации значений действующих нагрузок), и их деградации, обусловленной воздействием повреждающих факторов (коррозии, механического износа, циклической усталости и т.п.) от времени их эксплуатации;
- производить обработку исходных выборок методами математической статистики, в результате чего определить, каким закономерностям подчиняются наработки до отказа и достижения предельного состояния, временные, трудовые и материальные затраты на восстановление работоспособного состояния оборудования;
- установить для оборудования периодичность технического освидетельствования и получить оценку остаточного ресурса составных частей оборудования, исходя из обеспечения требуемого уровня безопасной эксплуатации;
- получить оптимальные срок проведения и содержание ремонтных работ основного оборудования и технологического объекта в целом;
- принимать технически и экономически обоснованные решения на прекращение или продолжение дальнейшей эксплуатации оборудования;
- определить наиболее эффективную структуру ЗИП, оптимальные стратегии пополнения и достаточность комплектов ЗИП;
- иметь научно-обоснованные данные о величине риска при необходимости принятия решения на продолжение эксплуатации оборудования и установок в целом, исходя из условий обеспечения требований безопасности и эффективности их работы.

Эффективное решение представленных выше задач не представляется возможным без использования современных информационных технологий (ИТ). Для реализации решения поставленных выше задач необходима разработка автоматизированной адаптивной системы технического обслуживания и ремонта (в дальнейшем АСТОиР) на основе ИТ. Структурная схема системы представлена на рис.1.

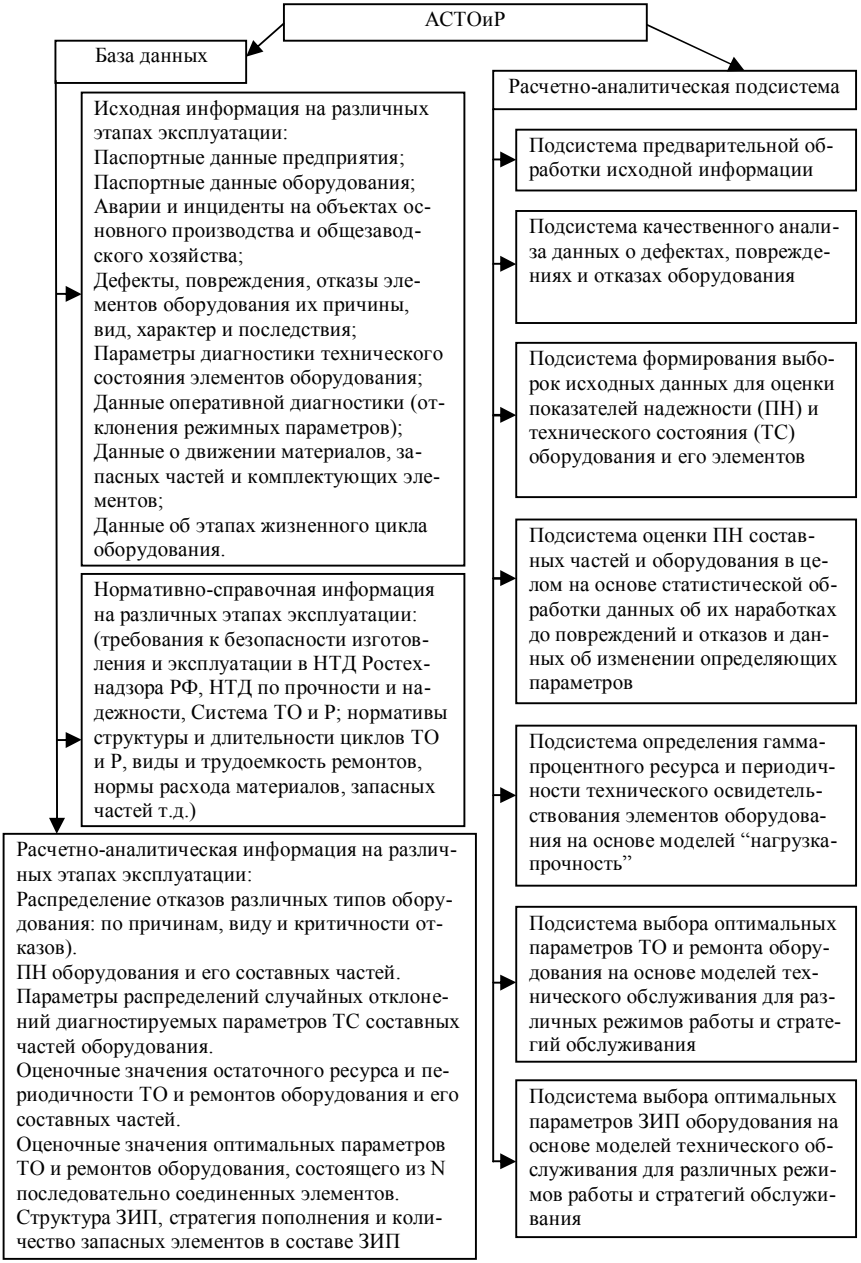

Рис.1. Структурная схема информационно аналитического комплекса АСТОиР

Система АСТОиР представляет собой совокупность двух основных подсистем: базы данных и расчетно-аналитической подсистемы.

В базе данных формируется и накапливается весь опыт, связанный с обследуемым объектом. Сюда входит вся доступная информация о состоянии каждого объекта на протяжении его жизненного цикла (изготовление, хранение, монтаж, пуск, освоение, эксплуатация, консервация, демонтаж и списание) и вся доступная ретроспективная информация как о самих объектах, так и об их аналогах.

База данных реализуется в виде трёх основных блоков: исходной информации, нормативно-справочной информации, расчетной информации.

Исходная информация – совокупность всех параметров, описывающих как сам объект, так и состояние объекта на всех этапах его жизненного цикла. В процесс эксплуатации объекты переходят в различные состояния, обусловленные повреждениями, дефектами составных частей и отказами оборудования, нарушениями норм технологического режима, организационно-техническими простоями и необходимостью проведения определенного набора регламентных работ (осмотр, контроль диагностируемых параметров, дефектация, ремонт или замена составных частей, чистка, выжиг кокса, замена катализатора и т.д.). Каждый вид регламентных работ проводится в определенное время жизненного цикла (срока службы) и может периодически повторяться. Множество параметров, описывающих состояние объекта до (или после) проведения очередного вида регламентных работ, представляет собой определенный временной этап его эксплуатации, который ограничивается датами начала и окончания данного этапа эксплуатации.

Исходя из этого определения, представление информации в виде множества этапов эксплуатации позволяет анализировать (ретроспективно) эволюцию технического состояния объекта и, основываясь на полученных закономерностях, прогнозировать изменение технического состояния объекта на будущий период эксплуатации.

Расчетная информация – множество параметров, на основании которых формируется заключение о работоспособности объекта и прогнозировании изменения её в будущем. Необходимость хранения расчетной информации в БД обусловлена целым рядом причин, основной из которых является выполнение требований достоверности и доступности для пользователя любой квалификации. Расчетная информация, как и исходная информация, формируется на различных этапах эксплуатации, причем каждому этапу эксплуатации соответствует своя исходная и расчетная информация.

Кроме того, в БД представлена нормативно-справочная информация (ГОСТы, ОСТы, временные нормы и правила, положение о системе ППР, инструкции по эксплуатации, графики ППР, дефектные ведомости, акты сдачи в ремонт и приемки из ремонта, ремонтные журналы и т.п.), которая периодически обновляется по мере развития нормативной базы отрасли.

Расчетно-аналитический комплекс представляет собой совокупность подсистем, в которых осуществляется весь спектр расчетов, обусловленных решением следующих задач:

1) Ввод паспортных данных оборудования.
2) Ввод данных о дефектах, повреждениях, отказах, диагностируемых параметрах, заменах и ремонтах составных частей оборудования.
3) Первичная обработка информации: анализ качества вводимой информации, сортировка исходной информации по различным классификационным и ключевым признакам и формирование исходных выборок данных, для оценки различных параметров, необходимых для решения нижеперечисленных задач:
   - анализ видов, причин и последствий возникновения аварий и инцидентов на объектах основного производства и общезаводского хозяйства;
   - анализ причин и механизма возникновения дефектов и повреждений основных элементов оборудования;
   - анализ видов, характера, причин, последствий и критичности отказов элементов оборудования;
   - обработка исходных выборок данных методами математической статистики;
   - анализ ретроспективной информации с целью изучения тенденций изменения ТС объекта;
   - оценка достигнутого и прогнозируемого уровня надежности оборудования и его составных частей на определенных периодах эксплуатации на основе статистики отказов и повреждений;
   - оценка достигнутого и прогнозируемого уровня надежности оборудования и его составных частей на определенных периодах эксплуатации на основе прогнозирования параметров их технического состояния и моделей “нагрузка-прочность”;
   - определение основных параметров технического обслуживания и ремонта (стратегии, периодичности, объема профилактических работ, допускаемого отклонения контролируемых параметров ТС, норм расхода и достаточности хранимых на складе запасных частей) на основе моделей технического обслуживания оборудования;
   - анализ и принятие решений, оценка адекватности моделей технического обслуживания и обоснование необходимости совершенствования самих моделей.

АСТОиР реализуется в виде трех основных подсистем: ввода и первичной обработки исходной информации, подсистемы статистической обработки исходной информации, подсистемы аттестации и прогнозирования эволюции технического состояния (ТС) объекта. Функциональная схема АСТОиР представлена на рис.2.

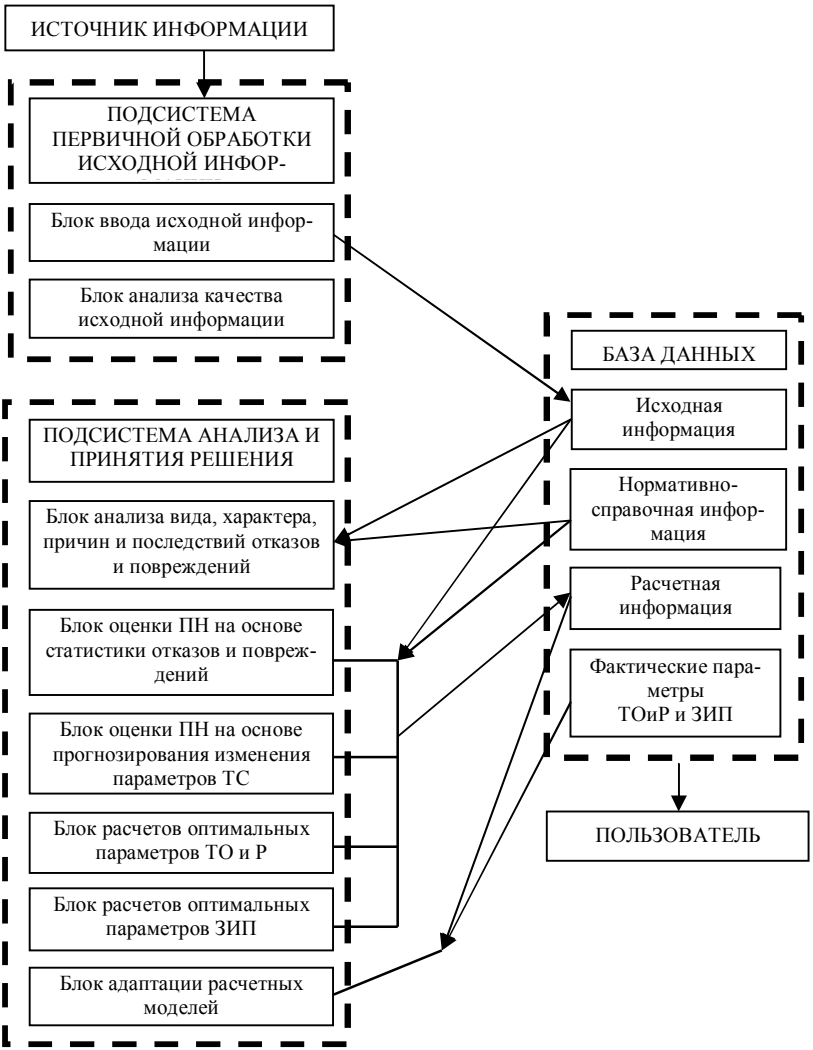

Рис.2. Функциональная схема АСТОиР

В подсистеме ввода и накопления исходной информации осуществляется ввод всей необходимой информации как о самом объекте и его составных частей, так и о всех параметрах, с помощью которых осуществляется контроль их технического состояния на всех этапах их жизненного цикла.

В подсистеме предварительной обработки информации формируются исходные выборки информации, оценивается качество информации

в выборках, принимается решение о возможности объединения исходных выборок для оценки тех или иных показателей эксплуатационной надежности однотипного оборудования с заданной точностью и достоверностью.

Подсистема ретроспективного анализа и адаптации расчетных моделей позволяет реализовать концепцию внешней и внутренней адаптации АСТОиР. Как правило, процесс эксплуатации длится десятки лет и эти сроки сопоставимы со сроками внедрения самых современных технологий НТП. Поэтому в процессе эксплуатации технологических комплексов возможны серьёзные изменения в целях и задачах. Способность АСТОиР приспосабливаться (в информационном смысле) к изменяющимся внешним условиям и определяется, как внешняя адаптация.

В подсистеме анализа и принятия решений, осуществляются все расчеты, связанные с оценкой достигнутого и прогнозируемого уровня ПН, прогнозом ТС, определением оптимальных параметров ТО и ремонтов и системы ЗИП. Данная подсистема является открытой для совершенствования методов расчетов и именно здесь формируется и обогащается накопленный научный и технический потенциал отрасли.

Под внутренней адаптацией понимается способность АСТОиР совершенствовать методы расчета для получения все более качественного решения задач исследуемых объектов (именно прогноз состояния является основой выбора того или иного технического решения). Способность АСТОиР к внутренней адаптации реализуется посредством ретроспективного анализа исходной информации и сопоставления этой информации с расчетной информацией соответствующего этапа эксплуатации. Если такое сопоставление показывает устойчивое смещение (невязку) расчетной величины (расчетной информации) относительно наблюдаемой (исходная информация соответствующего этапа эксплуатации) вырабатывается команда на корректировку расчетной модели для уменьшения величины невязки. По сути, подсистема ретроспективного анализа и адаптации расчетных моделей анализирует метод, аналогичный широко известному математическому методу последовательных приближений.

Адаптивная система технического обслуживания и ремонта оборудования предприятия, построенная на основе мониторинга технического состояния оборудования и использования информационных технологий, позволяет не только существенно повысить безопасность и надежность действующих производств, но и улучшить технико-экономические показатели предприятия. В связи с тем, что в настоящее время отсутствует отечественный опыт разработки и эксплуатации подобных систем, оценить эффективность использования данной системы затруднительно. Для того, чтобы ориентировочно оценить трудовые затраты на создание и эффективность использования подобной системы воспользуемся зарубежным опытом.

Так, например, компьютерная система реального времени "COMPASS", разработанная фирмой "БОННЕР и МУР" США, ФРГ, интегрирующая взаимосвязанные функции документооборота оборудования, планирования его технического обслуживания, ремонта и замены, закупки запасных частей и материалов и их хранения на складах. Система предназначена для автоматизации информационных и вычислительных операций указанных функций, охватывает все принятые на предприятии стандартные формы документов, все основные формы таблиц и справок, запрашиваемых пользователями в режиме диалога с компьютером.

Система позволяет накапливать и эффективно использовать данные по состоянию и изменению состояния каждого из элементов основных фондов предприятия. Целью анализа указанных данных является нахождение и принятие оптимальных решений на всех этапах этой работы:

- определение технического состояния эксплуатируемого оборудования, прогнозирование изменения этого состояния на любой отрезок времени, планирование сроков проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту,
- замена достигших предельного состояния составных частей и оборудования в целом, определение состава и объемов этих работ, людских и материальных ресурсов, необходимых для выполнения этих работ и обеспечения требуемого уровня надежности и безопасности эксплуатации оборудования на данном предприятии/

Анализ затрат на разработку, внедрение и результатов функционирования системы "COMPASS", на различных нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, полученных за 10 лет реализации данной системы, позволяет привести некоторые количественные показатели, характеризующие эффективность функционирования данной системы:

- трудоемкость разработки данной системы составила 130 чел./лет;
- штат всех складов предприятия уменьшился на 30%;
- сверхнормативные запасы, составлявшие ранее объем на сумму 2,6 млн.дол., составили 100 тыс.дол., т.е. уменьшились на 2,5 млн.дол.;
- оперативность всей информации, выдаваемой системой, позволила уменьшить нормативные запасы товаров, тем самым, снизив уровень запасов на складах в денежном выражении на 14%;
- за счет полной информации о взаимозаменяемости деталей и материалов удалось уменьшить на 7% общее число наименований товаров, хранящихся на складах;
- срочные закупки деталей и материалов в аварийных ситуациях за счет уменьшения числа самих ситуаций, лучшего учета товаров и непрерывного слежения за гарантийными запасами на складах снизились на 50%;

– исключены полностью ошибки и несоответствия в ценах на отдельные товары по накладным при их получении от поставщиков и по документации при их хранении и отпуске со складов; эти ошибки составляют 750 тыс.дол. из общего годового оборота товаров на 5,6 млн.дол.;
– лучшая организация труда ремонтного персонала позволила поднять производительность ремонтных работ на 36%; что позволило снизить ежегодные расходы на ремонты на 600 тыс.дол.

В целом за 6 лет эксплуатации полные затраты на систему "COMPASS" (закупка математического обеспечения и компьютерной техники с 65 рабочими станциями, их установка и эксплуатационные расходы) за 6 лет эксплуатации составили 2,96 млн.дол. Полученная экономия от дохода от всех указанных выше факторов за эти же годы за вычетом затрат составила 7,21 млн.дол.

Библиографический список

1. Система технического обслуживания и ремонта оборудования и транспортных средств на предприятиях химической промышленности. – М.: НИИТЭХИМ, 1967.
2. Положение о проведении ремонтов оборудования и объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России. – Салават, 1983.
3. Положение о планово-предупредительном ремонте технологического оборудования предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Часть I. – Волгоград, 1977.
4. Положение о системе технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Часть II. Нефтехимические производства. – Уфа, 1983.
5. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах, том 8 под ред. Акад. АН СССР В.И. Кузнецова и д-ра техн. Наук Е.Ю. Барзиловича. Эксплуатация и ремонт. – М.: Машиностроение, 1990.
6. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985.