

УДК 004.89, 629.7

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ИНЖИНИРИНГЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2016 П.Ю. Павлов¹, П.И. Соснин², А.В. Лебедев²

¹ АО «УКБП», г. Ульяновск

² Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 29.03.2016

В статье рассмотрена онтологическая структуризация проектирования летательного аппарата и технологического оснащения на примере сборочного приспособления, а также способы применения параллельного инжиниринга для сокращения цикла проектирования технологического оснащения.

Ключевые слова: онтология, проектирование, параллельный инжиниринг, сборочное приспособление, технологическое оснащение, летательный аппарат

Одним из важных критериев конкурентоспособности современного авиастроения является длительность цикла подготовки производства и изготовления. Этот критерий интегрально оценивается в условиях многономенклатурного производства, когда детали и сборки разнообразного функционального назначения могут иметь сложную форму и повышенные требования к качеству. Существенный вклад в интегральную оценку вносит подготовка производства, в первую очередь разработка технологического оснащения (ТО) различного назначения. Прогресс в этой области производства существенным образом определяется его расширяющейся компьютеризацией. Развитие вычислительной техники, математического и программного обеспечения, создание средств автоматизации ввода и вывода графической информации позволили к сегодняшнему дню полностью отказаться от конструктивных и технологических плазов. Первоисточником для производства ТО служит математическая модель детали. Изготовление технологической оснастки осуществляется на станках с ЧПУ, контроль – с помощью контрольно-измерительной машины (КИМ). Несмотря на свершившийся переход на бесплатовые технологии [6], процесс проектирования ТО остался неизменным и цифровые технологии не используются в полной мере. В связи с этим появилась необходимость поиска решения сокращения цикла конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) за счет параллельного выполнения проектирования летательных аппаратов (ЛА) и ТО.

Для устранения данных недостатков в статье предложено использование концептуально-алгоритмического сопровождения действий и решений работников инженерных служб для уменьшения количества

ошибок, возникающих из-за человеческого фактора на стадии КТПП, а также для накопления и использования опыта, применение которого предотвращает ошибки. В этом сопровождении особо важна онтологическая структуризация процессов создания математических моделей ЛА и ТО. В основу реализации прикладной онтологии [1, 10], представляющей онтологическую структуризацию с доступом на компьютеризованных рабочих местах проектировщиков, положены средства концептуально-алгоритмического моделирования комплекса OwnWIQA [5, 7–9].

Проектирование ЛА. Прежде чем переходить к проектированию ТО кратко рассмотрим жизненный цикл (ЖЦ) ЛА на стадии проектирования и КТПП с точки зрения САПР (создание математических моделей деталей ЛА). Проектирование любого ЛА начинается с создания аэродинамического (теоретического) контура (*Aerodynamics*). Затем аэродинамический контур преобразуется в строительную мастер геометрию (СМГ):

$$G(\text{Aerodynamics}) \xrightarrow{R} G(\text{SMG}^{LA}), \quad (1)$$

где R – определенная функция преобразований геометрии.

СМГ (SMG^{LA}) представляет собой набор теоретических поверхностей, плоскостей, линий и точек, которые образуют аэродинамический контур ЛА (LA) и определяют расположение силового набора, обреза обшивки, осей вращения и других базовых элементов конструкции ЛА, а также служат основой для построения деталей и сборочных единиц, выходящих на теоретические поверхности или эквидистантных к ним. СМГ, как правило, так же разделяется на СМГ крыла (SMG^K), СМГ фюзеляжа (SMG^F), СМГ хвостового оперения (SMG^O). Данное разделение можно записать в виде:

$$G(\text{SMG}^{LA}) \xrightarrow{R} G(\text{SMG}^F) \cap G(\text{SMG}^K) \cap G(\text{SMG}^O) \quad (2)$$

Дальнейшее разделение рассмотрим на примере СМГ фюзеляжа. В свою очередь СМГ фюзеляжа состоит из набора теоретических поверхностей обшивки (P^F) и плоскостей осей стрингеров (Os^{StrF}), осей шпангоутов (Os^{ShpF}), осей лонжеронов (Os^{LongF}), которые можно представить в виде:

$$G(\text{SMG}^F) \xrightarrow{R} G(P^F) \cap G(Os^{ShpF}) \cap G(Os^{StrF}) \cap G(Os^{LongF}) \quad (3)$$

В свою очередь наборы поверхностей аэродинамического контура, осей шпангоутов и стрингеров состоят из отдельных поверхностей (P_i^F) и плоскостей

(Os_i^{ShpF} , Os_i^{StrF} , Os_i^{LongF}):

Павлов Павел Юрьевич, инженер-конструктор. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru

Соснин Петр Иванович, доктор технических наук, профессор. E-mail: sosnin@ulstu.ru

Лебедев Анатолий Валерьевич, доцент кафедры «Самолетостроение». E-mail: aw_lebedev@mail.ru

$$P^F = \{P_i^F, i = 1...n\} \quad (4)$$

$$Os^{ShpF} = \{Os_i^{ShpF}, i = 1...n\} \quad (5)$$

$$Os^{StrF} = \{Os_i^{StrF}, i = 1...n\} \quad (6)$$

$$Os^{LongF} = \{Os_i^{LongF}, i = 1...n\} \quad (7)$$

$$G(P^F) \cap G(Os^{ShpF}) \cap G(Os^{StrF}) \cap G(Os^{LongF}) \xrightarrow{R} G(El\text{em}_j^{PanelF}; j = 1...k) \quad (8)$$

Силовой набор образует отдельные панели ($Panel^F$):

$$G(El\text{em}_j^{PanelF}; j = 1...k) \xrightarrow{R} G(Panel_i^F) \quad (9)$$

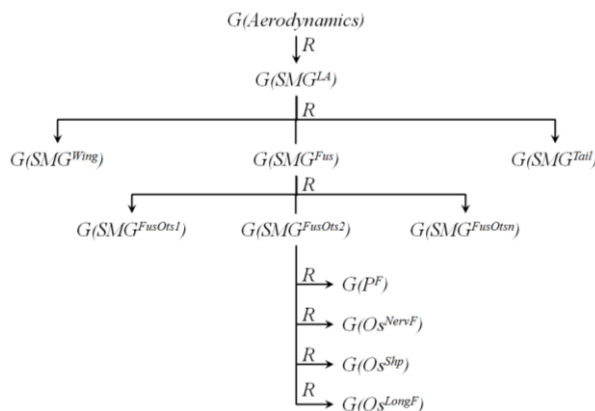


Рис. 1. Обобщенное представление дерева построения СМГ

Из панелей собираются отдельные отсеки фюзеляжа ($Ots\text{ek}^F$):

$$G(Panel_i^F; i = 1...n) \xrightarrow{R} G(Ots\text{ek}_i^F) \quad (10)$$

из отсеков – фюзеляж (Fus^{LA}):

$$G(Panel^F) \cap G(El\text{em}^{Fus}) \xrightarrow{R} G(Fus^{LA}) \quad (11)$$

Планер ЛА состоит из фюзеляжа (Fus^{LA}), крыла ($Wing^{LA}$), и оперения ($Tail^{LA}$):

$$G(Fus^{LA}) \cap G(Wing^{LA}) \cap G(Tail^{LA}) \xrightarrow{R} G(Plan^{LA}) \quad (12)$$

Математическая модель ЛА (LA), как правило, состоит из планера ($Plan^{LA}$), двигательной установки (Eng^{LA}) и систем (Sys^{LA}):

$$G(Plan^{LA}) \cap G(Eng^{LA}) \cap G(Sys^{LA}) \xrightarrow{R} G(LA) \quad (13)$$

Обобщенное представление дерева построения ЛА показано на рис. 2.

Отличительная особенность проектирования трубопроводных систем ЛА от планера заключается в том, что исходными данными для проектирования являются назначение и технические характеристики системы, а в качестве ограничений, в данном случае, выступают силовые элементы планера ЛА. Первым этапом построения системы ЛА является выбор трассы прокладки системы (S^{Sys}):

$$G(Fus^{LA}) \xrightarrow{R} G(S^{Sys}) \quad (14)$$

После чего производится построение электронных моделей деталей ($El\text{em}^{Sys}$) трубопроводов систем ЛА:

$$G(S^{Sys}) \cap G(Panel^F) \xrightarrow{R} G(El\text{em}^{Sys}) \quad (15)$$

Поверхности и плоскости, в свою очередь, представляют собой наборы определенных математических функций $f(x; y; z)$.

Обобщенное представление дерева построения СМГ показано на рис. 1.

Проектирование обшивки, стрингеров, шпангоутов, начинается от СМГ. Для краткости все детали силового набора обозначим как $El\text{em}_j^{PanelF}$, тогда:

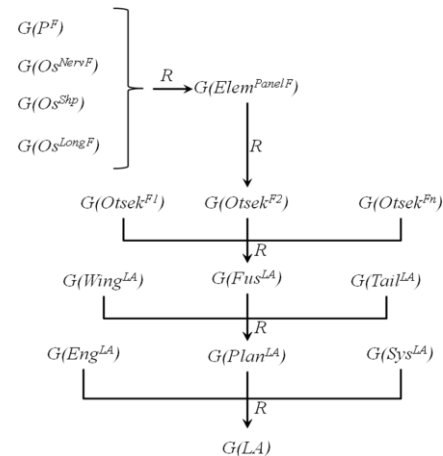


Рис. 2. Обобщенное представление дерева построения ЛА

Отдельные детали образуют отдельные под сборки ($Assembly^{Sys}$) систем ЛА:

$$G(El\text{em}^{Sys}) \xrightarrow{R} G(Assembly^{Sys}) \quad (16)$$

Из отдельных подборок образуется все системы ЛА:

$$G(Assembly^{Sys}) \xrightarrow{R} G(Sys^{LA}) \quad (17)$$

Проектирование сборочных приспособлений. Графическое изображение процесса проектирования сборочного приспособления представлено на рис. 3.

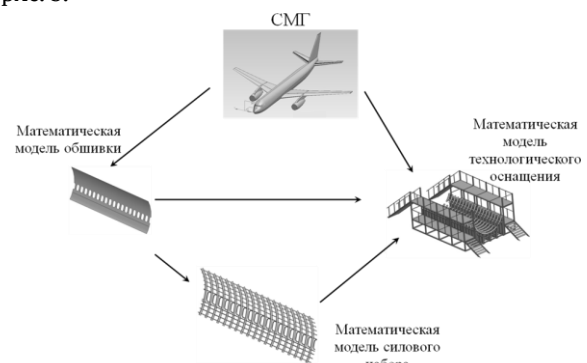


Рис. 3. Процесс проектирования сборочного приспособления

Проектирование рубильников (R^{SP}) и ложементов (L^{SP}) производится от деталей и сборок, для сборки которых данное приспособление предназначено, а так же используется и СМГ:

$$G(SMG^{LA}) \cap G(Elem_j^{PanelF}; j=1..k) \cap G(Otsek_i^F) \xrightarrow{R} L_i^{SP} \quad (18)$$

$$G(SMG^{LA}) \cap G(Elem_j^{PanelF}; j=1..k) \cap G(Otsek_i^F) \xrightarrow{R} R_i^{SP} \quad (19)$$

$$L^{SP} = \{L_i^{SP}, i=1..n\} \quad (20)$$

$$R^{SP} = \{R_i^{SP}, i=1..n\} \quad (21)$$

Из формул 18-20 видно, что прецедентом для проектирования ТО являются математические модели деталей ЛА. В состав рубильников и ложементов также входят и фиксаторы:

$$F = \{F_i, i=1..n\} \quad (22)$$

Проектирование рамы сборочного приспособления ($Rama_i^{SP}$) ведется от положения объекта сборки, рубильников, ложементов и фиксаторов:

$$G(L^{SP}) \cap G(R^{SP}) \cap G(F^{SP}) \cap G(Otsek_i^F) \xrightarrow{R} Rama_i^{SP} \quad (23)$$

Рама, рубильники, ложементы и фиксаторы образуют математическую модель сборочного приспособления:

$$G(L^{SP}) \cap G(R^{SP}) \cap G(F^{SP}) \cap G(Rama_i^{SP}) \xrightarrow{R} SP_i^{LA} \quad (24)$$

Из выражений 18, 19 видно, что в частном случае при условиях

$$G(SMG^{LA}) \xrightarrow{R} L_i^{SPChastn} \quad \text{или} \quad G(P^F) \cap G(Оs^{ShpF}) \cap G(Оs^{StrF}) \cap G(Оs^{LongF}) \xrightarrow{R} L_i^{SPChastn} \quad (25)$$

$$G(SMG^{LA}) \xrightarrow{R} R_i^{SPChastn} \quad \text{или} \quad G(P^F) \cap G(Оs^{ShpF}) \cap G(Оs^{StrF}) \cap G(Оs^{LongF}) \xrightarrow{R} R_i^{SPChastn} \quad (26)$$

тогда проектирование сборочного приспособления можно начинать параллельно проектированию ЛА. Либо, если данный частный случай не проявляет себя полностью ($L_i^{SP} \neq L_i^{SPChastn}$ и $R_i^{SP} \neq R_i^{SPChastn}$), то все равно возможно проектирование определенной части сборочного приспособления по исходным данным в выражениях (25), (26).

Онтологическая связь между СМГ, ЛА и сборочным приспособлением представлена на рис. 4.

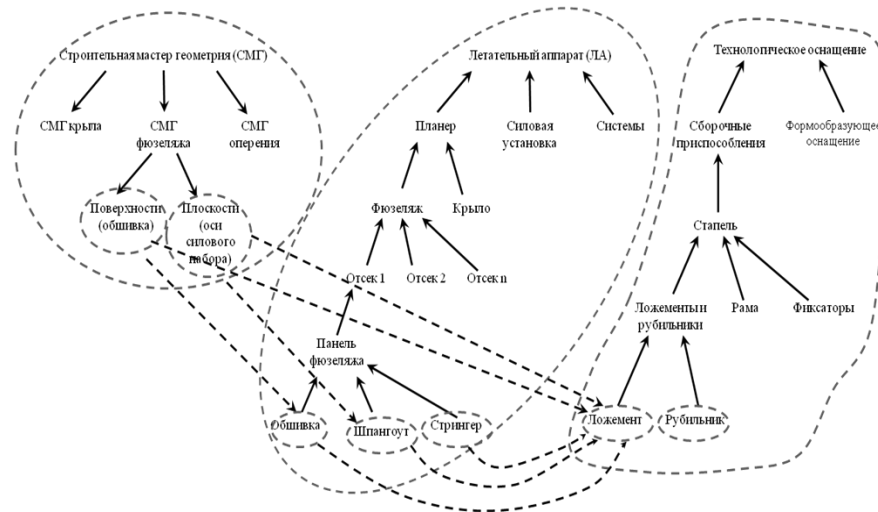


Рис. 4. Онтологическая связь между СМГ, ЛА и ТО

Из формул (18)-(26) видно, что прецедентом для проектирования ТО являются математические модели деталей ЛА и возможно применять для создания систем накопления опыта проектных решений. В существующих информационных системах для накопления опыта проектных решений в их состав принято включать онтологию профессиональной области [8]. На настоящий момент времени наиболее распространенными редакторами онтологий являются: Ontolingua, DOE, OntoEdit, WebOnto, ODE, Magenta, Protege [1]. Одним из самых существенных недостатков существующих

редакторов онтологий является отсутствие выхода на материализацию. Такое ограничение отсутствует в онтологиях, которые можно создавать в инструментально-моделирующей среде WIQA [5, 7]. В основе этого инструментария лежит прецедентный подход, предполагающий отображение операционной среды проектирования на семантическую память. Механизмы отображений разработаны для декларативных и императивных составляющих процесса концептуального проектирования. Для представления концептуально-алгоритмических решений разработан

специализированный псевдокодированный язык, надстроенный над семантической памятью вопросно-ответного типа и ориентированный на моделирование прецедентов (деятельностных единиц повторного использования).

Модель прецедента P включает: текстовую составляющую P^T , в виде постановки задачи; логическую составляющую P^L , формула которой представлена на рисунке 4; вопросно-ответную модель P^{QA} задачи Z ; графическое представление прецедента P^G ; исходный псевдокод P^I и исполняемый код P^E . По ходу решения определённой проектной задачи соответствующая модель прецедента формируется шаг за шагом с

возвратом «назад» при необходимости коррекций. Как и процесс решения задачи, процесс формирования модели прецедента является итерационным, что образно отражено на рис. 5, где раскрывается «жизненный цикл» порождения прецедента [8].

Нормативная модель прецедента построена таким образом, чтобы она раскрывала концептуальное содержание задачи и представляла её концептуальное решение (псевдокод решения). Завершая пункт, ещё раз подчеркнем, что формирование образца модели осуществляется методом пошаговой детализации с использованием онтологической поддержки и итераций, если в этом появляется необходимость.

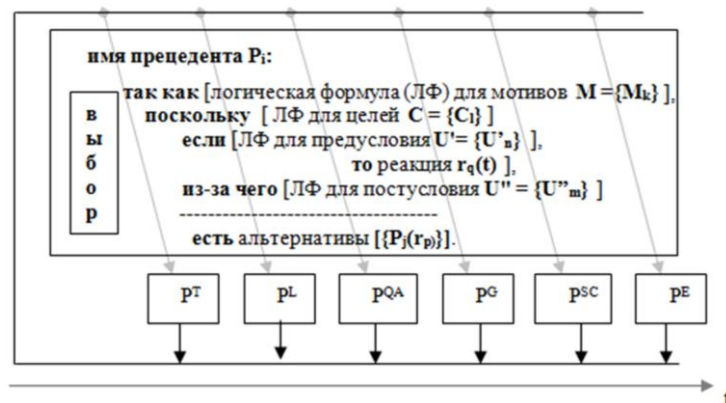


Рис. 5. Модель прецедента

Практическая реализация параллельного инжиниринга. Рассмотрим практическую реализацию параллельного инжиниринга при проектировании сборочных приспособлений. Для организации совместного доступа к геометрии и возможности построения электронных моделей ТО будут использоваться несколько файлов. Файл с системой координат имеет префикс в названии CS и служит для позиционирования файла построения в пространстве. Для обводообrazующих деталей, а также деталей, расположение которых задается в абсолютной системе координат, координата расположения файла построения так же задается относительно абсолютной системы координат $(X(0), Y(0), Z(0))$. Для стандартных деталей или деталей, которые применяются в сборке многократно, система координат задается рабочей и не привязанной к абсолютной системе координат. В файл с системой координат также помещаются вспомогательные детали и сборки, строительная мастер геометрия и прочие элементы, необходимые для построения ЭМД (рис. 6, 7). Файл с построениями имеет префикс WP . В файле построений

линкуется (*Link*) с помощью *WAVE*-технологий [4] вся дополнительная геометрия, необходимая для создания модели детали и производятся все дополнительные построения (рис. 8.).



Рис. 6. Структура файла с системой координат

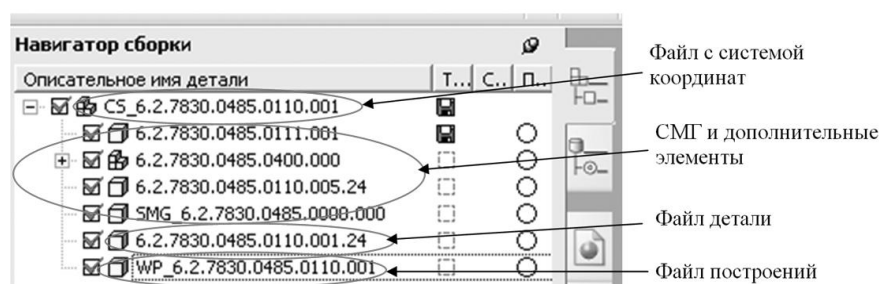


Рис. 7. Пример дерева построения

ЭМД является результирующим файлом, в который линкуется модель детали из файла построения. Все дополнительные построения не линкуются.

ЭМД должен содержать только одно твердое тело и дополнительную информацию в виде рисок, резьб и технических условий. Приведенные выше подход

позволяет распараллеливать процесс проектирования сборочного приспособления и разделить его на несколько специализаций:

- инженер-конструктор по раме сборочного приспособления;
- инженер-конструктор по рубильникам и ложементам;
- инженер-конструктор по фиксаторам и прижимам;
- инженер-конструктор по опорам и креплению приспособления к полу;
- инженер-прочнист.

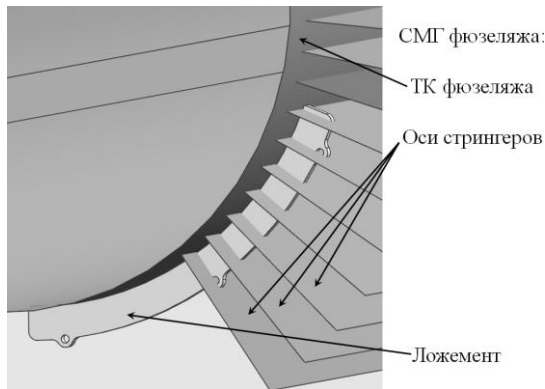


Рис. 8. Рабочие построения модели ложемента сборочного приспособления

Для компьютеризации рабочих мест этих специалистов авторами разработан комплекс средств информационного сопровождения действий и принимаемых решений. В основу комплекса положена общая онтология проектирования, в которой закодирована представленная выше структуризация геометрии ЛА и её отображений на производственный процесс ЛА. Онтология согласована с нормативными документами, управляющими и регистрирующими процесс производства. Использование разработанных средств позволит не только сократить цикл проектирования ТО за счет параллельного выполнения операций проектирования, но и предотвратить ошибки в их согласованной реализации.

Выводы: разработан подход к представлению математических моделей ЛА в родовидовой форме и рассмотрено использование параллельного инжиниринга для повышения эффективности процесса проектирования ТО. Использование параллельного инжиниринга позволит значительно сократить цикл проектирования ТО для изготовления ЛА, а так же введение узких специализации для инженерных специалистов позволит повысить качество проектных работ за счет накопления персонального опыта и, в дальнейшем, создания онтологической поддержки процесса проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Боргест, Н.М.* Онтология проектирования. Теоретические основы. Ч. 1. Понятия и принципы. - Самара: СГАУ, 2010. Вып. 2. 91 с.
2. *Комаров, В.А.* Концептуальное проектирование самолёта: учеб. пособие / В.А. Комаров и др. - Самара: СГАУ, 2013. Вып. 2. 120 с.
3. *Коптев, А.Н.* Адаптивное взаимодействие в системе «разработчик-производство» / А.Н. Коптев, А.А. Коптев // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2014. Т. 16. № 1 (5). С. 1422–1437.
4. *Краснов, М.* Unigraphics для профессионалов. - М.: ЛОРИ, 2004. 320 с.
5. *Маклаев, В.А.* Создание и использование автоматизированной базы опыта проектной организации / В.А. Маклаев, П.И. Соснин. - Ульяновск: УлГТУ, 2012. 360 с.
6. *Самсонов, О.В.* Бесплатное производство авиационной техники: проблемы и перспективы / О.В. Самсонов, Ю.Е. Тарасов // САПР и Графика. 2000. №9. С. 33–38.
7. *Соснин, П.И.* Онтологическая поддержка концептуального экспериментирования в вопросно-ответных моделирующих средах // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям, Науч. изд. в 4-х томах. Т. 1. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. С. 488–495.
8. *Соснин, П.И.* Персональная онтология профессионального опыта // Матер. 4-й Междунар. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2014). - Минск: БГУИР, 2014. С. 147–154.
9. *Sosnin, P.* Question-answer programming in collaborative development environmen. In Proceedings of the IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS-2010). - Singapore, 2010. P. 273–278.
10. *Staab, S.* Handbook on Ontologies / S. Staab, R. Studer. - Springer, 2009. 832 p.

ONTOLOGIC STRUCTURIZATION IN PARALLEL ENGINEERING OF JIGS DESIGN FOR AIRCRAFT

© 2016 P.Yu. Pavlov¹, P.I. Sosnin², A.V. Lebedev²

¹ JSC UKBP, Ulyanovsk

² Ulyanovsk State Technical University

In article ontologic structurization of aircraft and technological equipment design on the example of jigs, and also methods of application the parallel engineering for reduction the cycle of technological equipment design is considered.

Key words: *ontology, design, parallel engineering, jigs, technological equipment, aircraft*

Pavel Pavlov, Engineer-Designer. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru;
Petr Sosnin, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: sosnin@ulstu.ru;
Anatoliy Lebedev, Associate Professor at the "Aircraft Construction" Department. E-mail: aw_lebedev@mail.ru