

УДК 629.7.017

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ КОМПОНЕНТ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

© 2014 А.Н.Стройкин¹, Д.Н. Стройкин², А.А. Тихонова¹

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева
² ОАО «Гидроавтоматика»

Поступила в редакцию 09.09.2014

В статье рассмотрены специфические проблемы, связанные с проектированием технологических операций обслуживания и ремонта (ТОиР) в рамках социотехнической системы технического обслуживания и ремонта. Осуществлена обобщенная постановка и разработана логико-математическая модель процесса проектирования ТОиР.

Ключевые слова: проектирование, задача, технология, обслуживание, ремонт, авиационная техника

Важной особенностью систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР) как социотехнических систем является целенаправленность их функционирования. Если система ТОиР функционирует, значит, в ней решается множество задач контроля и управления и с определенной точностью обеспечивается достижение целей контроля и управления, которых также конечное множество. Система ТОиР, в свою очередь, включает множество специфических объектов комплекса оборудования и самолета в целом, обслуживание которых существенно связано с решением частных задач, каждая из которых требует ее постановки в теоретическом плане (теоретик), разработки модели логического процесса на основе результатов теоретического решения (разработчик) и проектирования деятельности исполнителя (оператор), то есть, в конечном счете, средством достижения поставленных целей (выполнение возложенных функций) служат алгоритмы действий оператора и принятия решений. До настоящего времени решение комплекса этих задач не было формализовано, а решения базировались на основе эвристического подхода специалистами по ТОиР без существенного использования достижений информационных технологий. Развитие последних потребовало для внедрения системотехнического подхода и, как следствие, формализации задач синтеза

(проектирования), прежде всего, системы ТОиР, а затем операции технологического обслуживания (ТО).

В работе под задачей проектирования ТОиР в обобщенной постановке будем понимать цель, данную в определенных условиях, и представим ее как трехкомпонентную систему

$$\langle D_a, D_{тр}^*, D_{усл} \rangle, \quad (1)$$

где D_a – некоторый предмет задачи в актуальном (текущем, исходном) состоянии; $D_{тр}^*$ – императивная (виртуальная) модель желаемого состояния этого предмета или модель потребного будущего; $D_{усл}$ – условия, ограничения, которые должны быть выполнены в процессе перевода предмета задачи из его актуального состояния в требуемое.

По отношению к задаче проектирования (ЗП) компоненты системы (1) интерпретируются следующим образом:

D_a – заявка на объект проектирования (ОП), представляющая потребности и мотивы, относящиеся к некоторому фрагменту действительности. Эту заявку в задаче проектирования (ЗП) представляет целевая модель искомого объекта $M(O)_{ц}$;

$D_{тр}^*$ – продуктивная модель ОП $M(O)_{пр}$ – комплект технической документации для изготовления или использования объекта в производственных условиях, которая отвечает; требованиям определенных стандартов;

$D_{усл}$ – условия реализации задачи или ограничения на временные, трудовые, материальные ресурсы Q , выделяемые для решения данной ЗП [6].

Стройкин Александр Николаевич, ассистент кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: stroykin@ssau.ru

Стройкин Дмитрий Николаевич, директор управления развития, договоров и сбыта. E-mail: Dmitry_s80@mail.ru

Тихонова Анастасия Алексеевна, ассистент кафедры организации и управления перевозками на транспорте. E-mail: tikhonova_a.a@mail.ru

Под ЗП технологических операций ТООиР систем бортового оборудования самолетов, в дальнейшем понимается задача построения продуктивной модели объекта $M(O)_{пр}$, для которого определена целевая модель ОП $M(O)_{ц}$ и

$$ЗП = \langle M(O)_{ц}, M(O)_{пр}, Q \rangle = \langle \langle F_n M'(O), Z', Y', X', G \rangle, M(O)_{пр}, Q \rangle, \quad ЗП = \langle M(O)_{ц}, \quad (2)$$

где компоненты Z', Y', X', G являются в общем случае векторами, имеющими свои размерности.

Требования к функциональным свойствам ОП задаются в постановке ЗП в форме модели $F_n M(O) \subseteq Y_n \times Z$. Требования к условиям функционирования ОП Z' задаются допустимыми областями множества возможных состояний среды (внешних Z_y или окрестностных Z_o условий), а также продолжительностью функционирования Y_n'' . Требования к свойствам ОП помимо $F_n M(O)$ ограничивают:

а) допустимую область множества возможных значений внешних (существенных и утилитарных) свойств ОП Y' для всех $z \in Z$;

б) допустимую область множества возможных значений внутренних (сущностных) свойств объекта X' , которые характеризуют принципы его построения/действия и обуславливают обладание множеством внешних свойств Y , согласованных с $F_n M(O)$.

Границы допустимой области множества значений сущностных свойств объекта X' часто определяются ресурсами, необходимыми для изготовления или использования ОП. В общем случае ограничения могут касаться ресурса какого-либо одного вида (материалоемкости интегральной или по конкретным классам материалов, трудоемкости, энергоемкости, фондоемкости и т. д.) или одновременно нескольких видов.

Условия решения ЗП задаются допустимой областью значений ресурсов Q , выделенных для использования в процессе проектирования объекта. В качестве таких ресурсов обычно рассматриваются продолжительность решения, общая трудоемкость, полная стоимость решения ЗП и их реализации. При этом стоимость проектирования может выражаться не только в виде денежных расходов, но и в количестве дефицитных материалов, времени использования уникального оборудования и т. п., а затем затратами на их реализацию.

Участие специалистов от выбора решения задачи до оценки результатов выполненных технологических операций в данной работе формализуется на базе использования способов математического описания и анализа задач принятия решений на основе нового подхода, опирающегося на введенное Л.А. Заде понятие нечеткого множества. Нечеткие множества используются

установлены условия или ресурсы Q решения задачи и реализации полученных решений. ЗП в обобщенной постановке может быть представлена кортежами

для математической формализации исходной информации об исследуемой реальной ситуации или процесса принятия решений, которая может носить субъективный и потому нечеткий характер. В рамках предлагаемого в работе единого подхода анализируются задачи математического программирования с нечетко описанными множествами допустимых выборов и функциями цели. Основным в данном подходе к решению рассматриваемой задачи является то, что цели принятия решений и множество альтернатив рассматриваются как равноправные нечеткие подмножества некоторого универсального множества альтернатив. Это позволяет определить решение задачи в относительно простой форме в такой постановке.

Пусть X – универсальное множество альтернатив, т. е. универсальная совокупность всевозможных выборов лица, принимающего решения (л.п.р.). Нечеткой целью в X является нечеткое подмножество X' , которое мы будем обозначать G . Описывается нечеткая цель функцией принадлежности $\mu_G : X \rightarrow [0, 1]$ [2, 3]. Постановка задачи проектирования процесса обслуживания основана на использовании особого подхода к процессу решения, который получил наименование выбора представлений для решения задачи [5]. Этот подход предполагает существование упорядоченного и относительно устойчивого отношения предпочтения между тем, что понимается под типами представлений для решения задач, с одной стороны, и классами (наборами) методов решения задач, с другой. Все множество представлений для решения задач инженерного проектирования может быть отнесено к трем основным типам: выбору набора образующих, построению пространства конфигураций, сведению задачи к подзадачам и построению некоторого образа желаемого будущего, т. е. в рамках теории образов У. Гренандера.

Использование представлений на основе выбранного набора образующих возложено в рамках точного формализма ОТО, описания которых в форме $SbMi(O)$ или $F_n Mi(O)$ доступны проектировщикам. Решение ЗП при использовании представлений по типу выбора из перечислений образующих реализуется по следующей схеме:

- поиск или построение перечислений в виде упорядоченных множеств $\{SbMi(O)\}$, $\{FnMi(O)\}$ готовых проектных решений, соответствующих по уровню сущности и основным свойствам назначения тем объектам, которые составляют предмет ЗП;

- выделение на множествах потенциально возможных решений $\{SbMi(O)\}$ или $\{FnMi(O)\}$ подмножества допустимых и целесообразных решений;

- выбор одного из ранее существовавших, готовых объектов в качестве наиболее предпочтительного решения данной ЗП.

Использование представлений на основе определения в пространстве конфигураций предполагает наличие или возможность построения полной $Str-FnMo(O)$ объектов того класса, к которому может быть отнесен конкретный объект данной ЗП, а также существование готовых ранее спроектированных компонентов и (или) элементов, из которых данный ОП может быть синтезирован. Как отмечалось выше, $Str-FnM(O)$ отображает внутренние свойства X объекта на внешние Y , т. е. состав элементов объекта, состав и схему его внутренних связей, а также свойства этих элементов и связей на внешние свойства объекта. Модель $Str-FnMo(O)$ характеризует пространство возможных состояний объектов определенного класса в границах своей применимости для всех допускаемых данной моделью значений X и Y . Решение ЗП при использовании представления на основе определения в пространстве состояний заключается в формировании $Str-FnMi(O)$ проектируемого объекта, что сводится к выбору значений ряда параметров, наилучших в смысле выполнения условий ЗП – передвижения в пространстве допустимых значений параметров X и Y в $Str-FnMo(O)$.

Решение ЗП при использовании представлений по типу определения в пространстве конфигурации реализуется по следующей схеме:

- заимствование или построение множества моделей $\{Str-FnMo(O)\}$, потенциально пригодных для формирования частных $Str-FnMi(O)$, отображающих отдельные структуры конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП;

- выбор или синтез полной, отображающей все выделяемые структуры, $Str-FnMo(O)$, наилучшей в смысле конкретного объекта, условий реализации, КС и ограничений данной ЗП;

- построение модели $Str-FnMi(O)$ проектируемого объекта, т. е. параметризация $Str-FnMo(O)$, наилучшая в смысле критерия совершенства (КС) объекта и условий реализации данной конкретной ЗП.

Тот факт, что из множества полных $Str-FnMo(O)$ объектов каждого данного класса может быть отобрана или построена, а затем интерпретирована (параметризована) именно та модель, которая в наибольшей степени соответствует условиям реализации любой данной ЗП, а также особенностям КС проектируемого объекта, позволяет предположить, что использованию представлений на основе определения в пространстве состояний должно отдаваться предпочтение во всех случаях, когда целевая ориентация ЗП направлена на достижение возможно более высокого значения функции ценности или качества объекта $TOиP G$ проектируемого объекта.

Использование представлений на основе сведения задачи к подзадачам предполагает разбиение задачи на совокупность подзадач, решения которых приводят к выполнению исходной задачи. Процесс этот применяют рекурсивно для порождения подзадач, подподзадач и т. д. до тех пор пока, наконец, не получится множество тривиальных задач, решения которых известны. Использование представлений на основе декомпозиции исходной задачи реализует принцип «редукции сложности» и в применении к ЗП эквивалентно разбиению проектируемого объекта на подобъекты более низкого уровня сущности и установлению связи между этими подобъектами. Разбиение проектируемого объекта – неизвестного целого – на подобъекты, которые в общем случае могут иметь различную степень определенности, также означает не что иное, как построение его структурно-функциональной модели $Str-FnM(O)$, но для случаев, когда ряд выделяемых подобъектов (компонентов, элементов) не существует и они подлежат разработке в границах соответствующих подзадач.

Решение ЗП при использовании представлений по типу сведения задачи к подзадачам реализуется по следующей схеме:

- заимствование или построение множества моделей $\{Str-FnMo(O)\}$, потенциально пригодных для формирования $Str-FnMi(O)$ конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП (формирование множества возможных вариантов декомпозиции объекта проектирования на подобъекты);

- выбор модели $Str-FnMo(O)$, наилучшей в смысле возможности построения соответствующей $Str-FnMi(O)$ объекта данной ЗП с учетом особенностей условий реализации задачи, КС и ограничений;

- построение $Str-FnMi(O)$ проектируемого объекта – параметризация, интерпретация $Str-FnMo(O)$, наилучшая в смысле условий данной ЗП.

Представления на основе сведения задачи к подзадачам используются во всех случаях, когда в силу высоких уровней сущности или сложности проектируемых объектов или из-за отсутствия необходимых методов и средств ЗП не может быть решена на основе других типов представлений. Они используются и в тех случаях, когда целевая ориентация ЗП предполагает максимизацию степени использования готовых проектных решений (преимущества) на соподчиненных уровнях сущности проектируемого объекта или технологических операций ТООиР. В общем случае на разных стадиях решения каждой конкретной ЗП могут использоваться различные типы представлений: на высшем уровне решение по типу сведения задачи к подзадачам; на уровне составных единиц – по типу определения в пространстве состояний; на уровне элементов – по типу выбора из перечислений и т. п. При вариантном проектировании возможен «конкурс» типов представлений, когда одна и та же ЗП данного уровня сущности решается параллельно, на основе различных типов представлений, а окончательный выбор варианта производится на уровне сопоставления результатов полученных решений.

Содержание и характер процесса решения ЗП описаны в ряде исследований [4], где отмечается, что проектирование – это слабоструктурированный процесс, в котором выделяют два (внешнее и внутреннее проектирование) или более подпроцессов (этапов, стадий). Указывается, что начальная стадия или этап ПП – постановка ЗП, формирование технического задания на разработку объекта, а конечный подпроцесс – оформление комплекта технической документации, необходимой и достаточной для изготовления или реализации объекта в производственных условиях (формирование продуктивной модели ОП). Отмечается, что в ПП сочетаются две тенденции: генерация потенциальных альтернатив, возможных вариантов решения ЗП и усечение их выявленного множества путем сопоставления и другими способами оценки, включая исследование и испытание натуральных моделей и опытных образцов объекта. В ПП широко используется последовательная редукция сложности решаемой задачи, т. е. производится поиск результатов, являющихся промежуточными и вспомогательными для достижения конечных целей. При решении ЗП различных объектов широко применяется вариантное проектирование. Оно реализуется за счет использования различных принципов построения или действия объекта данной ЗП; различных по степени полноты содержания и структуре моделей ОП для проработки каждого выбранного принципа их

построения; различных методов формирования и параметризации каждой из выбранных моделей ОП.

Предметную сторону структуры ПП (при реализации по одному варианту решения и рассмотрении в линейной проекции без учета возможных рекурсий и итераций) позволяет отобразить посредством следующей цепочки абстрактных, инвариантных к уровню сущности и природе проектируемых объектов, моделей ОП, которые подлежат последовательному формированию.

$$M(O)_{\text{ц}} \rightarrow \{Fn-StrM(O)\} \rightarrow \{Str M_{O_k}(O)\} \rightarrow \\ \rightarrow \{Str M_{i_k}(O)\} \rightarrow \{Str-FnM(O)\} \rightarrow \\ \rightarrow Str-FnM_i(O)_G \rightarrow \rightarrow SbM'_i(O) \rightarrow \\ \rightarrow SbMi(O) \rightarrow M(O)_{\text{пр}}. \quad (3)$$

Цепочка (3) отображает в линейной проекции основное правило, по которому изменяются состояния предмета ПП, т. е. наиболее общую схему преобразования моделей ОП, упорядоченную направленность переходов от одной модели ОП к другой по ходу процесса. Применительно к ПП ТОО элементы цепочки (3) интерпретируются следующим образом:

$M(TO)_{\text{ц}}$ – модель, отображающая основное назначение, цель создания, включая критерий эффективности, а также условия использования ТОО, подлежащей проектированию;

$Fn-StrM(TO)$ – модель, отображающая заданные функциональные свойства ТОО на потенциально возможную структуру, потенциально возможный принцип действия или построения, в качестве которого выступают естественные (физические) процессы, а также способы их реализации;

$SbM'_i(TO)$ – модель, характеризующая ТОО через набор свойств (продукта, предмета, а также внешних и внутренних свойств операции), которые особо выделяются и признаются наиболее важными в смысле назначения и условий применения ТОО; модели данного вида представляют альтернативные варианты решения ЗП ТОО для сопоставительной оценки и выбора наиболее предпочтительного решения;

$SbM'_i(TO)$ и $SbMi(TO)$ – соответственно неполная и полная (определенная в результате исследования натуральных моделей $M(TO)_H$) модели, характеризующие ТОО через набор выделяемых свойств продукта, предмета, а также внешних и внутренних свойств операции;

$M(TO)_{\text{пр}}$ – продуктивная модель ТОО.

Эти модели могут быть представлены в знаковой (наглядно-образной, логико-лингвистической, математической), а также предметной (натурные образцы, физически или геометрически подобные, предметно-математические)

формах, иметь различную степень общности в отношении к оригиналу (модели-описания, модели-интерпретаторы, модели-аналоги) и отображать в однозначно-детерминированной или вероятностно-статистической формах как метрические, так и неметрические стороны ТОиР.

Структурирование ПП выдвигает на передний план вопросы целостного представления процесса. Понятие целостности используют для характеристики или оценки отношений между необходимыми, желательными и реально присутствующими объекту функциональными свойствами, определения с позиции основного назначения объекта степени достаточности, полноты, замкнутости состава внешних свойств, которыми он фактически обладает. При сущностном (внутреннем) рассмотрении объектов понятие целостности характеризует неоднозначность отношений между, свойствами сложноорганизованного целого и свойствами выделяемых в нем частей.

В целях сохранения представления о целостности сложноорганизованные объекты могут быть расчленены только на такие составляющие (образующие) (будем именовать их структурными единицами целостности (СЕЦ)), которые взаимопределены, взаимообусловлены и существуют лишь в соотношении друг с другом, в контексте представления об их целостном единстве [4], что очень важно в рамках решения задач ТОиР. Задача принятия решений, полученных в ПП, и реализованных технологических операций ТОиР базируется на выборе допустимой альтернативы, на которой функция полезности принимает по возможности большие значения [5].

Выводы:

1. Процесс проектирования ТО с общих позиций как проблемы ТОиР требует создания научной теории, в рамках которой все процессы как проектирования, так и реализации можно выразить математическими средствами в рамках теории нечетких множеств, позволяющей учитывать специалиста в контуре управления и контроля.

2. Это требует, прежде всего, разработки основ представления как объектов проектирования, так и действий с его элементами или, как указано выше, образующими, на основе теории образов, одним из центральных моментов создания эффективных методов анализа и синтеза является теория синтеза образов как системы ТОиР, так ТО обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Том 1. – М.: Мир, 1979. 383 с.
2. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Сборник «Математика сегодня». – М.: Знание, 1974. С 5-49.
3. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. 165 с.
4. Кьюсиак, Э. Искусственный интеллект. Применение в интегрированных производственных системах. – М.: Машиностроение, 1991. 540 с.
5. Нильсон, Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. – М.: Мир, 1973. 240 с.
6. Ступаченко, А.А. САПР технологических операций. – Л.: Машиностроение, 1988. 234 с.

PROBLEMS OF MAINTENANCE AND REPAIR THE COMPLEX COMPONENTS OF AIRCRAFT EQUIPMENT

© 2014 A.N. Stroykin¹, D.N. Stroykin², A.A. Tikhonova¹

¹ Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov

² JSC “Gidroavtomatika”

In article the specific problems, bound to projection of technological operations of maintenance and repair (TOMR) within socio-technical system of maintenance and repair are considered. The generalized setting is carried out and logical-mathematical model of TOMR projection process is developed.

Key words: *projection, task, technology, maintenance, repair, aircraft equipment*

Alexander Stroykin, Assistant at the Aircraft Maintenance Department. E-mail: stroykin@ssau.ru; Dmitriy Stroykin, Director of the Department of Development, Contracts and Sales. E-mail: Dmitry_s80@mail.ru; Anastasiya Tikhonova, Assistant at the Department of Traffic Organization and Management in Transport. E-mail: tikhonova_a.a@mail.ru