

Метод автоматизированной конвейерной сборки планера самолета

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Предложен новый метод виртуальных баз, позволяющий производить автоматизированную конвейерную сборку планеров самолета с использованием специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ и робототехнических систем; разработана подробная конструктивно-технологическая схема членения составных частей планера самолета; составлен технологический маршрут сборки с выходом на формализованное описание комплекса работ в их технической и логической взаимосвязи (сетевая модель); разработана схема укрупненной конвейерной сборки планера самолета с использованием роботизированных систем с целью сокращения длительности подготовки производства.

Ключевые слова: планер самолет, сборочные операции, роботизированные системы, метод виртуальных баз, конвейерная сборка.

Введение

Стремительный прогресс авиационной науки и техники в последние сорок лет позволили создать самолеты, способные летать с гиперзвуковыми скоростями, перевозить на межконтинентальных магистралах до 525 пассажиров одновременно (базовый вариант А380), поднимать до 250 т грузов (АН-225), осуществлять полет в любых метеоусловиях и прокладывать путь по командам бортового компьютера. Тем не менее, самым распространенным в мире типом летательного аппарата (ЛА) остается легкий самолет (ЛС). Вместе с другими ЛА авиации общего назначения (АОН) ЛС сегодня составляют до 97% мирового парка гражданской авиации.

Несмотря, на высокую необходимость гражданской авиации, заказы на них остаются не выполненными. Отечественный производитель не может обеспечить программу выпуска с высоким качеством и в кратчайшие сроки в силу низкого уровня подготовки производства.

1. Формулирование проблемы

Пассажирские и транспортные самолеты имеют небольшую серию выпуска, но имеют большую номенклатуру сборочных единиц (плоские узлы, панели), а ЛС АОН имеют не большую номенклатуру сборочных единиц, но имеют большую серию выпуска и множество модификаций. Учитывая, что в основу создаваемых в настоящее время нормативных документов, определяющих летную годность самолетов в государствах СНГ, положены нормы FAR, рекомендуется следующая классификация ЛС АОН представленная на рисунке 1.

Частая сменяемость объектов производства или значительные модификации конструкции в процессе серийного производства приводят к существенным изменениям во всех технологических процессах, что особенно влияет на сборочно-монтажные работы, методы сборки, схемы увязки оснастки и

на процесс смены или доработки сложных, трудоемких и металлоемких сборочных приспособлений. Сборочно-монтажные работы, составляют вместе с контрольно-испытательными процессами до 60% от общей трудоемкости изготовления самолета и более 65% от общей продолжительности цикла основного производства.

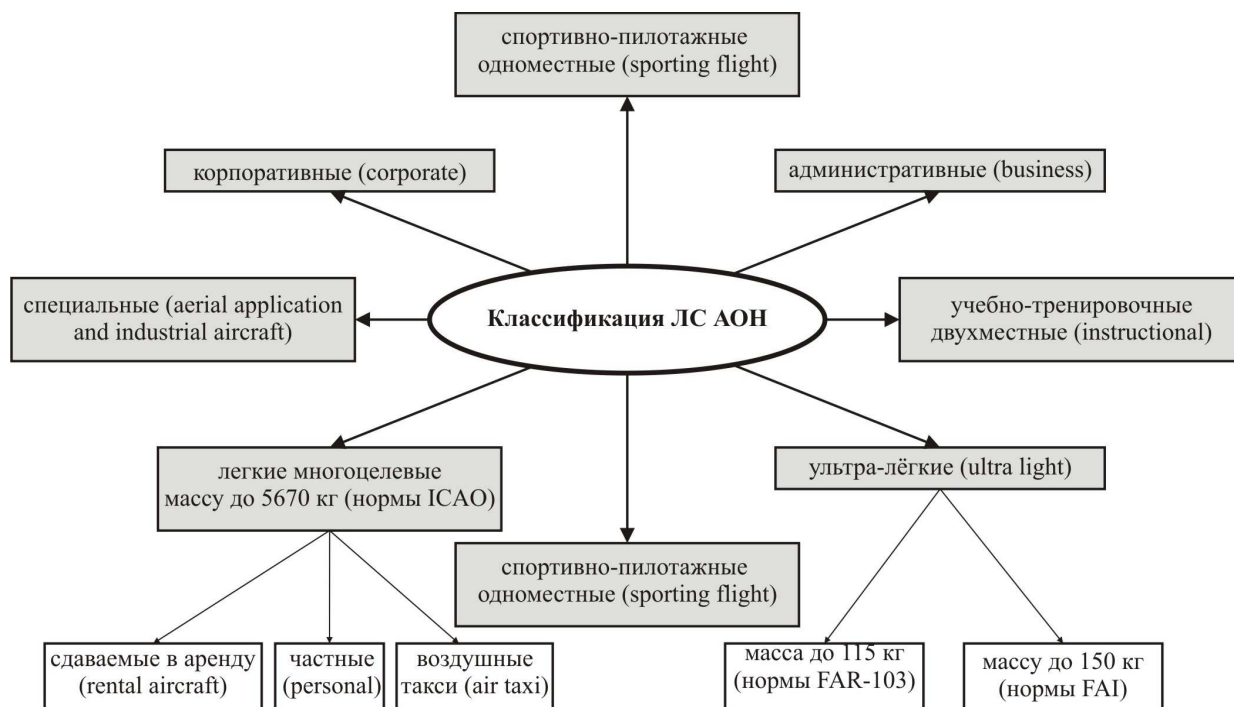


Рис. 1. Классификация легких самолетов авиации общего назначения

Значительный удельный вес при выполнении сборочно-монтажных работ имеют затраты на операции взаимной координации деталей и подборок при их установке, фиксации в сборочном положении, затраты на соединение элементов конструкции, изготовлением шаблонов приспособлений. Эти затраты во многом определяются значительным объемом ручных работ, и зависят от схемы членения, схемы сборки, принятых методов сборки, уровня взаимозаменяемости и технологичности конструкции. Рост объемов выпуска изделий в сборочном производстве достигается в основном путем расширения фронта работ и увеличения численности рабочих.

Причиной большой трудоемкости и себестоимости сборочно-монтажных работ в авиационной промышленности, а также значительной длительностью производственного цикла является низкая степень механизации и автоматизации сборочных операций, а также использование устаревших методов сборки и увязки.

2. Решение проблемы

Развитие современного авиастроения невозможно без постоянного совершенствования оборудования, средств технологического оснащения, а также

применения современного программного обеспечения и вычислительной техники и, как следствие, разработки оптимального, технологического процесса сборки, удовлетворяющего требованиям обеспечения высокой производительности и минимальной себестоимости[1].

Применение на сборочных операциях роботизированных участков, позволяет разрабатывать типовые технологические процессы на обобщенные комплексные сборочные единицы и технологические схемы сборки, а также создать новые средства увязки которые назовем специализированное переналаживаемое приспособление с ЧПУ (рис. 2). Это позволяет сократить время подготовки производства и является одним из наиболее рациональных методов оптимизации технологических процессов сборки.

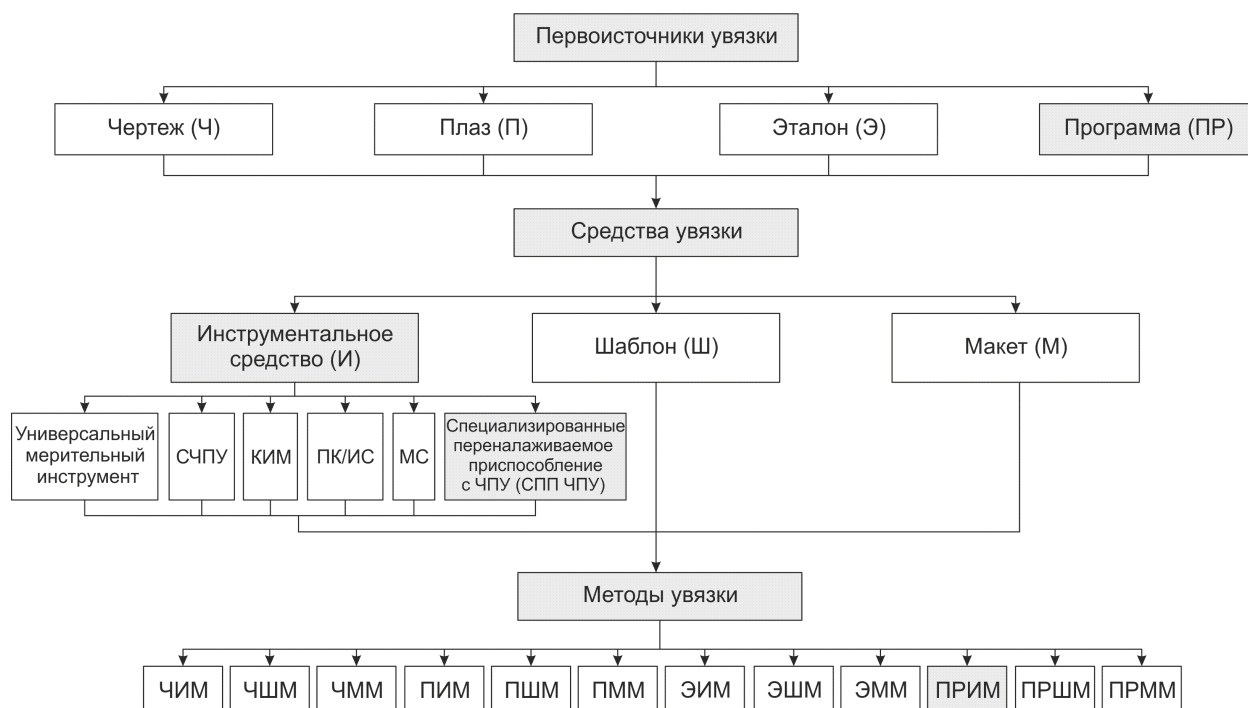


Рис. 2. Схема формирования методов увязки

Применение существующих методов сборки на роботизированных участках будет являться нецелесообразным в условиях современного развития компьютерных технологий, поэтому коллектив авторов предлагает новый метод сборки "Сборка по виртуальным базам" (рис. 3) [2, 3].

Суть метода заключается в захвате деталей роботами-манипуляторами с последующим сканированием и совмещением их в пространстве по компьютерной модели с дальнейшим их соединением (сверление, клепка, остановка болтовых соединений и т.п.) с помощью роботов.

Для осуществления данного метода необходимо:

- разработать подробную конструктивно-технологическую схему членения составных частей планера самолета, начиная с агрегатной сборки и заканчивая узловой;

- составить технологический маршрут сборки с выходом на

формализованное описание комплекса работ в их технической и логической взаимосвязи (сетевая модель);

– разработать схему укрупненной конвейерной сборки планера самолета.

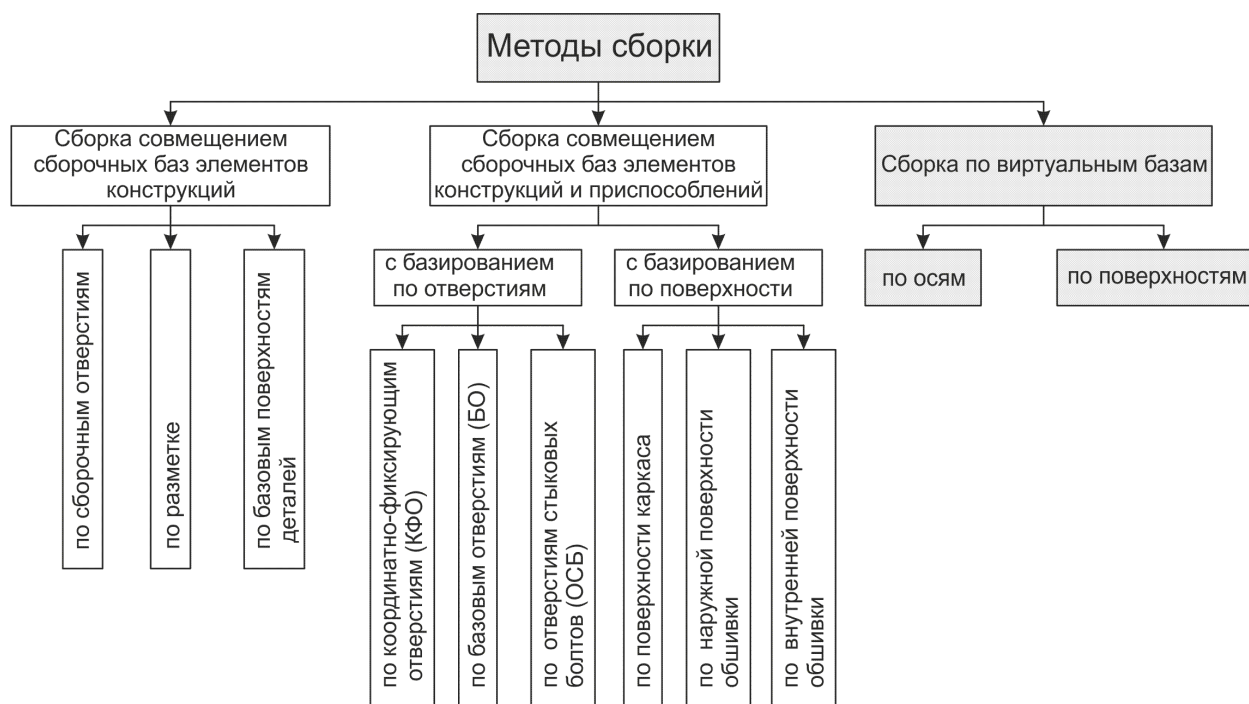


Рис. 3. Методы сборки, применяемые в самолетостроении

Конструктивно-технологическое членение планера самолета, необходимо разделить на две стадии – предварительную и окончательную. На предварительной стадии проводится членение с учетом особенностей проектирования планера самолета и выполнения конструкторских работ в специализированных бригадах, а также из условия обеспечения наилучших эксплуатационных свойств. Окончательное членение предполагает учет особенностей применения роботизированных систем при сборке.

Расчлененность конструкции планера самолета на составные части описывается схемами членения (рис. 4), которая в свою очередь может быть представлена в виде графа [4,5]:

$$G^j = (A^j, C^j),$$

где $A_i^j = (A_i^I, A_1^{II}, \dots, A_k^{II}, A_1^{III}, \dots, A_m^N)$ – множество входящих элементов конструкции.

$$A \text{ состав дуг равен } C^j \ni c_{i(j)} = \begin{cases} 1, \text{ если } A_i^j \in A_j^{j+1} \\ 0, - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$\text{или } C^j \ni c_{j(i)} = \begin{cases} 1, \text{ если } A_i^j \in A_j^{j+1} \\ 0, - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

Схема конструктивно-технологического членения самолета

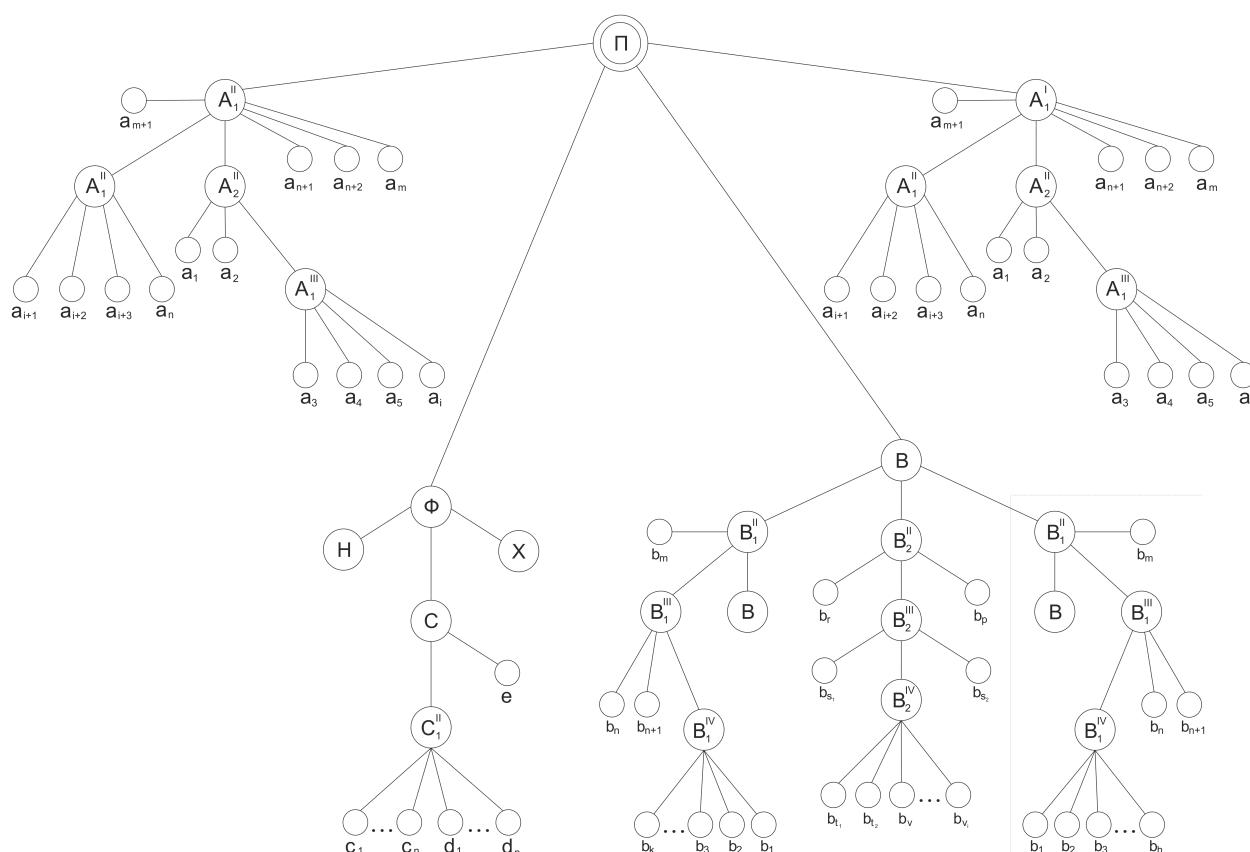


Рис. 4. Схема конструктивно-технологического членения планера самолета:

Π – планер; A_1^I – кессон; A_1^I – один из вариантов сборочной единицы; A_2 – носовая секция; A_2^{II} – отсек кессона; A_1^{III} – каркас кессона; A_1^{II} – носовой отсек; a_1, a_2 – верхняя и нижняя панели; a_3, a_4 – лонжероны; $a_5 \dots a_i$ – нервюры кессона; a_{i+1} – обшивка носка; $a_{i+2} \dots a_n$ – носики нервюр; a_{n+1}, a_{n+2} – обшивка хвостовой секции; $a_{n+3} \dots a_m$ – хвостовики нервюр; a_{m+1} – законцовка; B_1^{IV}, B_2^{IV} – каркас кессона; B_1^{III}, B_2^{III} – отсек кессона; B_1^{II} – консоль стабилизатора (левая, правая); B_2^{II} – вертикальное оперение; b_1, b_2 – лонжероны; $b_3 \dots b_k$ – нервюры; b_n, b_{n+1} – верхние и нижние панели; b_m – хвостовая часть; b_p – обтекатель; b_r – носок; b_{s1}, b_{s2} – панели; b_{t1}, b_{t2} – лонжероны; b_v, b_{vi} – нервюры; H – носовая часть фюзеляжа; C – средняя часть фюзеляжа; C_1^{II} – каркас кессона; c_i – шпангоуты; d_i – стрингеры; e – обшивка; X – хвостовая часть фюзеляжа

Соответственно граф $G^j = (A^j, C^j)$ в первом случае характеризует декомпозицию (расчленение) объекта A на входящие в него структурные элементы и композицию (агрегатирование объекта A). Взаимосвязь элементов конструкции, можно описать используя также матрицу смежности вершин графа.

Так, для графа $G = (A, C)$

$$\|c_{i(j)}\|_A = |A \times A| = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ \begin{bmatrix} c_{1(1)} & c_{1(2)} & \dots & c_{1(n)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \dots & c_{2(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n(1)} & c_{n(2)} & \dots & c_{n(n)} \end{bmatrix} & \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix} \end{matrix}$$

Конструктивно-технологические свойства изделия описываются как контуры. Состав контуров сборочной единицы A представляют как множество $F(A)$, а составы контуров ее элементов – как множества $F(a_i) \subset F(A)$. Составы контуров всех элементов можно описать с помощью матрицы контуров сборочной единицы:

$$\|c_{i(j)}\|_{A, F(A)} = |A \times F(A)| = \begin{matrix} & F_1 & F_2 & \dots & F_m \\ \begin{bmatrix} c_{1(1)} & c_{1(2)} & \dots & c_{1(m)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \dots & c_{2(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n(1)} & c_{n(2)} & \dots & c_{n(m)} \end{bmatrix} & \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix} \end{matrix}$$

Здесь $c_{i(j)} = 1$, если a_i имеет контур F_j ($F_j \in F(a_i)$). Каждый контур F_i характеризуется множеством параметров M_i , имеющих определенные числовые значения. Известно, что необходимое качество контура будет обеспечено только в том случае, если для каждого параметра $m_j \in M_i$ погрешности не выходят за пределы поля допуска. Таким образом, состояние контура F_i , может быть определено переменной:

$$F_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall m_j \in M_i (\omega_j \subseteq \Delta_j), \\ 0, & \text{если } \exists m_j \in M_i (\omega_j \setminus \Delta_j = \emptyset). \end{cases}$$

где ω_j – поле рассеяния погрешностей параметра m_j , Δ_j – поле допуска параметра m_j .

Построение подобной математической модели позволяет решить задачу оптимизации последовательности сборки с учетом ресурсных ограничений [2].

Проектирование приспособлений следует производить, ориентируясь на оптимальные схемы базирования и предусматривать их гибкость (универсальность), что требуется в связи с построением типового технологического процесса.

Выбор оптимальной формы организации технологического процесса планируется производить путем нахождения критического пути и резервов времени сетевого графика. После чего необходимо провести всесторонний анализ графика и предпринять меры по его оптимизации. При этом под оптимизацией сетевого графика понимается процесс улучшения организации комплекса работ с учетом сроков выполнения используемых ресурсов.

Анализируя совокупность всего многообразия различных параметров технологического процесса сборки, оказывающих существенное влияние на себестоимость и производительность, при условии выполнения требований по качеству изделий, автор работы [2], выделяет три основные группы факторов: 1) конструктивные; 2) технологические; 3) организационные. Таким образом, наш алгоритм оптимизации технологического процесса сборки охватывает все группы факторов и следовательно является наиболее рациональным.

Используя алгоритм оптимизации технологического процесса сборки, разработаем укрупненную схему конвейерной роботизированной сборки планера самолета (рис. 5).

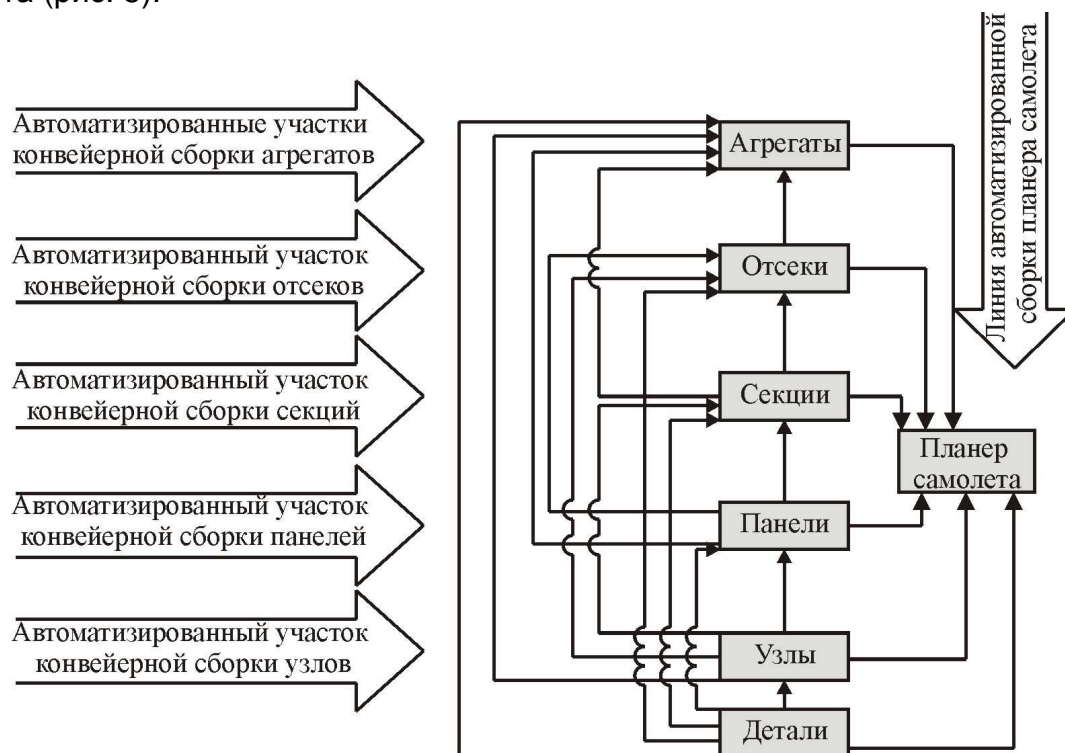


Рис. 5. Укрупненная схема конвейерной сборки планера самолета

Конвейерная сборка планера самолета представляет собой ряд автоматизированных участков конвейерной сборки узлов, панелей, секций, отсеков, агрегатов, а также линию окончательной сборки, при этом участие человека в процессе сборки минимизировано.

Конвейерная сборка позволяет одновременно изготавливать различные конфигурации планеров самолетов, при этом не прерывается процесс сборки и не проводятся переналаживающие работы.

Автоматизированные участки сборки состоят из роботов-манипуляторов для подачи деталей в зону сборки, роботов для фиксирования деталей, специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ, сверлильно-клепального автомата, а также координатно-измерительной машины (сканера поверхностей деталей) для определения месторасположения деталей в пространстве.

Выводы

В результате проведенного анализа развития современной авиационной науки и техники установлено, что применение на сборочных операциях роботизированных систем, является перспективным направлением оптимизации технологических процессов сборки.

Предложен новый метод сборки "Сборка по виртуальным базам", который дает возможность реализовать автоматизированную конвейерную сборку планера самолета с помощью специализированных переналаживаемых приспособлений с ЧПУ.

Разработана подробная конструктивно-технологическая схема членения составных частей планера, начиная с агрегатной сборки и заканчивая узловой и составлен технологический маршрут сборки с выходом на формализованное описание комплекса работ в их технической и логической взаимосвязи (сетевая модель).

Используя алгоритм оптимизации технологического процесса сборки, разработана укрупненная схема конвейерной роботизированной сборки планера самолета.

В дальнейших работах необходимо:

- разработать программное обеспечение для метода виртуальных баз и сборки планера самолета в специализированных переналаживаемых приспособлениях с ЧПУ;
- разработать компоновку цеха реализующего укрупненную схему конвейерной сборки планера самолета;
- определить экономическую эффективность внедрения автоматизированной конвейерной сборки в авиационное производство.

Список литературы

1. Воронько, В.В. Основные направления и тенденции развития зарубежных технологий сборки авиационных конструкций [Текст] / В.В. Воронько // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 45. – Х., 2010. – С. 87 – 98.
2. Технология производства самолетов и вертолетов : учеб. пособие по курсовому и диплом. проектированию: в 2 ч. Сборочно-монтажные работы / В.С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин, Ю. А. Воробьев. – Х. : Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2006. – 258 с.
3. Робототехнические системы в сборочном производстве / под. ред. Е.В. Пашкова – К.: Вица шк. Головное изд-во, 1987. – 272 с.
4. Конструкция самолетов и вертолетов : учеб. / В. С. Кривцов, Л. А. Малашенко, В. Л. Малашенко, С. В. Трубаев. – Х. : ХАИ, 2010. – 366 с.
5. Бабушкин, А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А.И. Бабушкин. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Ф.В. Новиков ,
Харьковский национальный экономический университет, Харьков

Поступила в редакцию 20.06.12.

Метод автоматизованої конвеєрної збірки планера літака

Запропоновано новий метод віртуальних баз, що дозволяє проводити автоматизовану конвеєрну збірку планерів літака з використанням спеціалізованих переналаджувальних пристосувань з ЧПК і робототехнічних систем; розроблено детальну конструктивно-технологічну схему членування складових частин планера літака; складено технологічний маршрут збірки з виходом на формалізований опис комплексу робіт в їх технічному і логічному взаємозв'язку (мережена модель); розроблено схему укрупненого конвеєрного складання планера літака з використанням роботизованих систем з метою скорочення тривалості підготовки виробництва.

Ключові слова: планер літака, складальні операції, роботизовані системи, метод віртуальних баз, конвеєрна збірка.

Method of automated line assembly of aircraft glider

New method of virtual bases is suggested, which allows to carry out automated line assembly of aircraft gliders using the specialized readjusted NC devices and robot systems; detailed design and technological scheme of segmentation of the components of aircraft glider is developed; assembly manufacturing plan with the output on the formalized description of the work package in their technical and logical interconnection (network model) is developed; the scheme of aggregated line assembly of the aircraft glider using the robot systems is developed in order to cut the turnaround time.

Keywords: aircraft glider, assembly operations, robot systems, method of virtual bases, line assembly.