УДК 658.512; 004.942

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СИСТЕМА АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ» ПРИ ЗАПУСКЕ В ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ

© 2014 Р.Х. Ахатов, А.С. Говорков, А.С. Жиляев

Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 08.09.2014

В статье рассматривается подход к решению задачи автоматизированного анализа изделия авиационной техники с учетом технологических рекомендаций его проектирования и изготовления на примере деталей из листового полуфабриката, реализованный в описываемом программном комплексе.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, технологическая рекомендация, конструкция изделия

Постановка задачи. Использование программного комплекса — системы поддержки принятия решений (СППР) в САПР особенно эффективно на ранних стадиях проектирования, когда информация об объекте проектирования носит неопределенный и неоднозначный характер, а ошибки и недостатки, допущенные при проектировании, трудно устранимы на последующих этапах, и их исправление обычно связано с существенными трудовыми затратами. Об-

щая структура разрабатываемой СППР «Система анализа ТКИ» представлена на рис. 1. В данной работе рассмотрены только основные этапы формализации технологических рекомендаций (ТР) в БЗ Системы, являющейся для СППР необходимыми данными при анализе конструкции изделия авиационной техники (АТ) по заданным показателям технологичности при проведении качественной оценки изделия.

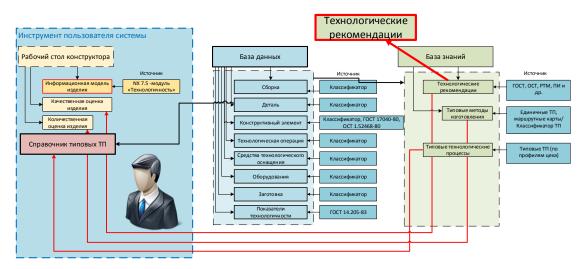


Рис. 1. Структура «Системы анализа ТКИ»

Ахатов Рашид Хадиатович, кандидат технических наук, директор института авиамашиностроения и транспорта. E-mail: axatob@istu.edu

Говорков Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники. E-mail: govorkov\_as@istu.edu

Жиляев Антон Семенович, аспирант

Системы автоматизированного проектирования, в том числе системы проектирования технологических процессов, являются неотъемлемой частью систем технологической подготовки современных машиностроительных предприятий. Однако представленные сегодня на рынке программного обеспечения отечественные системы проектирования технологических процессов,

как правило, представляют собой специализированные редакторы, позволяющие формировать технологическую документацию. Уровень автоматизации проектирования в таких системах низок; практически все решения, связанные с проектированием структуры технологического процесса, принимает технолог. Одной из основных причин низкого уровня автоматизации принятия технологических решений является крайне низкий уровень формализации процесса технологического проектирования.

Одной из основных задач при разработке маршрута изготовления изделий является задача выбора оптимально необходимого количества технологических операций (ТО) в зависимости от структуры изготавливаемого изделия. В процессе выбора, как правило, технолог должен изучить групповые, типовые, единичные технологические процессы, а также знать нормативную документацию для данного типа изготавливаемых деталей. Это обстоятельство позволяет формально представить задачу выбора ТР, как задачу поиска совокупности данных, относящихся к анализируемому изделию. Причем на начальных этапах решения задачи можно абстрагироваться от принятых в технологии машиностроения закономерностей выбора ТР, введя их на более поздних этапах в качестве ограничений [1].

Методы исследования. В процессе проектирования отыскиваются функциональные решения, представляемые и документируемые в виде некой структуры, которая затем может быть материализована с помощью определенных предписаний. Эти предписания, служащие для изготовления изделий, составляются таким образом, чтобы все функциональные требования, поставленные перед создаваемым изделием, были выполнены. В этом смысле процесс проектирования предполагает получение не только всех необходимых чертежей изделия, но и разработку технологических процессов (ТП) его изготовления. Целью проектирования является разработка и формирование функций изделия путем переработки геометрической, технологической и организационной информации; подготовка производства обеспечивает технологическую реализацию превращения исходной заготовки в изделие.

В связи с тем, что ряд задач обеспечения ТКИ (в частности, качественная оценка) являются трудноформализуемыми, целесообразно рассмотреть возможность применения при построении автоматизированной подсистемы обеспечения ТКИ экспертных компонентов. В данной работе рассмотрена возможность формализации типовых ТР предприятия-изготовителя. Структурная схема любого ТР приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структура типового ТР

Для формализации TP в базе знаний системы необходимо сформировать запрос к базе знаний на создание множества. В результате система формирует подмножество для сохранения TP:

$$\begin{split} TR &= \{TR_1, \dots, TR_n\}, TR_i \in T(i=1, \dots, n), \\ \forall TR_i \Big(F_j(TR_i) \equiv F_j\Big) \wedge \Big(F_{j+1}(TR_i) \equiv F_{j+1}\Big) \wedge \big(D^t(TR_i) \equiv D^t\big), (j=1, \dots, m) \end{split}$$

где  $TR_1, ..., TR_n$  — элементы выбираемого множества, являющегося подмножеством множества T всех TP, содержащихся в базе знаний системы; n — количество элементов множества TP, удовлетворяющие входным данным.

После окончания цикла формирования множества ТР следует определение для каждой

ТР значений показателей ее технологичности. При проведении конструктором качественной оценки технологичности изделия происходит определение суммарного (интегрального) веса каждой ТР по результатам экспертного ранжирования ТР по неравнозначным критериям оценки технологичности:

$$\forall TR_i \ R(TR) = \sum_{i=1}^h r_{ij} \cdot b_i, (i = 1, ..., n; j = 1, ..., h),$$

где  $b_j$  – вес, определяющий важность j –  $\varepsilon o$  критерия оценки  $(0 < b_j < 1; j = 1, ..., h); r_{ij}$  – вес  $i - \check{u}$  ТР по j - My критерию оценки.

При использовании механизма количественной оценки технологичности используется формула, аналогичная предыдущей, в которой  $r_{ij}$  имеет несколько другой смысл:

$$r_{ij} = egin{cases} rac{k_j}{k_j^{ar{a}as}}, & ecлu \ k_j \ uмеет \ pasмepнocmb \ k_j, & ecлu \ k_j \ безразмернo \end{cases}$$

где  $k_j$  — значение j — zo показателя технологичности КЭ;  $k_j^{\delta as}$  — базовое значение j — zo показателя технологичности по всему изделию.

Значения  $k_j$  могут быть на данном этапе проектирования рассчитаны укрупненно при использовании математических моделей, построенных на основании экспертных знаний в предметной области. После выполнения расчетов значений показателей для каждой ТР из множества T происходит упорядочение данного множества по убыванию понятия «наиболее технологичная ТР»  $(T_T)$ . Для случая качественной оценки [3]:

$$\exists TR_i \in TR: R(TR_i) = \max_{i=1} R(TR_i) \rightarrow TR_i = T_T,$$

т.е. ТР с максимальным значением интегрального веса является наиболее технологичной. Для случая количественной оценки:

$$\exists TR_i \in TR: R(TR_i) = \min_{i=1} R(TR_i) \to TR_i = T_T.$$

Остальные элементы множества упорядочиваются по условию:

$$\forall TR_{T_i}: R(TR_{T_i}) > R(TR_{T_{i+1}}), (i = 1, ..., n).$$

Для удобства оценки полученных результатов веса ТР можно пропорционально приводить к весу наиболее технологичной. Тогда вес наиболее технологичной ТР будет равняться 1, а веса остальных решений в интервале (0;1) – для случая качественной оценки и  $(1;\infty)$  – для случая количественной оценки.

1. Таким образом, ТР в базе знаний можно представить следующим кортежем:

$$T = \{T_i, \dots, T_n\}.$$

При этом

$$\forall T_i \in T_k$$

где  $T_k$  — предметная область TP.

$$T_i = \{ID^T, F^{K\Im}(T_i), K\Im(T_i), C(T_i), R(T_i)\},\$$

где  $ID^T$  — идентифицирующий номер хранения в базе знаний TP.

Конструктивные элементы:

$$K\mathfrak{I} = \{ID^{K\mathfrak{I}}, D, O\},\$$

где  $ID^{K\Theta}$  — идентифицирующий номер хранения в базе данных К $\Theta$ ; O — технологическая операция изготовления К $\Theta$ :

$$O = \{ID^0, D^t, 0\},\$$

где  $ID^{0}$  – идентифицирующий номер хранения в базе данных технологической операции изготовления  $K\mathfrak{I}$ .

Правила выбора технологической рекомендации:

$$C = \{C_1, \dots, C_n\} \neq \emptyset,$$

при этом

$$\forall C_i \in C: C_i = \{ecлu, mo, uначe\}.$$

Таким образом, при оценке изделия в качестве исходными данными является информационная модель изделия [2], к которой и относятся непосредственно типовые TP

$$S=\bigcup_{i=1}^m T_i,$$

где  $T_i$  – типовая технологическая рекомендация.

Такой подход удобен для решения задачи обнаружения нетехнологичного сочетания конструктивных элементов конструкции, поскольку в этом случае конструктор получает доступ к анализируемому изделию путем выбора соответствующего узла дерева. Массив выходных данных представляет собой кортеж типа:

$$M_1 = \{F^{K\Im}(T_T), D(T_T), D^t(T_T)\}.$$

После упорядочения выбранного множества информация об элементах данного множества и результатов их оценки выводится в диалоговое окно конструктора. Конструктор выбирает конкретное решение, после чего происходит передача данных в среду проектирования изделия и ТП: осуществляется возможное изменение элементов согласно ТР в твердотельной модели изделия (обновляется «образ изделия»).

В модуле «анализатор формул и правил выбора ТР» заложены правила выбора, а также ранжирования ТР по рангу важности. При ранжировании каждой альтернативе объекта ставится в соответствии число натурального ряда. При этом ранг 1 получает наиболее предпочтительная альтернатива, а ранг N — наименее

предпочтительная, т.е. альтернативные рекомендации должны упорядочиваться по возрастанию рангов. Решение такой задачи можно осуществить в терминах теории нечетких множеств. Формирование входных данных для оценки технологичности изделий осуществлялось на основе полученных от производственных

подразделений списков формализованных критериев оценки технологичности для листовых, профильных и монолитных изделий.

**Полученные результаты.** В программной реализации данный подход реализован в ПК «Система анализа ТКИ», общий вид интерфейса показан на рис. 3.

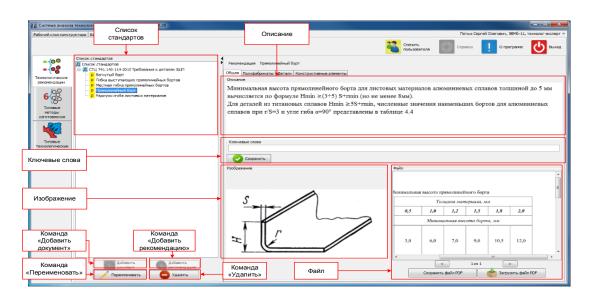


Рис. 3. Интерфейс модуля «ТР»

Для пользователя, в данном случае для конструктора, при проектировании изделия или технолога при проведении технологического контроля, предоставляется следующая информация:

- 1) общая информация:
  - наименование элемент, необходимый для идентификации в БД;
  - описание текстовое описание TP (2-3 предложения);
  - графическое изображение для лучшего восприятия пользователем;
  - дополнительные данные файл с расширением \*.pdf, содержащий в себе дополнительную информацию, например табличные данные.
- 2) зависимые объекты отмечаются пользователем с помощью «галочек»:
  - полуфабрикат список, имеющихся на предприятии полуфабрикатов;
  - тип детали номенклатура изготавливаемых деталей, представлены в виде структурированного классификатора;
  - конструктивные элементы перечень всех КЭ, входящих в структуру типовых деталей, с набором параметров, характеризующих данный КЭ
- 3) ключевые слова данные элемент необходим для поиска формализуемого ТР при проведении комплексного анализа изделия на

технологичность, в частности, при технологическом контроле по составу и корректности построения электронной модели изделия.

Выводы: разработанный модуль «Технологические рекомендации» позволяет технологуэксперту формализовать в БЗ имеющиеся на предприятие РТМ, СТЦ, ОСТ, ГОСТ и другие нормативные документы, используемые при технологическом контроле изделий на этапе ТПП. Технологу предоставляется инструмент, в котором он может выбрать в диалоговом режиме область применения ТР (вид полуфабриката, тип деталей, тип КЭ). Разработанная и структурированная определенным образом БЗ в СППР позволяет проводить технологический контроль конструкции изделия в полуавтоматизированном режиме. Использование СППР при проектировании изделия на ранних стадиях позволяет конструктору проверять геометрические параметры изделия с учетом имеющихся технологических возможностей предприятия.

\*Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий АТ нового поколения на базе НПК «Иркут» с научным сопровождением ИрГТУ» согласно Постановлению Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- ГОСТ 14.201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделия. М.: Издательство стандартов, 1983 (Взамен ГОСТ 14.201-7)
- Говорков, А.С. Информационная модель проектируемой конструкции изделия планера самолета /
- *А.С. Говорков, А.С. Жиляев* // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т 15. №2. С.335-338.
- 3. *Ирзаев, Г.Х.* Экспертные методы управления технологичностью промышленных изделий. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 192 с.

## DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT THE SOFTWARE " ANALYSIS SYSTEM OF PRODUCTS CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS" AT START IN PRODUCTION

© 2014 R.H. Akhatov, A.S. Govorkov, A.S. Zhilyaev

Irkutsk State Technical University

In article approach to the solution of a problem of automated analysis of aircraft equipment taking into account technological recommendations of its design and production on the example of details from the sheet semi-finished product, realized in described software is considered.

Key words: automation design, technological recommendation, product design

Rashid Akhatov, Candidate of Technical Sciences, Director of the Institute of Aviation Machine Engineering and Transport. E-mail: axatob@istu.edu
Aleksey Govorkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Aircraft Manufacturing and Exploitation the Aviation Equipment. E-mail: govorkov\_as@istu.edu
Anton Zhilyaev, Post-graduate Student