

УДК 65.012.2

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРАКТИКИ ТОиР: ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ

*Антоненко И. Н.*, канд. техн. наук, начальник отдела, компания НПП "СпецТек"

*Крюков И. Э.*, генеральный директор ООО «АйТиЭм»

*В настоящее время многие предприятия решают задачу выбора и внедрения информационной системы управления ТОиР. В статье представлен взгляд авторов на основные этапы развития практик технического обслуживания и ремонта. Одновременно в общих чертах рассматривается ход эволюции информационных систем ТОиР. Дана краткая характеристика передовых практик ТОиР. Сформулированы ключевые требования к современной информационной системе ТОиР.*

**Ключевые слова:** *практики ТОиР, обслуживание по наработке, обслуживание по состоянию, обслуживание по критерию надежности, обслуживание, основанное на анализе рисков, информационные системы.*

## **CMMS and the areas of maintenance management activities: steps of improvement**

*The article includes the view of authors on main steps of maintenance improvement. In the same time there is an overview of CMMS functions (information system used to control the maintenance processes). The existing maintenance strategies are described in short: run-to-failure, time-based maintenance, condition-based maintenance, reliability centered maintenance, risk-base maintenance. Finally the key options of CMMS are listed.*

**Key words:** *maintenance programs, run-to-failure, time-based maintenance, condition-based maintenance, reliability centered maintenance, risk-based maintenance, information systems, computerized maintenance management system (CMMS).*

Техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиР) как область деятельности за последние полвека изменилась весьма существенно. Этому имелись объективные причины. Хотя степень механизации промышленности постепенно наращивалась, примерно до Второй мировой войны она была не очень высокой. Вследствие этого отказы машин и их простои были не слишком важны для предприятий. При этом само оборудование было не очень сложным и легко поддавалось ремонту. В этой связи при эксплуатации оборудования преобладал подход «пусть ломается – починим», известный также как «ремонт после отказа» (Run-to-Failure – RTF). Систематическое обслуживание, кроме смазки и чистки, не проводилось.

## **ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО НАРАБОТКЕ**

Затем многое изменилось. Война требовала новых, более сложных и совершенных продуктов промышленности, и в большем количестве. А численность рабочих при этом значительно сократилась. В итоге механизация приобрела такой импульс, что к 1950-м гг. количество машин и механизмов увеличилось в разы, сами они стали значительно сложнее и дороже, от них ожидали удовлетворения важнейших потребностей в надежде на их производительность. Зависимость человека и предприятий от оборудования значительно возросла. Дороговизна машин требовала поиска путей продления их срока службы. Поэтому возникла мысль, что отказы нужно предотвращать, не допуская внезапных

остановок производства из-за поломок и аварий, грозящих серьезными последствиями там, где многое отдано на откуп машинам. По мнению И.А. Ушакова [1], мощный стимул исследованиям в области надежности дала корейская война 1950–1953 гг., где американские войска столкнулись с серьезной проблемой обеспечения работоспособности военной техники на удаленном театре военных действий. Простую практику RTF не так просто реализовать, когда затруднена доставка запчастей.

Так появилось предупредительное обслуживание, а также плановые предупредительные ремонты (ППР). Суть этого подхода в том, чтобы провести ТОиР до наступления отказа, тем самым улучшить техническое состояние оборудования и снизить вероятность возникновения отказа. Дальнейшая эволюция ТОиР в значительной степени стала развитием идеи предупредительного обслуживания.

В какой момент провести ТОиР, чтобы предупредить отказ, – этот вопрос стал одним из ключевых. Сначала отказ рассматривался как событие, вероятность которого возрастает по мере работы оборудования из-за износа и старения. В этой связи логичным было решение определять момент проведения ТОиР по достижению некоторого времени наработки оборудования (Time-Based Maintenance – TBM). На практике величина этой наработки стала

определяться календарным интервалом, в течение которого оборудование находилось в состоянии работы, или более точно – в измеренных единицах фактической выработки. Теория предупредительного ТОиР по критерию времени наработки впервые была разработана в работах [2, 3], позднее появился фундаментальный труд [4], посвященный проблемам обслуживания «стареющих» систем.

Так как вероятность отказа неразрывно связали с временем наработки, а наработка снова накапливалась после ТОиР и опять достигала пороговой величины, то предупредительные работы повторялись. В результате ремонтная деятельность приобрела циклический, отчетливо периодический характер, в отличие от хаотических работ при ремонте по отказу. Возникли понятия «ремонтный цикл» и «межремонтный период». Таким образом, предупредительное ТОиР получило реализацию в виде периодического обслуживания и ремонта.

При ремонтах по отказу устранялся тот отказ, который произошел. В системе же ППР работы выполняются с целью предупредить все возможные отказы. Как следствие, объемы и количество работ при ППР возрастают. Это подстегнуло рост расходов на ТОиР, и возникла необходимость контролировать их, и вообще как-то управлять ремонтами и обслуживанием. Появились планы ТОиР и системы планирования,

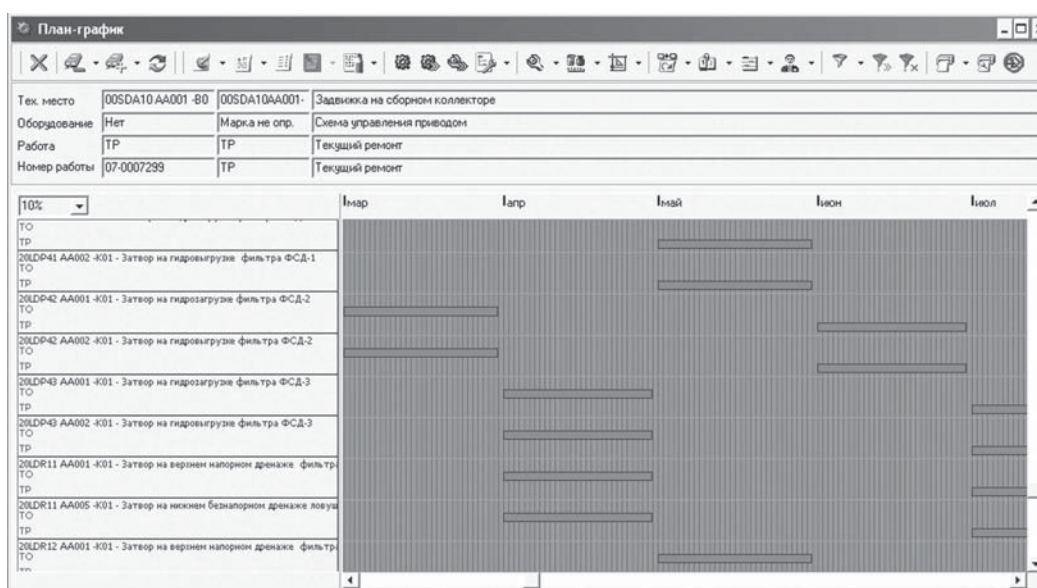


Рис. 1. План-график работ

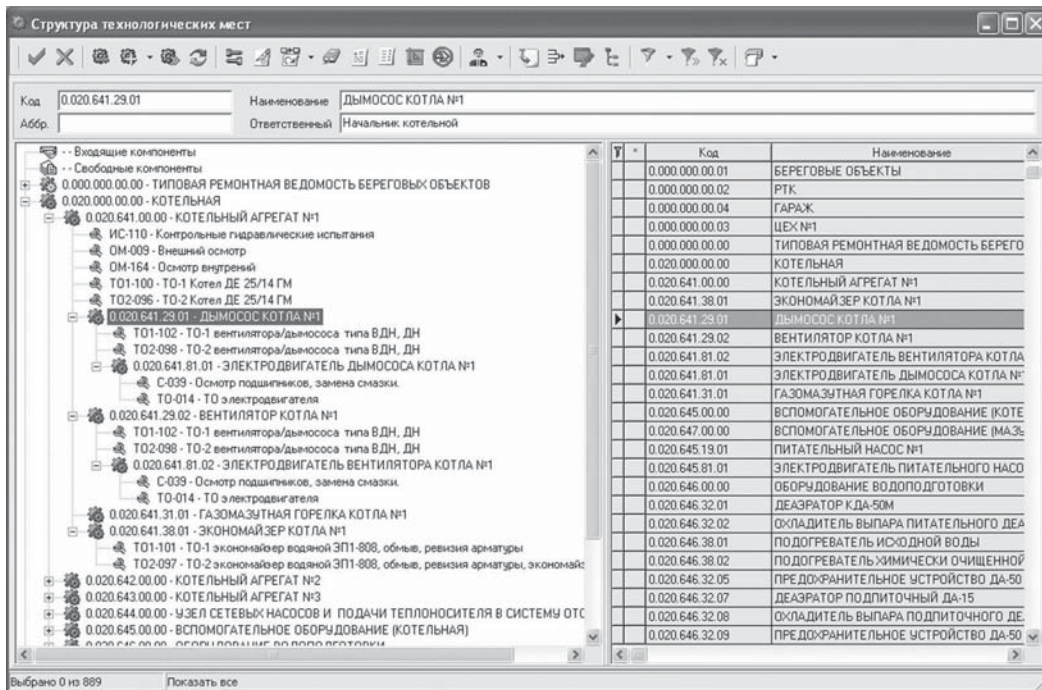


Рис. 2. Иерархическая структура оборудования

в том числе первые средства автоматизации процедур составления планов-графиков.

Современные автоматизированные системы управления ТоиР – это так называемые CMMS- и EAM-системы (CMMS – Computerized Maintenance Management System, EAM – Enterprise Asset Management). Они унаследовали эти средства формирования планов-графиков, но на качественно новом уровне: в части совместной работы с графиками, способов доступа к данным о работах, взаимосвязи графиков работ с материальными и финансовыми потоками и т.д. На рис. 1 представлен пример графика, сформированного в EAM-системе TRIM (далее также используются примеры из TRIM, в других EAM-системах могут быть отличия). Естественно, планирование предполагает наличие соответствующих инструментов для автоматизации учета выполненных работ, структурирования и учета самих объектов ремонта (рис. 2), ведения нормативов на работы и т.д.

### ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО СОСТОЯНИЮ

В конце 1960-х – начале 1970-х гг. дальнейшее повышение уровня надежности посредством ТВМ оказалось под вопросом. Решение проблемы

«в лоб», путем тотальных ППР с увеличением частоты их проведения, вывело ремонтные затраты на неприемлемо высокий уровень. Кроме того, проведение ППР зачастую совсем не снижало вероятность отказа, а непосредственно после ППР даже повышало ее.

Между тем внедрение передовых методов управления производством, таких как поставка комплектующих «точно в срок» (Just-in-time) и дальнейшее наращивание уровня механизации и автоматизации, привело к тому, что даже небольшой отказ мог остановить целое предприятие. Например, если по причине отказа прекращалось производство одной детали, без которой невозможны последующие этапы сборки. Стандарты экологии и безопасности ужесточались, так что многие компании оказались в ситуации, когда либо надежность оборудования должна соответствовать требованиям, либо компания должна прекратить производство. Качество продукции стало функцией множества факторов, которых раньше не замечали – например, таких как влияние отказа вытяжной вентиляции на снижение качества производимой точной продукции из-за мельчайших частиц пыли в цеху.

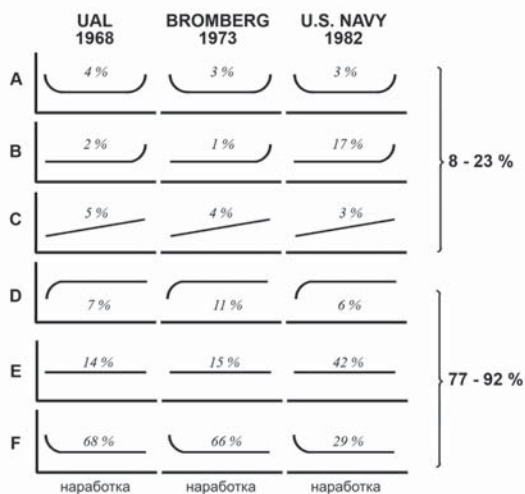


Рис. 3. Шесть вариантов зависимости интенсивности отказов от наработки

Были проведены масштабные исследования механизмов отказа, которые привели к неожиданным выводам – в 1968 г. в американской авиакомпании United Airlines (UAL), затем в 1973 г. в Швеции (Bromberg) и в 1982 г. в военно-морском флоте США. Результаты опубликованы в работах [5, с. 45] и [6, с. 3–15]. Оказалось, что только 8–23% отказов соответствует представлению, принятому практикой TBM, о том, что интенсивность отказов растет с наработкой. Эти отказы свойственны относительно простым объектам. Что же касается технически сложных объектов, выяснилось, что между вероятностью их отказа и сроком эксплуатации нет или почти нет взаимосвязи. А это от 77 до 92% отказов (рис. 3). Для этих объектов интенсивность отказа, по крайней мере за пределами интервала приработки, имеет постоянную величину, не изменяющуюся с наработкой.

Стало очевидно, что для 77–92% отказов бессмысленно определять момент предупредительного ТОиР по величине наработки, так

как наработка не позволяет прогнозировать приближение отказа. И что при планировании ТОиР в данном случае необходимо опираться не на наработку, а на фактическое техническое состояние оборудования. Несомненно, это придало импульс практике предупредительного обслуживания по состоянию (Condition-Based Maintenance – CBM), теоретические основы которого были разработаны в 1960-х гг. [7, 8].

Методически правильно было не отказываться от TBM вообще, а комбинировать эти две практики ТОиР – применять TBM и CBM к оборудованию, для которого характерны зависимости соответственно A, B, C и D, E, F. На информационные системы управления ТОиР в этой связи была возложена задача автоматизации формирования комплексного плана-графика, включающего как работы, спланированные по наработке, так и работы по состоянию, а также работы по диагностике и измерению параметров состояния оборудования. Но главное – информационные системы ТОиР взяли на себя функцию сбора и анализа данных о контролируемых параметрах, в том числе посредством взаимодействия с диагностическими системами, хранения и представления истории изменения параметров, индикации номинальных, критических и аварийных уровней и т.д. (рис. 4).

#### ОБСЛУЖИВАНИЕ, ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА НАДЕЖНОСТЬ

Тем не менее такое предупредительное обслуживание было трудно реализовать. Причина – необходимость в системах диагностики, которые позволяли бы измерять и контролировать массу технических параметров оборудования для CBM, а также в значительных ресурсах, которые требуются для определения характеристик

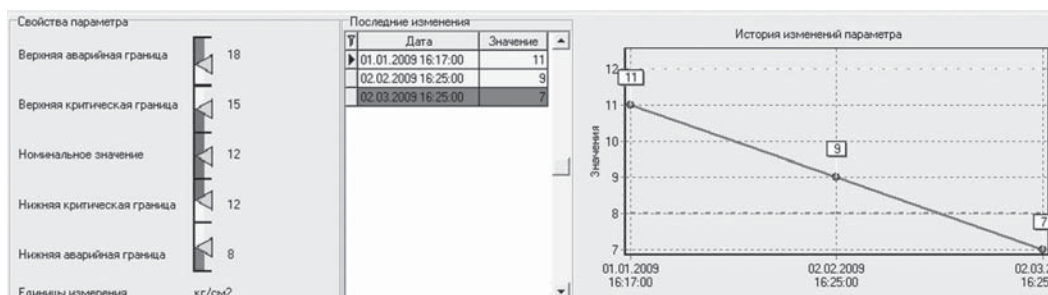


Рис. 4. Определение границ и контроль параметра

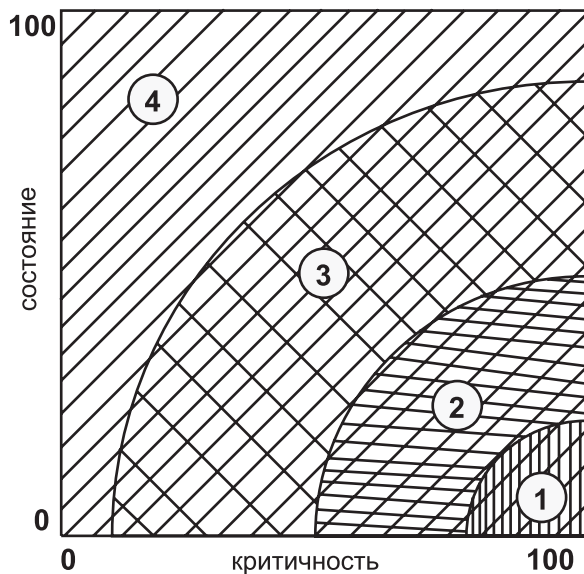


Рис. 5. Зоны стратегий обслуживания

надежности оборудования и, соответственно, расчета оптимальных межремонтных периодов. Требовались весьма существенные затраты как на приборную базу, системы обработки информации, так и на персонал. Это ограничивало возможности многих компаний по реализации такого ТОиР, поскольку никак не учитывалась ограниченность ресурсов самого предприятия.

На этой основе возник новый подход, или новая стратегия проведения ТОиР – обслуживание, ориентированное на надежность (Reliability-Centered Maintenance – RCM) [9].

Согласно RCM, различные единицы или группы оборудования на предприятии имеют разную значимость (критичность) для выполнения производственной системой своих функций и исключения возможного ущерба. Соответственно, отказы оборудования с разной критичностью отличаются по опасности последствий. Поэтому нет смысла тратить ресурсы на предупреждение всех отказов, а предупреждать нужно только те, которые могут вызвать значимые последствия. Таким образом, RCM перемещает внимание предприятия с отказов как таковых на их последствия.

Реализация RCM начинается с функционального анализа оборудования:

♦ определение функций каждой единицы или группы оборудования в конкретных условиях его

эксплуатации вместе с требованиями к качеству выполнения этих функций;

♦ определение перечня функциональных отказов как неспособности выполнять функции в соответствии с требованиями;

♦ определение перечня критичного оборудования, отказ которого ведет к функциональному отказу, расчет индекса критичности оборудования.

Наряду с критичным оборудованием выделяется некритичное – это может быть резервированное оборудование, либо отказ которого не влечет последствий в виде функционального отказа. Далее, по отношению к некритичному оборудованию применяется практика RTF, а по отношению к критичному – сочетание практик TBM и CBM. Таким образом, RCM нельзя назвать в чистом виде предупредительным обслуживанием, так как здесь предупредительные практики комбинируются с RTF.

В отношении критичного оборудования применяется комплексная стратегия повышения надежности:

♦ АВПКО-анализ, формирование моделей оценки технического состояния, определение параметров надежности оборудования и интенсивности отдельных видов отказов;

♦ измерение и мониторинг параметров оборудования, использование их как исходных данных в моделях оценки состояния, применение моделей для расчета результирующего индекса состояния;

♦ расчет показателя важности (интегральный показатель индекса критичности и индекса состояния);

♦ распределение оборудования по зонам стратегий обслуживания в зависимости от важности (рис. 5):

- зона 4 – осмотр и мониторинг;
- зона 3 – текущий ремонт и обслуживание;
- зона 2 – капитальный ремонт;
- зона 1 – замена оборудования;
- ранжирование работ по важности (рис. 6)

с тем, чтобы направлять ограниченные ресурсы на выполнение в первую очередь тех работ по ТОиР, которые дадут наибольший вклад в повышение надежности.

Важность	Наименование оборудования	Наименование работы	Аббр. оборудования	Код оборудования	Аббр. работы	Серийный номер	Код работ
70,157008	КТПН 6/0,4 400 кВА №1 к-317	Текущий ремонт	ПС-35/6 К-2121	520401010201153	Т		Т
67,799986	ЛР-6кВ	Техническое обслуживание	ПС-35/6кВ К-2121	230301010807541	ТО		ТО
67,799986	ЛР-6 кВ КТПН 6/0,4 400 кВА №1 к-317	Техническое обслуживание	ПС-35/6 К-2121	230301010201154	ТО		ТО
47,990328	ВЛ-35кВ Ф-2 ПС-110/35/6кВ КНС-12	Техническое обслуживание		200101010800168	ТО		ТО
40,038756	ВЛ-35кВ Ф-2 н/ст 110/35/6кВ КНС-16	Техническое обслуживание		200101010800048	ТО		ТО
36,342355	МВ 35 кВ 1	Техническое обслуживание	ПС-110/35/6 КНС-12	110101010805491	ТО		ТО
35,841836	МВ-35кВ №2 ПС КНС-12р	Техническое обслуживание	ПС 110/35/6 КВ КНС-12	110101010100602	ТО	КОПК	ТО
31,289694	ВЛ-6кВ Ф-16 н/ст 35/6кВ К-302	Техническое обслуживание		200301010807218	ТО		ТО
28,816967	КТПН 6/0,4 250 кВА №2 к-1947 а	Текущий ремонт	ПС 35/6кВ К-1976	520401010102489	Т		Т
27,718988	ЛР-6кВ	Техническое обслуживание	ПС-35/6кВ К-1976	230301010809143	ТО		ТО
27,376564	ЛР-6 кВ КТПН 6/0,4 250 кВА №2 к-194	Техническое обслуживание	ПС 35/6кВ К-1976	230301010102490	ТО		ТО
26,182217	ВЛ-6кВ Ф-10 н/ст 35/6кВ К-1976	Текущий ремонт		200301010809138	Т		Т
22,713974	СР 35 кВ 1	Техническое обслуживание	ПС-110/35/6 КНС-12	230101010805495	ТО		ТО
22,713974	ЛР 35 кВ 1	Техническое обслуживание	ПС-110/35/6 КНС-12	230101010805493	ТО		ТО
21,915676	ВЛ-6кВ Ф-4 н/ст 35/6кВ К-2121	Техническое обслуживание		200301010807536	ТО		ТО
16,629243	ВЛ-35кВ Ф-1 ПС-110/35/6кВ КНС-5А	Техническое обслуживание		200101010800253	ТО		ТО
16,127958	ВЛ-35кВ Ф-3 н/ст 110/35/6кВ КНС-11	Техническое обслуживание		200101010800013	ТО		ТО
15,489005	КТПН-КС-650кВА №1 к-1858	Текущий ремонт	П/СТ 35/6 КВ К-806	540401010503661	Т		Т
14,404208	ТР-2 35кВ	Текущий ремонт	ПС-110/35/6 КНС-9А	230101010802721	Т		Т
14,404136	ЛР-35кВ №2	Текущий ремонт	П/СТ 35/6 КВ КТПБ	230101010802704	Т		Т
14,404118	ШР-35кВ №2	Текущий ремонт	ПС-110/35/6 КНС-9А	230101010802706	Т		Т

Рис. 6. Список работ, ранжированных по важности

В составе критичного оборудования выделяется группа, в отношении которой невозможен контроль состояния или где никакое обслуживание не приводило и не приведет к повышению надежности. Здесь применяется практика выявления коренных причин отказов, разрабатываются планы по реконструкции и модернизации оборудования для устранения коренной причины (Proactive Maintenance).

Информационные системы ТОиР интегрировали в себе все перечисленные инструменты, делая их реализуемыми и управляемыми. В частности, информационные системы приобрели возможности создавать, редактировать, хранить и использовать модели оценки технического состояния оборудования (рис. 7). Формирование и использование моделей имеет решающее значение при оценке технического состояния сложных объектов. Оценка состояния осуществляется по совокупности критериев, каждый из которых зависит от множества параметров, при этом количество видов оборудования и, соответственно, моделей может быть очень велико.

### ОБСЛУЖИВАНИЕ НА ОСНОВЕ УЧЕТА РИСКОВ

За последние 20 лет ТОиР как область деятельности обогатилась еще многими современными

практиками. Появилась RCMII - вторая версия RCM [10]. На повестку дня вышла задача оценки и сопоставления рисков (Risk-Based Maintenance – RBM) [11]. Оборудование может иметь высокий показатель критичности, при этом неудовлетворительное значение индекса состояния, то есть находиться в числе приоритетов на выполнение ТОиР, однако затраты на его обслуживание и ремонт при этом могут превышать стоимостную оценку тех последствий, которые возникнут в результате отказа этого оборудования. В этой связи необходимо определиться – снизить риск последствий путем проведения ТОиР, либо принять этот риск, и ТОиР не проводить. Для принятия таких решений информационная система, помимо прочего, должна обеспечить руководителя корректной и полной информацией о стоимости ТОиР.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня предприятия ощущают необходимость в тонкой настройке инструментов управления ТОиР под текущие задачи бизнеса и под профиль материальных активов, уникальный на каждом предприятии. Потребность в реализации различных практик ТОиР, комплексировании этих практик, необходимость анализа и периодического пересмотра выбранных стратегий ТОиР требуют адекватных инстру-

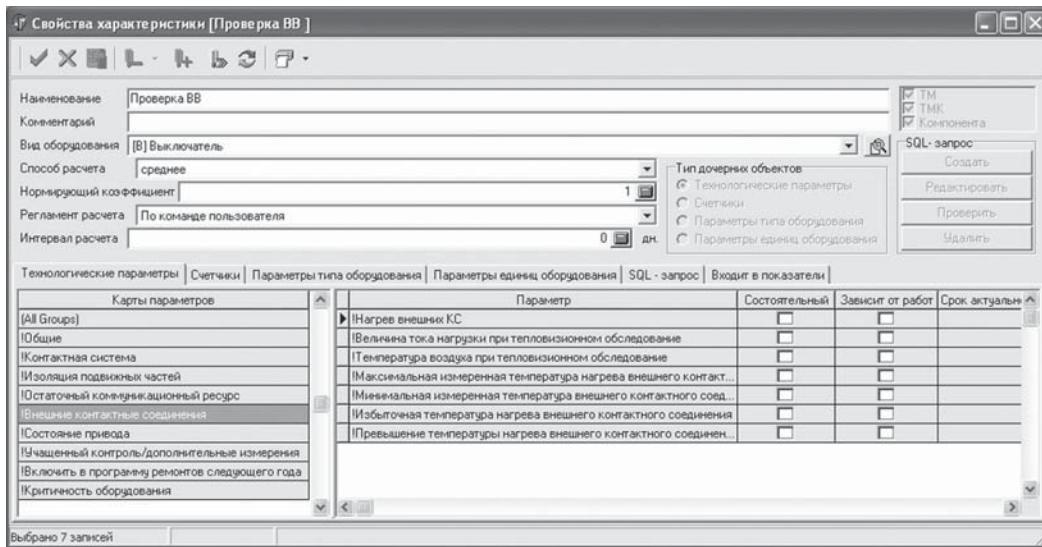


Рис. 7. Формирование модели оценки состояния

ментов управления, таких как информационная система управления ТООИР. Такая система сегодня должна иметь возможность интегрировать в себе:

- ◆ систему корпоративных целей в области затрат, надежности оборудования, производительности, безопасности, экологии, качества;
- ◆ систему показателей и допустимых уровней рисков, разработанных на основе целей;
- ◆ инструментарий анализа видов, последствий и критичности отказов, оценки затрат на их предупреждение, выбора оптимальной стратегии обслуживания исходя из критериев надежности, эффективности и допустимого риска;
- ◆ модели оценки состояния объектов основных фондов, позволяющие оценивать их техническое состояние на основе измеряемых параметров, рассчитывать характеристики надежности и их влияние на установленные показатели и цели;
- ◆ инструментарий, позволяющий проводить АВПКО, рассматривать сценарии, строить тренды, планировать обслуживание и ремонт оборудования с учетом объективных данных о его надежности;
- ◆ программные инструменты для автоматизации операций моделирования, планирования, анализа, и учета – состав оборудования, наработку, техническое и эксплуатационное состояние

каждой единицы, дефекты и отказы, плановые работы и снабжение, историю замен, ремонтов и перемещений, расход запчастей, трудоемкость и т. д.

Библиографический список

1. **Ушаков И. А.** Откуда есть пошла надежность на Руси // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 1. – С. 10–13.
2. **Herd G.** Failure rates. Washington: ARINC Monograph 2:31, Aeronautical Radio Inc. – 1955.
3. **Weiss G.** On the theory of replacement of machinery with a random failure time // Naval research logistics quarterly. – 1956. – Vol. 3. – № 4. – P. 279–293.
4. **Барлоу Р., Прошан Ф.** Математическая теория надежности / пер. с англ. под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
5. **Smith A.** Reliability-Centered Maintenance. NY: McGraw-Hill, Inc., 1993. – 201 p.
6. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. – NASA, 2000. – 348 p.
7. **Derman C., Sacks J.** Replacement of periodically inspected equipment // Naval research logistics quarterly. – 1960. – Vol. 7. – № 4. – P. 597–607.
8. **Герцбах И. Б.** О профилактике по прогнозирующему параметру // Известия АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика. – 1967. – № 1. – С. 56–64.

9. **Nowlan F. S., Heap H. F.** Reliability-centered Maintenance. San Francisco: Dolby Access Press. – 1978. – 466 p.

10. **Moubray J.** Reliability-centered Maintenance. Second Edition. NY: Industrial Press Inc. 1997. 426p.

11. **Khan F., Haddara 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. – № 6. – P. 561–573.

---

### **«ЛЕНЭНЕРГО» ЗАПУСТИЛ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХПРИСОЕДИНЕНИЕМ**

ОАО «Ленэнерго» запустило автоматизированную информационную систему (АИС) управления документооборотом по технологическому присоединению. Теперь все действия, от составления заявки до выдачи договора, будут создаваться в единой программе, а весь документооборот будет осуществляться только в электронном виде. Это позволит значительно сократить сроки реализации ключевых процессов техприсоединения.

АИС – программный продукт, разработанный с учетом мировых стандартов, обладающий всеми достоинствами современных информационных систем, включает в себя электронную систему документооборота, систему интеллектуального поиска информации, наглядные модули контроля и управления, возможность интеграции с геоинформационными системами.

Система позволяет эффективно управлять процессом обработки заявок, разработки техусловий и подготовки договоров на техприсоединение к электрическим сетям ОАО «Ленэнерго».

«Год назад в "Ленэнерго" была начата серьезная работа по модернизации процессов технологического присоединения. Цель — обеспечить недискриминационное присоединение, сделать этот процесс понятным и прозрачным для потребителей, сократить сроки обработки документов. Сегодня мы видим первые результаты этой работы. За первое полугодие 2011 г. "Ленэнерго" заключило почти 1500 договоров на технологическое присоединение, что в три раза больше, чем в первом полугодии 2010 г. и в пять раз больше, чем в 2009 г. К сетям был присоединен 451 объект в Санкт-Петербурге – втрое больше, чем за аналогичный период прошлого года», – отметил генеральный директор ОАО «Ленэнерго» Андрей Сорочинский.

[www.lenenergo.ru](http://www.lenenergo.ru)

---