

Моделирование предметной области для поддержки эксплуатации технических систем

О.Н. Основина, А.Ю. Соловьев, П.И. Жуков

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал) ФГАОУ ВО Национального исследовательского
технологического университета «МИСиС»*

Аннотация: В статье рассматривается комплексный подход, основанный на использовании знаний экспертов, к разработке концептуальной модели предметной области в части контроля требуемой эксплуатационной надежности технических систем. Необходимость формализации ключевой задачи логистического анализа необходима для обеспечения поддержки эксплуатации оборудования и дальнейшего создания интегрированной логистической системы.

Ключевые слова: интегрированная логистическая поддержка, жизненный цикл, функциональный отказ, эксплуатационная надежность, критичность последствий

Введение. Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) любой сложной технической системы (ТС) представляет собой совокупность видов деятельности, выполняемых на различных стадиях ее жизненного цикла (ЖЦ) с применением управленческих, инженерных и информационных технологий, и направленных на обеспечение заданных эксплуатационных технических характеристик при приемлемой стоимости ЖЦ. Одной из преобладающих целей ИЛП является повышение эффективности эксплуатации ТС за счет улучшения характеристик безотказности и ремонтпригодности, основанной на построении интегрированной логистической системы (ИЛС) [1].

Для достижения этой цели ИЛП технических систем, осуществляемая на периоде эксплуатации, состоит в реализации следующих процессов: логистический анализ (ЛА), планирование процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР), планирование процедур материально-технического обеспечения (МТО) процесса эксплуатации, разработка и сопровождение электронной эксплуатационной и ремонтной документацией

(ЭЭД и ЭРД) (ГОСТ Р 53.393-2017). В логистический анализ включены задачи:

- расчет надежности и длительности безотказной работы всего комплекса ТС;
- интеграция взаимодействия производителя и эксплуатанта с целью мониторинга и диагностики состояния оборудования, обеспечения его ремонта и поддержки эксплуатации на требуемом уровне и принятия комплексных мер по повышению надежности;
- расчет и оптимизация затрат на эксплуатацию ТС [2].

Проблемы организации поддержки эксплуатации на отечественных предприятиях. В настоящее время в отечественной практике вышеперечисленные процессы применяются, как правило, под другими названиями. Некоторые из них регламентированы нормативными документами государственного и/или отраслевого уровня, но при этом отсутствует практика систематического применения информационных технологий для комплексной поддержки процессов ЛА, ТОиР и МТО.

Ввиду существенных отличий отечественных нормативных документов от зарубежных стандартов актуальна необходимость перевода процессов ИЛП на современную методическую, информационную и программно-техническую базу, приемлемую, в первую очередь, для иностранных заказчиков отечественной продукции.

В качестве примера такой интеграции можно привести внедряемый на отечественных предприятиях современный подход к реализации технического обслуживания, направленный на обеспечение требуемой эксплуатационной надёжности технологического оборудования - стратегия надёжностно ориентированного технического обслуживания (НОТО). Целью НОТО является выбор и применение стратегии управления отказами, эффективность реализации которой напрямую зависит от затрат на их

предупреждение (ГОСТ Р 27.606-2013). Действительно, функциональные отказы оборудования напрямую влияют на эффективность и надежность его эксплуатации и инвестиции в мероприятия по поддержке эксплуатации должны основываться на объективной оценке вероятности отказа и его последствий для каждой единицы оборудования.

В процессе НОТО необходимо выполнить следующие действия в указанной последовательности [3]:

- определить условия эксплуатации объекта, требуемые функции объекта и их параметры производительности;
- определить, что является функциональным отказом для каждой функции объекта;
- определить возможные причины функционального отказа;
- определить возможные последствия и критичность отказа;
- определить состав и периодичность плановых работ для предсказания или предупреждения отказа.

Отсюда очевидно, что системообразующим процессом в рамках и НОТО, и ИЛП является разработка методического и информационного обеспечения системы сбора и обмена информацией об эксплуатационной надежности, выполняемым по ГОСТ Р 53392 и предусматривающим установление обратной связи между эксплуатантом и разработчиком в части сбора данных об особенностях и проблемах, выявленных в процессе эксплуатации ТС, для использования в новых разработках, в интересах снижения рисков и последствий, связанных с отказами, а также оптимизации:

- конструкции отдельных элементов ТС;
- инфраструктуры и конфигурации комплекса технических средств;
- планирования ТОиР и МТО;
- требований к системам контроля и диагностики;

- требований к численности, квалификации оперативного и ремонтного персонала, а также к планам и программам их обучения;

- стоимости жизненного цикла эксплуатируемого оборудования.

Очевидно, выполнение комплекса работ в области ИЛП – достаточно сложная задача, при этом сотрудники руководствуются своим опытом, разнородными данными и знаниями, приобретенными в течение длительного срока. Чем больше этих знаний, тем выше уверенность в правильности инвестиций.

Предлагаемый подход. Для проведения работ в области ИЛП в части контроля требуемой эксплуатационной надежности технических систем, что является одной из задач ЛА, необходимо разработать концептуальную модель предметной области, основанную на знаниях, отражающую следующее:

- описание условий эксплуатации;

- сведения о структуре ТС и функциях, ею реализуемых, в том числе, технические описания и схемы систем и подсистем, сведения об информации, предоставляемой оператору для предупреждения последствий возможных отказов, а также состав контролируемых параметров;

- представляемые подразделениями анализа надежности результаты статистики, которые должны содержать: перечень обнаруженных и устраненных отказов систем и их элементов с оценкой их влияния на безопасность применения; функции, связывающие вероятности отказов систем с вероятностями отказов их составных частей, а также нормативные значения вероятностей для ожидаемых отказов, устанавливаемые с учетом распределения общих требований к объекту между отдельными системами и возможными видами их отказов.

Моделирование предметной области. Концептуальная модель предметной области «Контроль эксплуатационной надежности ТС» может быть описана следующим кортежем [4]:

$$M_{\text{Пр.Обл.}} = \langle \text{Name}, \text{Objects}, \{\text{Relation}\}, A^{\text{self}} \rangle, \quad (2)$$

где *Name* – имя модели; *Objects* – объекты модели; *Relation* – связи между элементами модели; A^{self} – собственные атрибуты модели.

Основными объектами модели являются: процессы/функции/операции (PR), ресурсы (RES), в том числе информационные, пользователи, организационные единицы, знания (KN), данные (DATA). Описание причинно-следственных связей между основными объектами модели обеспечивается объектом «связь» (Relation).

Для построения обобщенной концептуальной модели предметной области, адекватно отображающей требуемые свойства реального объекта, по мнению авторов, лучше всего подходит Архитектура Интегрированных Информационных Систем (ARIS), основанная на применении системного подхода в полной мере. При формировании ARIS-модели осуществляется декомпозиция на отдельные типы моделей, в описании которых используются различные методики. С каждым типом моделей можно работать независимо от других типов.

На рис. 1 представлен фрагмент ARIS-диаграммы целей, отображающий иерархическую упорядоченность процесса «Оценка показателей эксплуатационной надежности». Для обеспечения достижимости, реалистичности, возможности для исполнения точно в соответствии с содержанием и в запланированное время, стратегическая цель «Повышение эффективности эксплуатации ТС» декомпозирована на несколько локальных целей.

Структура сформированного дерева целей призвана определить состав функций, ведущих к достижению цели, ресурсов, исполнителей,

информационных объектов, модели которых необходимо разработать в рамках рассматриваемого процесса.

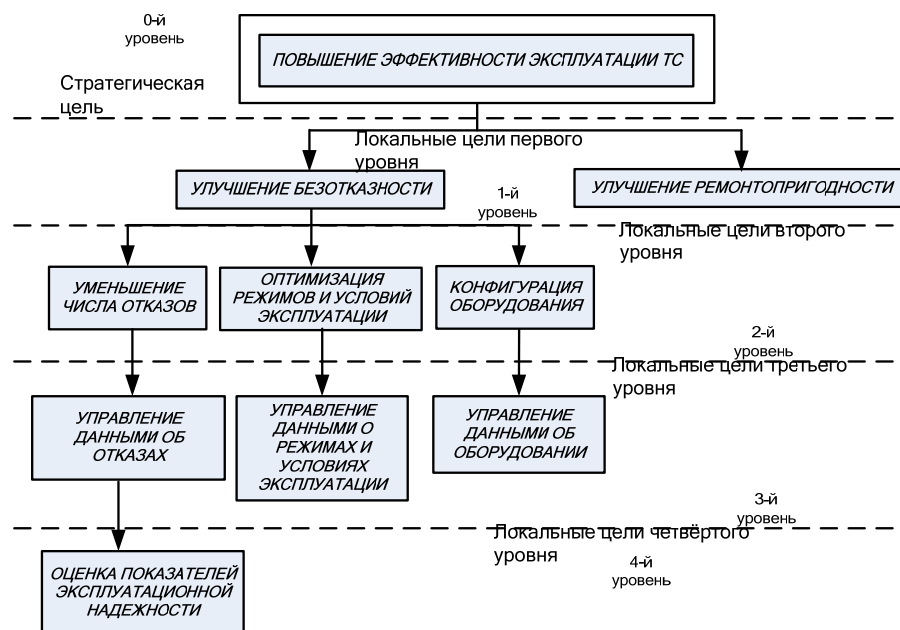


Рис. 1. - Фрагмент ARIS-диаграммы целей

Дерево целей связывается с другими ARIS-диаграммами (организационные, функциональные, событийной цепочки процессов и т.д.) с помощью объекта, типа «функция». Кроме того, эксплуатационная надежность ТС связана с их способностью выполнять требуемые функции, именно функция должна быть принята за основной элемент унификации, типизации и стандартизации на основе единства обозначения при разработке концепции предметной области [5].

Термин «функция» может по разному интерпретироваться, например, сотрудниками отдела оценки надежности, представителями ремонтных организаций и финансовыми службами. Для исключения терминологической рассогласованности, обеспечения взаимосвязи и иерархической упорядоченности множества объектов и удобства компьютерной обработки, была разработана ARIS-модель технических терминов для объекта типа «функция», представленная на рис. 2.

Функция (операция/процедура/действие) является законченной частью технологического процесса и выполняется на одном рабочем месте с использованием одних и тех же ресурсов (технических, программных, организационных, знаниевых).

При решении задач оценки надежности современных ТС необходим интегральный взгляд на описание и классификацию функций, функциональных отказов, оценку критичности последствий отказов, выбор стратегий управления отказами, что, в свою очередь, в значительной степени зависит от условий эксплуатации и параметров производительности функции, которые могут быть как формализованными (объективными), так и неформализованными (субъективными) характеристиками.

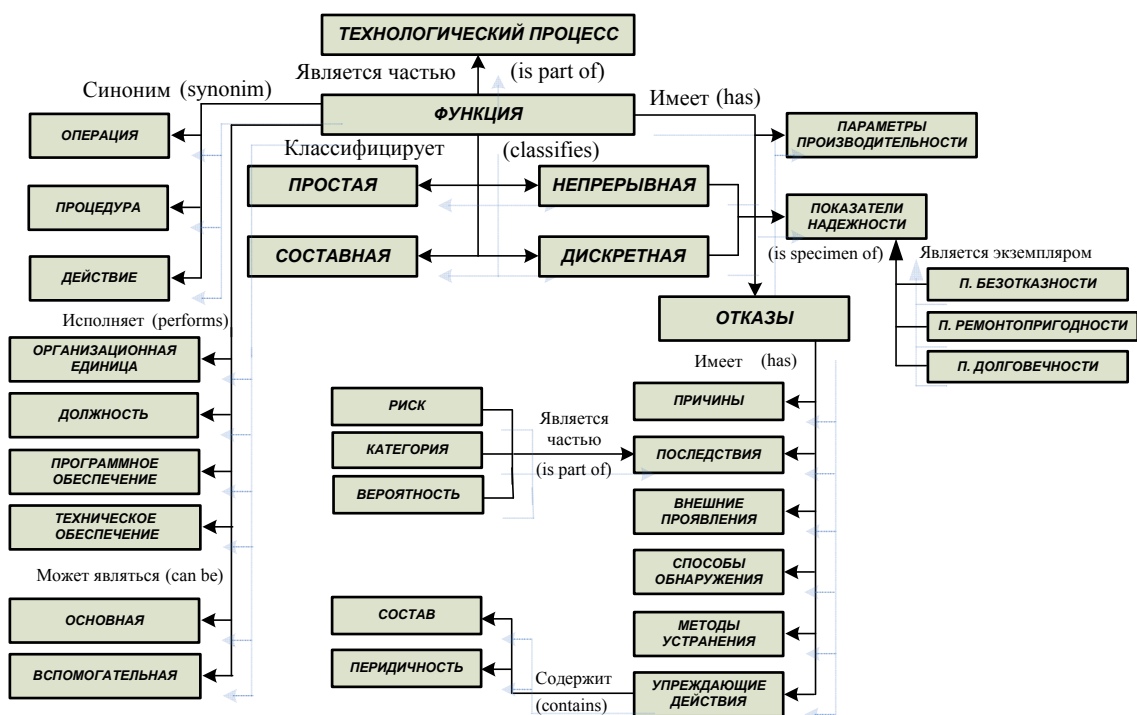


Рис. 2 - Объект «функция», представленный с помощью ARIS - модели технических терминов

Количественными характеристиками выполняемых функций являются:
 - число запросов, обрабатываемых за день;

- совокупное время выполнения функции, формируемое из отдельных временных интервалов (время настройки, время обработки и время ожидания);

- совокупность и диапазоны изменения факторов, которые прямым или косвенным образом влияют на производительность функции;

- данные о требуемых технических характеристиках каждой функции.

Количественными характеристиками условий эксплуатации являются климатические факторы, механические воздействия, электромагнитное излучения, агрессивность среды и т.д.

Для учета влияния перечисленных факторов на функциональную интенсивность отказов ТС предлагается использовать коэффициент нагрузки K_H соответствующего фактора, под которым понимается отношение рабочего значения фактора к его номинальному значению [6].

Если необходимо учесть влияние нескольких факторов, то при независимости их воздействия интенсивность функционального отказа

$$A_{\phi.o.} = \tilde{\lambda}_{\phi} \left[1 + \sum_{k=1}^S h_k K_{H_k} \right], \quad (2)$$

где S - число учитываемых внешних факторов;

h_k - поправочный коэффициент, учитывающий отклонение k -го влияющего фактора от нормальных значений;

$\tilde{\lambda}_{\phi}$ - среднестатистическая интенсивность отказов функции.

В описание условий эксплуатации функций рекомендуется включать сведения, по которым может быть качественно определена важность реализации функции [7], а именно:

- применимость экологических требований к функции;
 - требования к обеспечению безопасности;
 - степень тяжести климатических условий;
-

- наличие функционального резервирования основной производственной функции;

- квалификация и обученность персонала;

- организация и качество технического обслуживания и ремонтных работ и т. д.

ТС в дополнение к основной функции имеют другие функции, нарушение которых может иметь более значительную критичность последствий, чем нарушение основной функции. Рассмотрение дополнительных функций требует не меньшего внимания, чем рассмотрение основной функции в процессе реализации функционального анализа [7].

Для качественной оценки последствий функциональных отказов требуется учитывать опасность влияния отказа на жизнь и здоровье персонала, окружающую среду, возможный материальный и моральный ущерб, сохранение функциональной и структурной целостности оборудования и т.д. Для выполнения качественного анализа требуются следующие данные:

- вероятность возникновения отказа, которая оценивается по результатам накопленной в процессе эксплуатации статистики;

- категории тяжести последствий, установленные в отраслевых стандартах и нормативах. В качестве примера можно привести категории из стандарта DEF STAN 00-60: 1 – катастрофический отказ, 2 – критический отказ, 3 – граничный отказ, 4 – незначительный отказ.

На основе рассчитанных показателей надежности появляется возможность формировать рекомендации по корректировке различных аспектов поддержки эксплуатации ТС и формулировать их на базе контекстно-зависимого языка (онтологии) описания предметной области.

Выбор состава показателей функциональной надежности и методик их определения зависит от совокупности условий и режимов эксплуатации,

знаний и опыта экспертов и ряда других факторов [7]. В частности, показатели надежности функций задаются в соответствии с классификацией функций по временному режиму выполнения с учетом классификации и критериев отказов. Например, основным показателем безотказности непрерывных функций является средняя наработка на отказ [8]

$$\tilde{\theta} = \frac{Nt}{\sum_{i=1}^N n_i(t)}, \quad (3)$$

где $n_i(t)$ число функциональных отказов i -й системы ($i = \overline{1, N}$).

Если поток отказов является стационарным, допускается использовать параметр потока отказов

$$\tilde{\omega}(t) = \sum_{i=1}^N [n_i(t + \Delta t) - n_i(t)] / (N\Delta t). \quad (4)$$

При анализе поведения функции до первого отказа показателем безотказности является средняя наработка до отказа, определяемая

$$\tilde{\tau} = \sum_{i=1}^N t_i / N, \quad (5)$$

где t_i - наработка до функционального отказа i -й системы.

Основным показателем безотказности и ремонтпригодности дискретных функций по отказам типа «обрыв» является вероятность успешного выполнения заданной процедуры при возникновении запроса (например, вероятность успешного срабатывания технологической защиты при наличии запроса) [9].

Основным показателем безотказности дискретных функций по отказам типа «ложное срабатывание» является средняя наработка на данный отказ (например, средняя наработка на ложное срабатывание функции технологической защиты) [10].

Очевидно, что расчет показателей функциональной надежности – процесс трудоемкий, вбирающий в себя значительные знаниевые ресурсы,

которыми обладают эксперты, имеющие определенный опыт анализа и оценки надежности.

Заключение. Для построения концептуальной модели в части контроля требуемой эксплуатационной надежности технических систем, основанной на знаниях, требуется извлечь максимум информации о структуре и концептах (объектах), предметной области, установить их взаимосвязь, иерархию, основные характеристики, закономерности и процессы, протекающие в ней, а также о способах решения возникающих задач. Правильная организация и структурирование знаний, обеспечение возможности их накопления, разделения, повторного использования необходимо для разработки методического и информационного обеспечения системы поддержки эксплуатации и интеграции взаимодействия всех участников ЖЦ, а также направлено на облегчение расчета показателей надежности и возможности прогнозирования будущих состояний технических систем.

Литература

1. Основина О. Н., Боева Л. М. Методика анализа функциональных отказов технологического оборудования в рамках интегрированной логистической поддержки периода эксплуатации. В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. 2017. С. 91-97.

2. Цвелик Е.А. Метод построения иерархии критериев на основе онтологического анализ системы // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971

3. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежностно–ориентированной технической эксплуатацией машин. – СПб: Art-Xpress, 2015. – 206 с.

4. Аксенов К.А. Системы поддержки принятия решений. В 2 ч. Часть 1: учеб. Пособие для вузов / К.А. Аксенов, Н. В. Гончарова; под науч. ред. Л.Г.



Доросинского. – М.: Издательство Юрайт, 2018; Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. – 103 с.

5. Ананьев А.С., Бутенко Д.В., Попов К.В. Интеллектуальные технологии проектирования информационных систем. Методика проектирования программных продуктов в условиях наличия прототипа // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/815

6. Основина О. Н., Боева Л. М., Симонова А. Г. Оценка эффективности автоматизированных систем управления с учетом показателей эксплуатационной надежности // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 1 (55). С. 56-60.

7. SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

8. Ястребенецкий М. А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.: ил.

9. Jesus R. Sifonte, James V. Reyes-Picknell. Reliability Centered Maintenance – Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. CRC Press, 2017. – 349 p.

10. Основина О. Н., Боева Л. М. Методика прогнозирования показателей надежности технических систем на основе измерения диагностических параметров. В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. 2016. С. 77-81.

References

1. Osnovina O. N., Boyeva L. M. Metodika analiza funkcionalnykh otkazov tekhnologicheskogo oborudovaniya v ramkakh integrirovannoy logisticheskoy podderzhki perioda ekspluatatsii [The method of analysis of functional failures of technological equipment in the framework of integrated logistics support of the

operating period]. V sbornike: Sovremennyye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. 2017. pp. 91-97.

2. Tsvelik Ye.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971

3. Yefremov L.V. Problemy upravleniya nadezhnostno oriyentirovannoy tekhnicheskoy ekspluatatsiyey mashin [Management problems of reliability oriented technical maintenance of machines]. SPb: Art-Xpress, 2015. 206 p.

4. Aksenov K.A. Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. V 2 ch. Chast 1: ucheb. Posobiye dlya vuzov [Decision support systems. In 2 hours. Part 1: studies. Allowance for universities]. M.: Izdatelstvo Yurayt, 2018; Yekaterinburg: Izdatelstvo Ural. Un-ta. 103 p.

5. Ananyev A.S., Butenko D.V., Popov K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/815

6. Osnovina O. N., Boyeva L. M., Simonova A. G. Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. 2014. № 1 (55). pp. 56-60.

7. SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

8. Yastrebenetskiy M. A., Ivanova G.M. Nadezhnost avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami: Ucheb. posobiye dlya vuzov [Reliability of automated process control systems: Proc. manual for universities]. M.: Energoatomizdat, 1989. 264 p.

9. Jesus R. Sifonte, James V. Reyes Picknell. Reliability Centered Maintenance Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. CRC Press, 2017. 349 p.

10. Osnovina O. N., Boyeva L. M. Metodika prognozirovaniya pokazateley nadezhnosti tekhnicheskikh sistem na osnove izmereniya diagnosticheskikh parametrov [Methods of forecasting reliability indicators of technical systems based on measurement of diagnostic parameters]. V sbornike: Sovremennyye



problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. 2016. pp. 77-81.