

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБРАЗА ИЗДЕЛИЯ

© 2011 А.С. Говорков, Р.Х. Ахатов

Национальный исследовательский
Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 19.10.2011

Рассмотрено математическое представление объектов производственной среды и взаимодействие отдельных конструктивных элементов в конструкции изделия при анализе технологичности. Предложен алгоритм синтеза наиболее технологичного конструктивного решения в терминах теории множеств. Показана структура оболочки системы анализ ТКИ.

Ключевые слова: изделие, модель, технологичность, конструктивный элемент, конструктивное решение.

Отработка конструкции изделий на технологичность [1], является одной из важнейших функций технологической подготовки производства. Процесс подготовки производства представляет собой особый вид деятельности, совмещающий выработку научно-технической информации с её превращением в материальный объект – новую продукцию [2].

Проблема создания системы и механизмов управления технологичностью конструкции изделия (ТКИ) сегодня уделяется недостаточно внимания, хотя она является весьма актуальной и требует серьезной методической и теоретической проработки, так как в случае успешного решения позволяет повысить конкурентоспособность производимых изделий. Комплексный характер этой проблемы предопределяет необходимость разработки структуры и содержания эффективной системы управления процессами отработки изделий на технологичность.

Как показал анализ существующих современных САПР-ТП и АСТПП систем, которые используются при проектировании различных технологических процессов (например, САПР ТП “Timeline” фирмы SDI Solution) [3], в первую очередь направлены на решение задач завершающих этапов проектирования технологического процесса, а именно заполнение технологической документации, подбор оборудования, анализ качества принятых решений и т.д. При этом принятие ключевых решений при работе с данными системами, а так же преобразование данных САД систем к виду пригодному для ре-

шения задач ТПП выполняется технологом.

Таким образом, научная новизна предлагаемого подхода заключается в разработке математической модели в виде образа изделия на основе данных электронной модели и формализованных данных производственной среды, необходимых и достаточных для решения задач анализа изделия на технологичность. А также, определены основные принципы качественной и количественной оценки изделия авиационной техники (АТ) и предложены формализованные процедуры принятия конструктивного решения с учетом технологии изготовления конструктивного элемента на основе использования математической модели в виде информационного образа изделия.

На Иркутском авиационном заводе – филиале ОАО “Корпорация “Иркут” в качестве основного элемента конструкций изделия, определяющего его конструктивные и технологические свойства, используется конструктивный элемент (КЭ). КЭ – это параметризуемый элемент формы конструкции изделия с некоторым родовым именем в составе принятого классификатора, формируемого с учетом состава признаков существенных для проектировщика. Примерами КЭ могут служить отверстия, пазы, отбортовки, рифты, борты и т.п. Собственно “борт” это и есть классификационный объект для проектировщика, а его параметрами служат положение, высота, толщина, наличие или отсутствие подсечек, свойства поверхности. С точки зрения обеспечения производственной технологичности существенными будут параметры конструктивного элемента, влияющие на выбор технологического процесса для его изготовления (борт прямой или по теоретической поверхности, переменной высоты или постоянный, имеется подсечка или нет и т.д.).

Говорков Алексей Сергеевич, аспирант кафедры Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники.

E-mail: govorkov_as@istu.edu

Ахатов Рашид Хадиятович, кандидат технических наук, доцент кафедры Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, директор Института авиационного машиностроения и транспорта. E-mail: axatob@istu.edu

Общая концепция проектирования изделий АТ с обеспечением заданных критериев технологичности представлена на рис. 1. В данной работе разрабатывается система анализа ТКИ, состоящей из нескольких независимых модулей, при этом выходные данные каждого модуля являются исходными данными для следующего.

Представление модели изделия на основе КЭ выполнялось и ранее [2]. Деталь рассматривается как структура, состоящая из множества элементов. Различаются элементы основной формы детали и элементы, находящиеся в отношении наложения к элементам основной формы. Элементы основной формы детали – поверхности: цилиндрические, конические, криволинейные поверхности вращения, торцы. Поверхности могут быть внутренними и наружными. Элементы наложения составляют фаски, лыски, резьбы, дополнительные отверстия, карманы, выступы, покрытия и термическая обработка детали.

В условиях сопровождения КЭ в информационной среде системы геометрического моделирования появляется возможность автоматического выявления параметров КЭ и описания условий взаимосвязи между ними.

Алгоритм формирования списка КЭ на основе конструктивного электронного макета (КЭМ) представлен на рис. 2. Рассматриваемый алгоритм иллюстрируются на примере моделей, созданных в системе NX 7.5 (Siemens PLM Software), хотя могут быть применимы для других систем геометрического моделирования.

Рассмотрим подробнее схему формирования списка КЭ с параметрами. Исходный объект – эскизное представление изделия. Согласно схеме существует 3 пути получения списка КЭ, из которых состоит деталь:

1) на основе КЭМ изделия, полученного с помощью библиотеки КЭ UDF (User Define Feature – элемент задаваемый пользователем). При этом список КЭ с формализованными параметрами явно отражается в навигаторе детали в системе NX;

2) на основе КЭМ изделия, полученного с помощью предварительно созданной построения обычными примитивами и операциями в системах трехмерного моделирования, при этом точно описывающие требуемое геометрическое представление изделия. Для получения списка КЭ с формализованными параметрами необходимо назначить дискретные точки этих элементов с заданными параметрами. Сформированные данные представляют собой промежуточные файлы типа *.xls или *.exp;

3) на основе базы данных (БД) КЭ, при этом список КЭ формирует конструктор без предварительного построения КЭМ изделия, а только на основе эскизного описания проектируемого изделия.

Технологические элементы изделия, такие как: шероховатость поверхности, покрытие, припуски и другие, могут быть добавлены в обычное геометрическое представление. Важной особенностью такого представления является то, что



Рис. 1. Концепция проектирования изделий АТ с обеспечением технологичности изделия

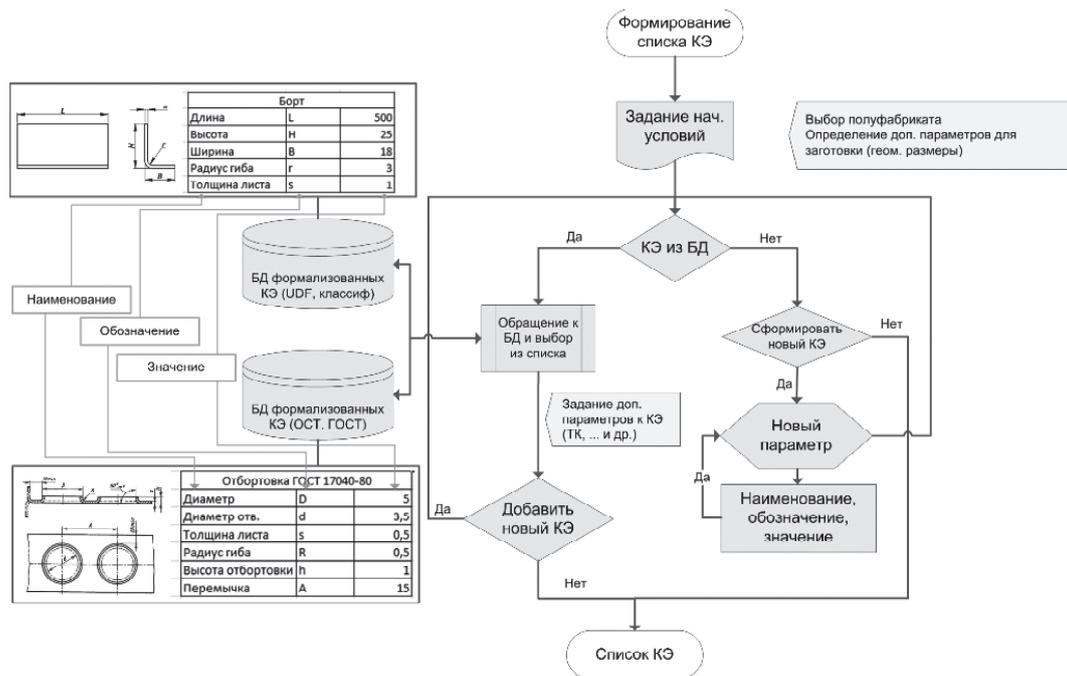


Рис. 2. Схема формирования списка КЭ с параметрами на основе КЭМ изделия или на основе его семантического описания

собственное геометрическое описание конструктивного элемента задается во внешней среде по отношению к модели изделия и может изменяться из этой внешней среды, модифицируя, таким образом, модель изделия. Достоинством такого представления является императивное использование в конструкции элементов технологичных с точки зрения изготовления на производстве, по возможностям которого генерировалась библиотека элементов.

В практике использования CAD/CAM/CAE – систем модели в настоящее время используется для отражения текущей структуры проектируемого изделия. В существующих системах, например UGS NX, структурными составляющими дерева модели являются элементы формы, связанных между собой булевыми операциями объединения, пересечения и разности:

$$S = \sum_{i=1}^m (F_i),$$

где F_i – твердотельные элементы формы.

В то же время более целесообразным для поддержки процесса проектирования на основе типовых конструктивных решений было бы использование представления изделия в виде фреймовой модели, построенной по минимальным конструктивным элементам изделия (рис. 3). Например, для детали такими элементами является КЭ, для сборочной единицы – входящие в её состав детали и стандартные изделия и т.д.

Наиболее ярко достоинства фреймовых систем представления знаний проявляются в том случае, если родовидовые связи изменяются нечасто и предметная область насчитывает немно-

го исключений. Во фреймовых системах данные о родовидовых связях хранятся явно, как и знания других типов. Значения слотов представляются в системе в единственном экземпляре, поскольку включаются только в один фрейм, описывающий наиболее полно понятия из всех тех, которые содержит слот с данным именем. Такое свойство систем фреймов обеспечивает экономное размещение базы знаний в памяти компьютера. Еще одно достоинство фреймов состоит в том, что значение любого слота может быть вычислено с помощью соответствующих процедур или найдено эвристическими методами. То есть фреймы позволяют манипулировать как декларативными, так и процедурными знаниями.

В общем виде типовая подсистема анализа изделий на технологичность будет состоять из следующих элементов (рис. 4).

Совокупность фреймов, моделирующие область проектирования и изготовления изделий, представляет собой иерархическую структуру, в которой фреймы собираются с помощью родовидовых связей. На верхнем уровне иерархии находится фрейм, содержащий наиболее общую информацию, истинную для всех остальных фреймов. Фреймы обладают способностью наследовать значения характеристик своих родителей, находящихся на более высоком уровне иерархии. Эти значения могут передаваться по умолчанию фреймам, находящимся ниже них в иерархии, но если последние содержат собственные значения данных характеристик, то в качестве истинных принимаются именно они. Это

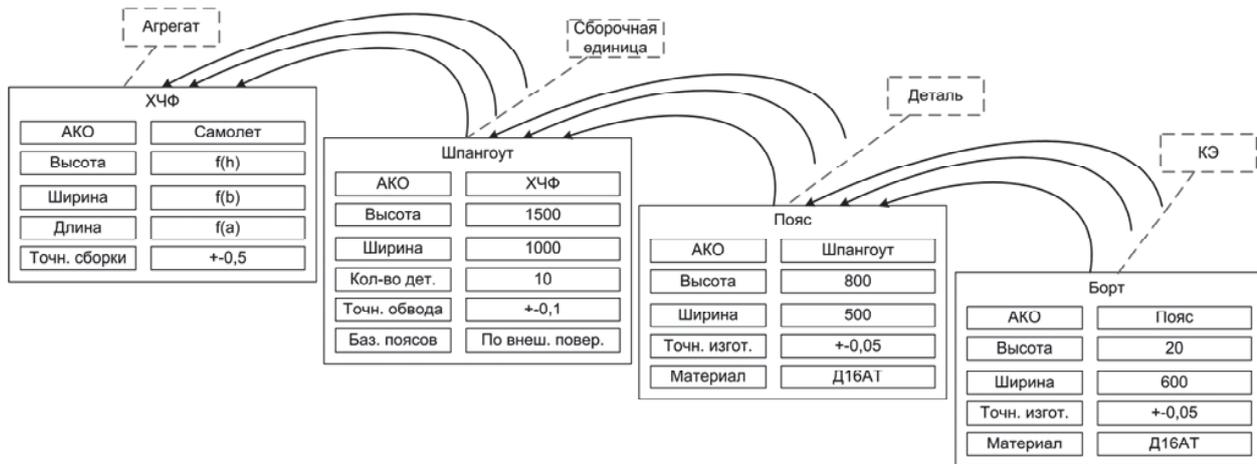


Рис. 3. Фреймовая модель представления изделия авиационной техники
 АКО – слот связи на фрейм более высокого уровня (A-Kind-of);
 ХЧФ – хвостовая часть фюзеляжа; КЭ – конструктивный элемент



Рис. 4. Модель обеспечения ТКИ на стадии проектирования

обстоятельство позволяет без затруднений учитывать во фреймовых системах различного рода исключения.

Рассмотрим каждый модуль, представленные на рисунке 4 подробнее в терминах теории множеств [4].

1. Массив входных данных представляет собой кортеж типа:

$$M = \{F^{KЭ}, D, D^t\} \neq \emptyset.$$

где $F^{KЭ}$ – функция, выполняемая проектируе-

мым КЭ;

D – множество используемых параметров КЭ, таких, что для каждого j – го КЭ рассматриваемого КР не может быть двух одинаковых параметров:

$$\forall d_k \in D(KЭ_j) - d_k : d_k \wedge d_{k+1} \neq \emptyset (k = 1, \dots, p; j = 1, \dots, m),$$

где m – количество конструктивных элементов в представляемом КР;

p – количество параметров рассматриваемого конструктивного элемента;

D^t – технологические параметры проектируе-

емого КЭ. Например, качество поверхности, материал, режимы обработки резания и т.п.

Следует отметить особенности заполнения массива входных данных. При решении прямой задачи массив заполняется конструктором в диалоговом режиме, на основе имеющихся баз данных КЭ и другой справочной информации. При решении обратной задачи массив заполняется автоматически на основании конструктивно-технологического образа изделия, содержащийся в среде проектирования изделия и технологического процесса (ТП).

2. Модуль оценки технологичности. После задания значений данных параметров модуль оценки технологичности формирует запрос к базе знаний на выборку множества решений, удовлетворяющим входным данным, после чего следует итерационный процесс анализа правил выбора конструктивных решений. В результате система формирует подмножество конструктивных решений следующего вида:

$$KP = \{KP_1, \dots, KP_n\}, KP_i \in K (i = 1, \dots, n),$$

$$\forall KP_i (F_j(KP_i) \equiv F_j) \wedge (F_{j+1}(KP_i) \equiv F_{j+1}) \wedge (D^t(KP_i) \equiv D^t),$$

$$(j = 1, \dots, m)$$

где KP_1, \dots, KP_n – элементы выбираемого множества, являющегося подмножеством множества K всех КР, содержащихся в базе знаний системы;

n – количество элементов множества КР, удовлетворяющим входным данным.

После окончания цикла формирования конфликтного множества КР следует определение для каждого КР значений показателей его технологичности. При этом в случае выбора конструктором качественной оценки технологичности происходит определение суммарного (интегрального) веса каждого КР по результатам экспертного ранжирования КР по неравнозначным критериям оценки технологичности:

$$\forall KP_i R(KP) = \sum_{j=1}^h r_{ij} \cdot b_j, (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, h),$$

где b_j – вес, определяющий важность i – го критерия оценки ($0 < b_j < 1; j = 1, \dots, h$);

r_{ij} – вес i – го КР по j – му критерию оценки.

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

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{k_j}{k_j^{баз}}, & \text{если } k_j \text{ имеет размерность} \\ k_j, & \text{если } k_j \text{ безразмерно} \end{cases}$$

где k_j – значение j – го показателя технологичности КЭ;

$k_j^{баз}$ – базовое значение j – го 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 каждого КР из множества K происходит упорядочение данного множества (рис. 4) по убыванию понятия “наиболее технологичное КР” (K_T).

Для случая качественной оценки:

$$\exists KP_i \in KP: R(KP_i) = \max_{i=1} R(KP_i) \rightarrow KP_i = K_T,$$

т.е. КР с максимальным значением интегрального веса является наиболее технологичным.

Для случая количественной оценки:

$$\exists KP_i \in KP: R(KP_i) = \min_{i=1} R(KP_i) \rightarrow KP_i = K_T.$$

Остальные элементы множества упорядочиваются по условию:

$$\forall KP_{T_i}: R(KP_{T_i}) > R(KP_{T_{i+1}}),$$

$$(i = 1, \dots, n).$$

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

3. Таким образом, КР в базе знаний можно представить следующим кортежем:

$$K = \{K_i, \dots, K_n\}.$$

При этом,

$$\forall K_i \in X_k,$$

где X_k – предметная область КР.

$$K_i = \{ID^K, F^{КЭ}(K_i), КЭ(K_i), C(K_i), R(K_i)\},$$

где ID^K – идентифицирующий номер хранения в базе знаний КР.

Конструктивные элементы:

$$КЭ = \{ID^{КЭ}, D, O\},$$

где $ID^{КЭ}$ – идентифицирующий номер хранения в базе знаний КЭ;

O – технологические методы изготовления КЭ:

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

где ID^O – идентифицирующий номер хранения в базе знаний технологических методов изготовления КЭ.

Правила выбора конструктивных решений:

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

при этом,

$$\forall C_i \in C: C_i = \{\text{если, то, иначе}\}.$$

Таким образом, конструктивно-технологическим образом изделия являются непосредственно типовые конструктивные решения (КР):

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

где K_i – типовое конструктивное решение.

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.

4. Массив выходных данных представляет собой кортеж типа:

$$M_1 = \{F^{K3}(K_T), D(K_T), D^t(K_T)\}.$$

5. 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:

- рассчитанные значения количественных показателей заносятся в промежуточный файл;
- осуществляется возможное изменение элементов согласно КР в твердотельной модели изделия (обновляется “образ изделия”).

6. В модуле “анализатор формул и правил выбора КР” заложены правила выбора, а также ранжирования КР 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 критери-

ев оценки технологичности для листовых, профильных и монолитных изделий.

В основе формализации процедур оценки ТКИ при проектировании изделий авиационной техники целесообразно опираться на следующие принципы:

- конструктивные компоненты деталей и сборочных единиц классифицируются и для каждого конструктивного элемента классификатора формируются параметризованные электронные макеты;
- каждый конструктивный элемент анализируется на предмет выявления всех объектов технологической системы, оказывающих влияние на показатели ТКИ (технологические операции (ТО), средства технологического оснащения (СТО), оборудование (О), инструмент и др.);
- для каждого конструктивного элемента выявляется основной критерий технологичности для решения задачи оптимизации выбора конструктивных параметров проектируемого изделия. Все параметры изделия ранжируются по степени влияния на критерий ТКИ принятый в качестве целевого;

- формализация процедур выявления степени соответствия рекомендуемых значений параметров проектируемой конструкции фактически производится на основе автоматического считывания действительных значений параметров конструкции из разрабатываемого КЭМ изделия. Знак и величина расхождения фактических и рекомендуемых значений параметров определяет численное значение ТКИ. Полученные оценочные значения для всех параметров конструкции анализируются с учетом значимости каждого параметра.

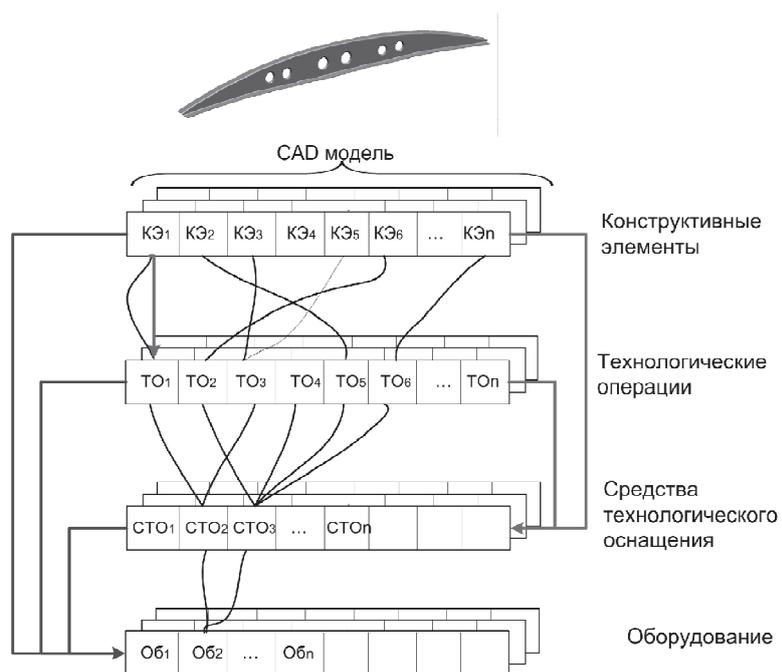


Рис. 5. Дерево конструктивных решений изготовления изделия

На первом этапе необходимо определить варианты изготовления каждого КЭ в изделии по имеющимся технологиям на предприятии. Общий алгоритм формирования конструктивных решений изготовления изделия представлен на рис. 5.

Последовательность действий принятия решения на рис. 5 следующая:

1) для каждого КЭ в изделии определяется в БД технологическая операция ($ТО_i$) его изготовления. На первом этапе несколько вариантов, а потом возможно уменьшения вариантов до одного на основе ранжирования КР;

2) на основе двух факторов: КЭ и $ТО$ в БД СТО определяются взаимно соответствующие средства технологического оснащения, имеющиеся на производстве;

3) на основе трех составляющих: КЭ, $ТО$ и СТО в БД оборудования определяется имеющееся на предприятии технологическое оборудование $Об_j$ для изготовления данного КЭ.

При этом для каждого найденного элемента фиксируется (запоминаются в рабочей памяти) конкретные значения показателей технологичности. В итоге формируются вариативные информационные области КР для анализируемого изделия.

Программная оболочка системы анализа ТКИ представляет собой программу для управления совокупности файлов реляционных баз данных и имеет многооконный режим (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предложенной методики для оценки изделий АТ на технологичность открывает возможность подготовки грамотных конструкторов, способных учитывать технологические требования в процессе проектирования изделий на основе конкретных производственных условий.

Методология объектно-ориентированного анализа в применении к данной задаче может служить теоретической основой для создания самостоятельных систем, в которых проектирование конструкции изделия и её технологии ведется в единой среде – файле проекта обеспечения ТКИ, что позволит проектировать конструкции, изначально удовлетворяющие требованиям конкретного производства и свести к минимуму затраты времени на отработку на технологичность проектируемых конструкций.

Формализованы основные процедуры обеспечения технологичности конструктивных эле-

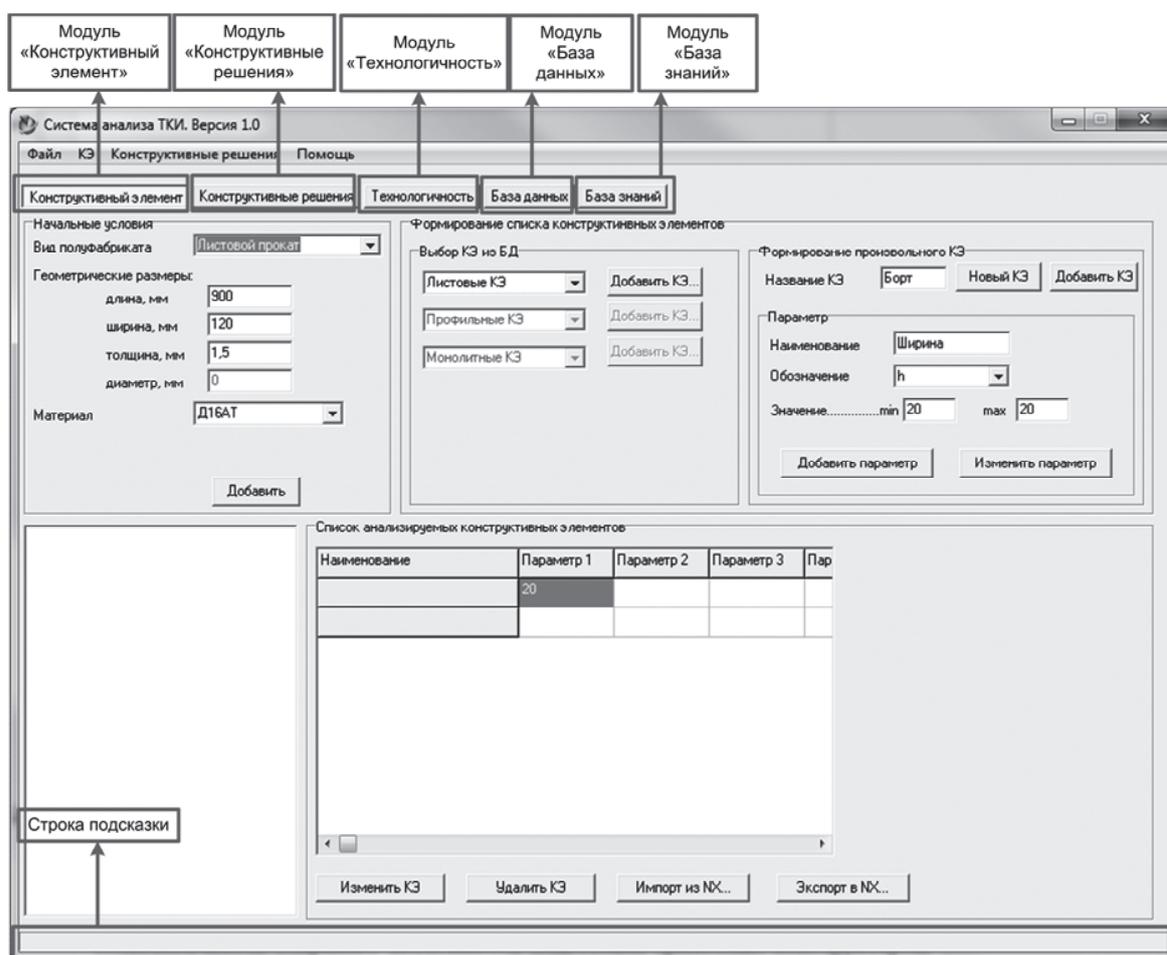


Рис. 6. Общий вид программной оболочки

ментов изделия: процедура синтеза наиболее технологичного конструктивного решения в модели проектируемого изделия и процедура анализа спроектированных элементов изделия на технологичность их применения.

Предложена структура программной оболочки ЭС обеспечения ТКИ, удовлетворяющая принципам построения САПР и позволяющая повысить эффективность отработки изделий на технологичность в условиях применения современных CAD/CAM/CAE – систем.

Данная работа выполнена в рамках выполнения договора №334/10 от 06.10.2010 г. на проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ между ГОУ ВПО НИИ ИргТУ и ОАО "Корпорация "Иркут" "Разработка и внедрение высокоэффективных технологий проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолета МС-

21". Договор заключен на основании победы в конкурсе по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства по Постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №218.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения: ГОСТ 14.205-83. Взамен ГОСТ 18831-73; введ. 01.07.83.
2. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: учеб. для машиностроит. специальностей вузов. М.: Высш. шк., 2001. 590 с.
3. Сайт Компании SDI Solution [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sdi-solution.ru>, (дата обращения 23.09.2011)
4. Джарратано Джозеф, Райли Гари. Экспертные системы: принципы разработки и программирование: Пер. с англ. М.: И.Д. Вильямс, 2007. 1152 с.

ANALYSIS OF PRODUCT MANUFACTURABILITY AVIATION TECHNOLOGY-BASED IMAGE INFORMATION PRODUCTS

© 2011 A.S. Govorkov, R.H. Akhatov

National Research
Irkutsk State Technical University

A mathematical representation of the objects of the working environment and the interaction of individual components in the product design for manufacturability analysis. An algorithm of synthesis of the most technologically sophisticated design solution in terms of set theory. The software wrapper system analysis TKI. Keywords: product model, technological, structural element, a constructive solution.

Aleksey Govorkov, Graduate Student at the Aircraft Construction And Aircraft Exploitation Department.

E-mail: govorkov_as@istu.edu

Rashid Akhatov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction And Aircraft Exploitation Department, Director of Institute Of Aircraft And Maching Building And Transport. E-mail: axatob@istu.edu