

П. Е. Чимитов

ПОСТРОЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА НА ОСНОВЕ ОБРАЗА ИЗДЕЛИЯ

Исследование относится к области автоматизации технологической подготовки сборочного производства в самолетостроении. Предложен алгоритм формирования последовательности сборки на основе использования образа детали.

Ключевые слова: образ изделия, последовательность сборки, технологическая подготовка производства.

Повышение общей эффективности сборочного производства неразрывно связано с применением прогрессивных технологий, в том числе в технологической подготовке производства. Одним из основных этапов технологической подготовки сборочного производства является проектирование последовательности сборки. Последовательность сборки, как и последовательность выполнения сборочных операций во многом зависит от конструкции, габаритов и жесткости собираемых деталей. Выбор оптимальной последовательности производится на основе анализа собираемости, размерного анализа и т. д. Однако эти процедуры предполагают наличие некоторой начальной последовательности сборки, процесс проектирования которой слабо формализован и практически полнос-

тью основан на опыте технолога. Предлагаемая методика направлена в первую очередь на решение задачи формирования начальной последовательности сборки. Структурно алгоритм можно представить в виде совокупности модулей (рис. 1).

Собираемый узел можно представить в виде образа, содержащего упорядоченное множество деталей (компонентов сборки). В свою очередь, деталь можно также рассматривать как образ, состоящий из упорядоченного, взаимосвязанного множества параметров, характеризующих ее. Под образом детали принимается параметрическая модель изделия, являющаяся отображением геометрической модели и дополненная параметрами, необходимыми для технологического проектирования сборки [1].

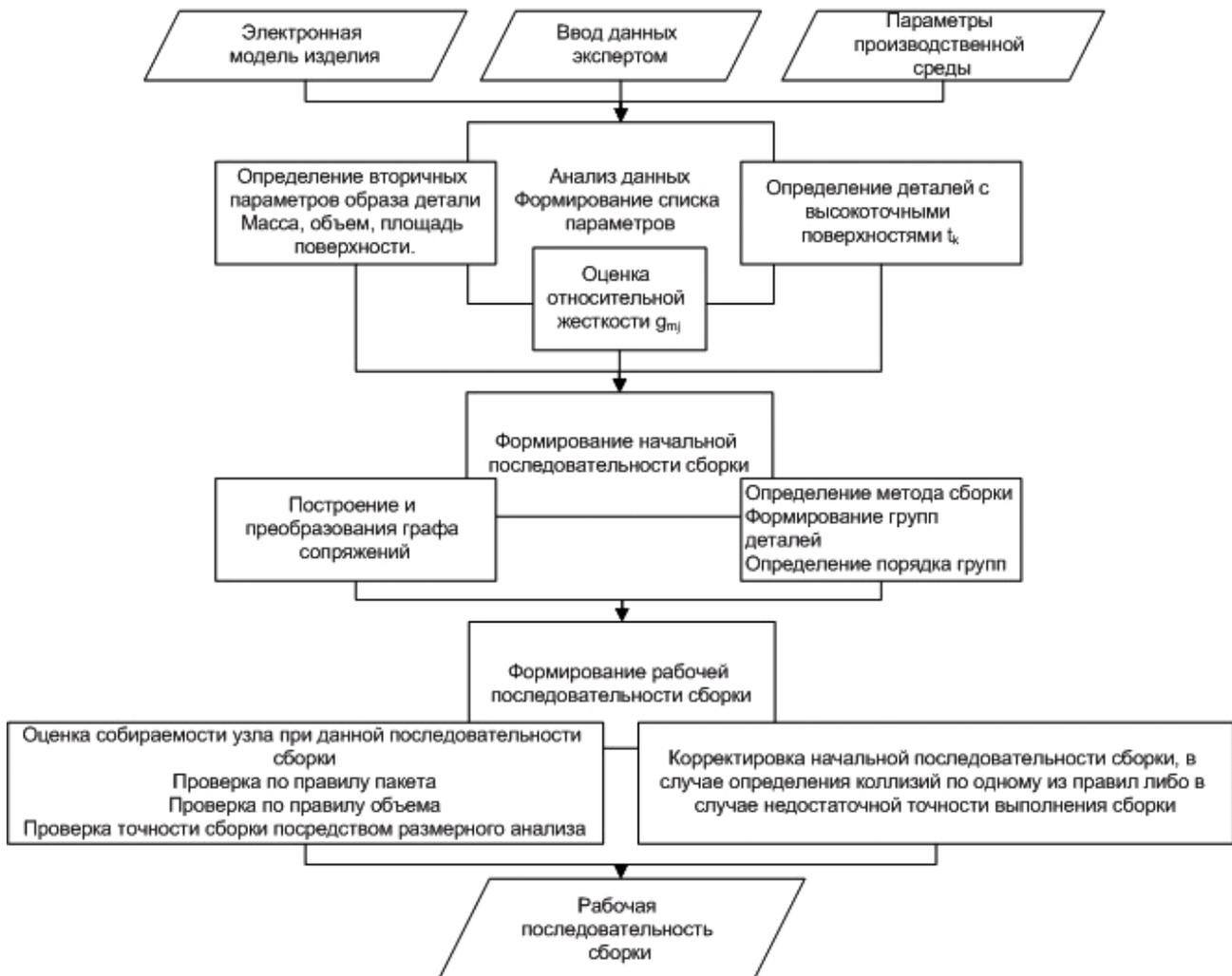


Рис. 1. Структура модулей алгоритма формирования последовательности сборки

Деталь в последовательности сборки может занимать определенное, оптимальное положение по ряду критериев. Наиболее важными критериями образа детали при формировании последовательности сборки являются следующие: обеспечение заданной точности сборочной единицы, обеспечение максимальной относительной жесткости конструкции в процессе сборки изделия, обеспечение доступности элементов изделия при выполнении процессов сборки.

Собираемая конструкция изделия J представляется в виде множества N отдельных деталей $d_i \in N$. Связь между деталями d_i соответствует их соединению друг с другом и отражает реальные сопряжения в конструкции изделия. Вершинами графа являются детали $d_i \in N$, а ребрами $\sigma(d_p, d_{i+1}) \in \Sigma$ – связи между ними. Если детали соединяются друг с другом в нескольких местах, в таком случае граф G имеет кратные дуги. Так как конструкция планера самолета представляет собой единое целое, то граф сопряжений всегда связан. Граф $G(N, \Sigma)$ – граф сопряжений, отражающий информацию о реальных конструктивных связях между деталями [2].

В традиционном, ручном проектировании, роль графа сопряжений выполняет компоновочная схема узла, которая, в свою очередь, строится на основе анализа технологическими чертежами и технической документацией. Однако применение систем геометрического моделирования позволяет в значительной степени формализовать процесс формирования графа сопряжений. В зависимости от требований, предъявляемых к выполнению электронной модели сборочного узла, возможны два варианта автоматизированного построения графа сопряжений $G(N, \Sigma)$.

Сборочный узел, построенный в среде CAD/CAM/CAE системы UGS NX4, обладает рядом особенностей. Так, файл сборки не дублирует геометрию своих компонентов (электронных моделей деталей), а содержит только ссылки на файлы компонентов. Каждая ссылка на часть сборки есть компонент, а файл, содержащий геометрическую модель части, есть файл компонента (рис. 2).



Рис. 2. Структура сборочного узла в системе UGS NX4

Под компонентом понимается часть, входящая в сборку с заданным расположением и ориентацией. Компонентом также может быть подсборка, состоящая из дру-

гих компонентов более низкого уровня. Каждый компонент сборки представлен ссылкой на свою геометрическую модель. При добавлении компонента в файл сборки, его пространственное положение и ориентация относительно других деталей определяются посредством задания условий сопряжений компонентам. Под условиями сопряжения понимается набор ограничений, действующих на один компонент. Каждый компонент сборки может иметь только одно условие стыковки, хотя это условие стыковки может включать в себя отношения со многими компонентами. Таки образом, на основе анализа «дерева сборки» и множества условий стыковки Σ_m можно построить граф сопряжения узла, при этом множество $\Sigma_m = \Sigma$ [3].

Однако в некоторых случаях, при построении сборки возможны ситуации, при которых невозможно наложить условия сопряжения на компоненты сборки. Это вызвано, в первую очередь, достаточно высокой сложностью сопрягаемых поверхностей, присутствующих в реальной конструкции планера самолета, а также требованием обеспечения точного пространственного положения детали относительно абсолютной системы координат самолета.

В таком случае для формирования графа сопряжения, используется другая процедура, основанная на особенностях системы UGS NX, использующей при моделировании ядро Parasolid. Данная специфика построения моделей, позволяет отслеживать пересечения и касания твердых тел и компонентов сборки. Таким образом, при условии соблюдения корректности модели, выделяются поверхности контакта деталей, на основе которых также формируется граф сопряжений.

Предположим деталь A и деталь B сопрягаются по граням p_a и p_b соответственно. Каждая из граней представляется в виде множества точек, определяющих поверхность данной грани: p_a представляется в виде множества A :

$$A = \{x_{ai} \in p_a\}.$$

Аналогично задается множество для ответной грани p_b :

$$B = \{x_{bi} \in p_b\}.$$

Таким образом, плоскость поверхности контакта деталей, определяется множеством C :

$$C = A \cap B = \{x_{ci} \in A \& x_{ci} \in B\}.$$

В математической модели сборочного узла все поверхности C_i , образуемые при контакте двух компонентов сборки, можно разделить на два класса по характеру контакта деталей реальной конструкции:

- C_{ci} – поверхность касания двух компонентов сборки;
- C_{gi} – поверхность сопряжения двух компонентов сборки.

В самолетостроении соединения конструктивных элементов традиционно разделяют на три типа [4]:

- неподвижные неразъемные соединения. Соединения, обеспечивающие неизменное положение собираемых деталей и узлов относительно друг друга;
- неподвижные разъемные соединения. Соединения, обеспечивающие неизменное взаимное положение деталей, допуская разборку узла, отсека, отсека или агрегата без повреждения соединяемых и крепежных деталей;
- подвижные разъемные соединения. Соединения, допускающие перемещение соединяемых деталей относительно друг друга.

К поверхностям сопряжения C_{gi} относятся поверхности контакта C_i двух деталей, участвующие в образовании неподвижных неразъемных, а также неподвижных разъемных соединений (рис. 3).

К поверхностям касания C_{ci} относятся поверхности контакта C_i двух деталей, участвующие в образовании подвижных разъемных соединений, а также поверхности, образуемые контактами типа «поверхность–ребро», «ребро–ребро» (рис. 3).

При построении электронной модели сборочного узла, одной из завершающих операций является расстановка крепежа (символические обозначения, в местах установки крепежных элементов). Таким образом, в файл сборки добавляется некоторое множество крепежных элементов:

$$K_i = \{k_i \in p_a \& k_i \in p_b\}.$$

В большинстве случаев условное обозначение крепежного элемента ассоциативно связано с одной из поверхностей деталей (p_a либо p_b), а не с поверхностью контакта C_i . Однако одна из составляющих символа (прямая j_i) пересекает поверхность контакта C_i . Таким образом, задача сводится к определению существования реального пересечения прямой j_i с поверхностью C_i . Показателем существования реального пересечения прямой j_i с поверхностью контакта C_i служит существование точки пересечения w_i (рис. 3).

$$\exists w_i \rightarrow C_i = C_{gi}.$$

Граф сопряжений $G(N, \Sigma)$ формируется на основе информации о компонентах сборки (вершины графа), а также поверхностей сопряжения C_{gi} (дуги графа).

Граф сопряжений $G(N, \Sigma)$ в полной мере отражает информацию о реальных сопряжениях деталей в сборочном узле, однако для проектирования последовательности сборки данной информации недостаточно. Одним из способов наполнения графа необходимой информацией при формировании графа $G(N, \Sigma)$ предлагается использование образов деталей. В таком случае граф $G(N, \Sigma)$ преобразуется в граф сопряжений образа $G_{об}(N, \Sigma)$, использующий в качестве вершин образы деталей, следовательно, информационная наполненность графа определяется множеством данных, содержащихся в образе изделия I_i . Поскольку образ изделия наследует все характеристики изделия,

относящиеся к сборке, то граф сопряжений образов строится по тем же принципам и критериям, что и граф сопряжений изделия. Таким образом, полученная информационная наполненность графа сопряжений образа $G_{об}(N, \Sigma)$ позволяет построить адекватные алгоритмы его преобразования в граф сборки $S(\Sigma)$.

В самолетостроении применяются методы сборки, которые можно объединить в два класса: сборка без использования сборочного приспособления и сборка в сборочном приспособлении. Класс метода сборки в значительной степени влияет на построение схемы сборки и последовательности сборки.

Так, при сборке изделия в сборочном приспособлении граф сопряжений образа $G_{об}(N, \Sigma)$ преобразуется в граф сборки $S'(\Sigma)$ (рис. 4), характерной особенностью которого является присутствие нескольких начальных вершин, причем они могут не иметь общих дуг друг с другом. При сборке изделия без использования сборочного приспособления, граф сопряжений образа $G_{об}(N, \Sigma)$ преобразуется в ориентированный граф вида $S''(\Sigma)$, имеющий одну начальную вершину (рис. 4).

Выбор класса метода сборки выполняется на основе анализа графа сопряжения образа $G_{об}(N, \Sigma)$. Основными критериями при выборе класса метода сборки являются параметры g_{mj} (показатель относительной жесткости) и t_k (параметр, характеризующий наличие у детали поверхностей с повышенными требованиями точности), заложенные в образ детали I_i .

Анализируя структуру графа сопряжений образа $G_{об}(N, \Sigma)$ можно выделить условия, при которых производится отнесение сборки к одному из классов методов сборки. Независимо от выбранного метода сборки основной целью сборочного процесса является обеспечение точности выполнения замыкающего звена размерной цепи. Другими словами, необходимо обеспечить точность взаимного расположения деталей, имеющих поверхности с повышенными требованиями точности. К таким поверхностям относятся поверхности теоретического обвода и внешние поверхности сопряжения с другими узлами планера самолета (конструкторские базы).

Данные поверхности определяются параметром t_k образа детали. Параметр t_k принадлежит к логическому типу данных и может принимать значения 0 или 1. При

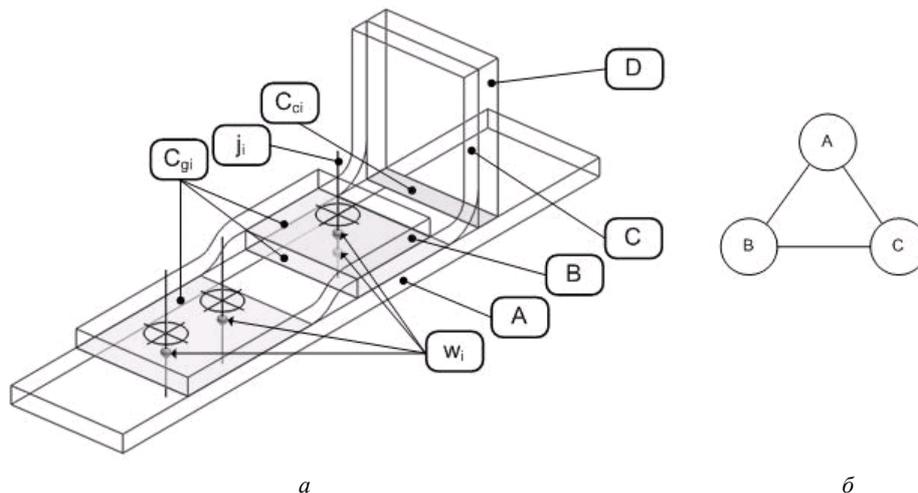


Рис. 3. Собираемый пакет: а – сборочный узел; б – граф сопряжений сборочного узла

значении параметра $t_k = 1$ образ соответствует детали, имеющей в своем составе поверхности с повышенными требованиями точности; при значении параметра $t_k = 0$ образ соответствует детали, не имеющей в своем составе поверхностей с повышенными требованиями точности.

При анализе графа сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$, выделяются вершины графа, соответствующие образу с показателем $t_k = 1$. Далее оценивается путь между этими вершинами, анализируются дуги и вершины графа на данном маршруте. В зависимости от количества и от пути соединения вершин графа с показателем $t_k = 1$, а также от значения показателя g_{mj} вершин графа определяется класс метода сборки.

Возможны три варианта графа сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$ относительно параметров t_k и g_{mj} :

1) для всех вершин модифицированного графа сопряжения образа $G_{oo}'(N, \Sigma)$ параметр $t_k = 0$;

2) модифицированный граф сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$ имеет одну вершину, соответствующую образу с параметром $t_k = 1$ (например: панель, содержащая только продольный силовой набор – стрингерная модель);

3) количество вершин графа сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$, соответствующих образу с параметром $t_k = 1$, более одного:

а) путь, соединяющий вершины графа с параметром $t_k = 1$, состоит только из вершин с показателем относительной жесткости $1 (g_{mj} > k)$;

б) путь, соединяющий вершины графа с параметром $t_k = 1$, состоит как из вершин с показателем относительной жесткости $1 (g_{mj} > k)$, так и из вершин с показателем относительной жесткости $0 (g_{mj} < k)$.

В случае, если сборочный узел определяется 1-м, 2-м, либо 3-м «а» вариантами модифицированного графа сопряжений образа, сборку предпочтительно выполнять по одному из методов, относящихся к первому классу методов (сборка без использования сборочного приспособления). Сборка в сборочном приспособлении соответствует 3-му «б» варианту модифицированного графа сопряжений образа.

После выбора класса метода сборки проектируется последовательность сборки. В зависимости от выбранного класса сборки последовательность имеет свои особенности.

Для первого варианта графа сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$, первая (базовая) деталь определяется на основе показателя

относительной жесткости, количестве сопряжений с другими деталями, а также на основе вторичных параметров, содержащихся в образе I_i детали. К числу вторичных параметров образа изделия относятся такие параметры, как масса, объем, площадь сопрягаемых поверхностей. Дальнейшее формирование последовательности подчиняется следующему правилу: в первую очередь устанавливаются детали, непосредственно связанные с базовой деталью (путь не содержит промежуточных вершин); затем детали, путь которых до базовой включает одну вершину и т. д.

Для второго варианта графа сопряжения образа $G_{oo}(N, \Sigma)$ за начальную вершину графа принимается вершина, соответствующая образу с параметром $t_k = 1$. Далее устанавливаются детали, имеющие непосредственную связь (дугу) с базовой вершиной, причем выбор последовательности между деталями группы определяется вторичными признаками образа. Далее устанавливаются детали, имеющие на пути к базовой вершине одну промежуточную вершину и т. д.

Третий вариант графа сопряжений образа $G_{oo}(N, \Sigma)$, в отличие от первых двух вариантов, имеет несколько начальных вершин, соответствующих образам деталей с параметром $t_k = 1$. В последовательности сборки данные образы деталей формируют первую группу устанавливаемых деталей. Порядок установки деталей внутри группы определяется исходя из значения параметра относительной жесткости $g_{mj} > k$ либо $g_{mj} < k$. Таким образом, внутри группы вершин, определяемых параметром $t_k = 1$, происходит дополнительное разбиение на подгруппы по показателю относительной жесткости g_{mj} . При этом подгруппа деталей с показателем $g_{mj} > k$ имеет приоритет при формировании последовательности по сравнению с деталями, принадлежащих подгруппе с показателем $g_{mj} < k$. Порядок установки деталей внутри подгруппы определяется вторичными признаками образа детали.

Далее в графе сопряжений образа $G_{oo}(N, \Sigma)$ находятся кратчайшие пути между вершинами, соответствующих деталям первой группы. Данные детали формируют вторую группу устанавливаемых деталей. Порядок установки деталей внутри группы определяется аналогичным, что и для второго варианта графа сопряжений образа $G_{oo}(N, \Sigma)$ методом.

Оставшиеся вершины графа формируют третью группу устанавливаемых деталей. К этой группе относятся

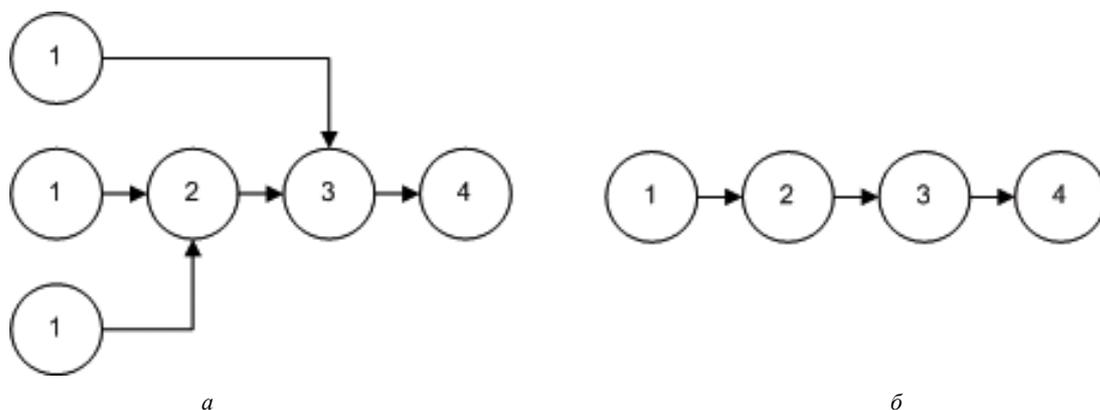


Рис. 4. Граф сборки: а – S' (Σ); б – S'' (Σ)

вершины, имеющие показатель $t_k = 0$, а также вершины, не входящие в кратчайший маршрут.

Таким образом, последовательность сборки определяется порядком установки групп деталей. Первоначально устанавливаются детали, относящиеся к первой группе, затем ко второй группе и в последнюю очередь детали третьей группы. Следует отметить, что такой порядок групп применим в случае, если кратчайший путь состоит из вершин как с показателем относительной жесткости 1 ($g_{mj} > k$), так и с показателем относительной жесткости 0 ($g_{mj} < k$). И как следствие, сборку при такой последовательности групп возможно проводить исключительно в сборочном приспособлении.

Однако возможен вариант, при котором кратчайший путь состоит исключительно из вершин с показателем относительной жесткости 1; в этом случае делается предположение, что данный узел можно собрать одним из методов без использования специального сборочного приспособления. В таком случае порядок групп, а также порядок деталей внутри групп претерпевает следующие изменения. Первоначально в сборку устанавливаются детали второй группы, затем детали первой группы и в заключение детали третьей группы. Порядок внутри второй группы определяется исходя из вторичных параметров образа (так как в этом варианте все вершины кратчайшего пути имеют показатель относительной жесткости 1 ($g_{mj} > k$)).

Следует также отметить, что детали третьей группы, совместно с деталями первой или второй групп, могут образовывать элементарные под сборки. В таком случае все вершины и дуги подграфа заменяются одной вершиной и в дальнейшем рассматриваются как единый компонент. Две детали являются элементарной под сборкой в том случае, если вершина графа $G_{об}(N, \Sigma)$, соответствующая одной из деталей третьей группы, имеет только одну

дугу сопряжения с деталью второй или первой группы. Полученная элементарная под сборка относится к той группе деталей, которой соответствовала деталь более высокой группы.

Предлагаемый метод формирования последовательности сборки, позволяет сформировать начальную, базовую последовательность, которую, в свою очередь, можно в дальнейшем использовать для определения сборочных баз, а также для формирования рабочей последовательности сборки (после анализа на отсутствие коллизий взаимного пересечения деталей при установке, а также после оценки точности, посредством выполнения размерного анализа). Предлагаемый алгоритм в значительной степени используется и формируется на основе формализованных данных математической модели изделия и производственной среды.

Библиографический список

1. Чимитов, П. Е. Формирование образа изделия для задач проектирования технологического процесса сборки планера самолета сборки / П. Е. Чимитов // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 183–184.
2. Бабушкин, А. И. Методы сборки самолетных конструкций / А. И. Бабушкин. М. : Машиностроение, 1985.
3. Ахатов, Р. Х. Выбор последовательности сборки в условиях автоматизированного проектирования технологического процесса / Р. Х. Ахатов, П. Е. Чимитов // Науч. вестн. Норил. индустриал. ин-та. Норильск, 2008. № 2. С. 19–22.
4. Пекарш, А. И. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А. И. Пекарш, Ю. М. Тарасов, Г. А. Кривов [и др.]. М. : Аграф-пресс, 2006.

P. E. Chimitov

THE AIRFRAME'S ASSEMBLY SEQUENCE PLANNING USED AN ITEM IMAGES

The research refers to automated design of aircraft assembly sequence planning. The formalized method of airframe assembly planning used an item images is offered.

Keywords: item images, assembly sequence, process design.