

## **Основные направления и тенденции развития зарубежных технологий сборки авиационных конструкций**

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

Проанализированы современный период развития авиационной техники, а также тенденции развития технологий сборочно-монтажных работ. Объектами исследования были гибкие портативные системы позиционирования рабочих органов технологических систем, переналаживаемая сборочная оснастка, гибкие гибридные роботы и электрические исполнительные органы систем постановки крепежных элементов.

**Ключевые слова:** базирование, закрепление (фиксация), образование соединений, гибкая рельса, сборочная оснастка.

### **Постановка проблемы, анализ проведенных исследований, цель работы**

Современный период развития авиационной техники характеризуется значительным ускорением темпов принципиальных изменений и усовершенствований конструкции летательных аппаратов (ЛА).

В настоящее время самолеты проектируют с учетом высоких требований надежности, безопасности, чрезвычайно жестких условий эксплуатации, повышенного ресурса, комфорта.

Интегрированное качество ЛА, определяемое параметрами летно-эксплуатационных, ресурсных и экономических показателей, во многом зависит от технологии и организации изготовления деталей и сборки ЛА. Одним из главных элементов производственного процесса изготовления ЛА следует считать сборочное производство. Сборочно-монтажные работы (СМР) характеризуются постоянно возрастающей сложностью работ, сравнительно невысоким уровнем механизации технологических операций, высокими трудозатратами, низким уровнем производительности и, как следствие, большой трудоемкостью и себестоимостью продукции.

Механизации и автоматизации подвержены только те операции и переходы сборочно-монтажного процесса, которые носят массовый характер: сверление и разделка отверстий; постановка крепежных элементов (клепка заклепок, установка болтозаклепок, свинчивание болтов, винтов, гаек); операции сварки, склейки (например, сотовых конструкций), запрессовки, развальцовки и т.д.

Следовательно, вопросы совершенствования технологии СМР в самолетостроении являются чрезвычайно актуальными, так как они в конечном итоге определяют эффективность всего технологического цикла производства ЛА.

### **Тенденции развития технологий СМР**

Развитию и совершенствованию подвергаются все операции технологического процесса сборки: базирование, закрепление (фиксация) в заданном положении, образование соединений.

К основным тенденциям развития технологий СМР можно отнести следующие [1-7]:

1. Переход на гибкие портативные системы позиционирования рабочих органов технологических систем.
2. Использование переналаживаемой сборочной оснастки взамен специальной.
3. Применение гибких гибридных роботов.

4. Переход на электрические исполнительные органы систем постановки крепежных элементов (КЭ).

Рассмотрим более подробно каждую из основных тенденций.

### Гибкие портативные системы позиционирования

Гибкая портативная рельсовая система позиционирования Flex Track (Mini Flex Track), разработанная компанией Boeing, основана на гибкой вакуумно-рельсовой технологии [1].

Система состоит из вакуумных рельсов различной длины; двухкоординатной каретки с числовым программным управлением (ЧПУ); дополнительных рельсов, перпендикулярных к вакуумным рельсам; рабочего органа, который предназначен для выполнения различных функций (рис. 1). Процесс сверления отверстий поперечного стыка отсеков фюзеляжа с использованием системы Flex Mini Track показан на рис. 2.



Рис. 1. Комплект системы Flex Mini Track



Рис. 2. Гибкий рельс (слева) и прототип Flex Mini Track (справа)

Модульная конструкция и использование быстросъемных элементов данной системы обеспечивают гибкость процесса выполнения технологических операций сборки.

Примеры использования различных рабочих органов показаны на рис. 3.



а



б



в



г

Рис. 3. Примеры использования рабочих органов:

а – кондуктор для сверления; б – вакуумный кондуктор для сверления; в – сверлильная головка с системой отсоса стружки; г – струбцинный рабочий орган для сверления отверстий вокруг лючка

Ось X системы материализуется за счет гибкого рельса с вакуумными присосками, присоединяемого непосредственно к сборочной единице (СЕ) параллельно крепежному шву. Позиционирующая каретка ездит вдоль оси X и позиционирует другой перпендикулярный рельс. Рельс по оси Y имеет сходную конструкцию. В зависимости от контура детали она может быть плоской или изогнутой. На рельсе по оси Y установлен быстросъемный интерфейс, который допускает применение различных рабочих органов. На концах рельсов установлены ограничители, которые предотвращают возможный съезд с рельсов каретки и рабочего органа.

Каретка состоит из базисной плиты, на которой установлены моторные установки и другие компоненты. Моторные установки по оси X и Y сходны по конструкции и состоят из серводвигателей, присоединенных через планетарные редукторы к ведущей шестерне.

Электронная часть системы состоит из многокоординатного контроллера, микропроцессора для управления пользовательским интерфейсом и системы ввода/вывода с подвесным пультом для взаимодействия с оператором.

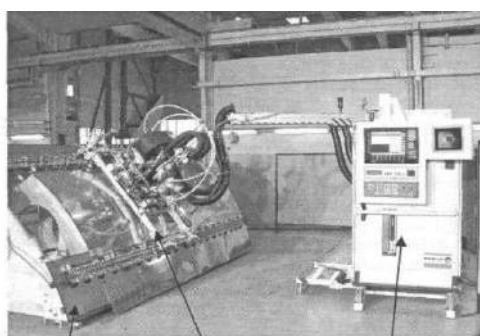
Другой разновидностью портативных систем является универсальная стыковая машина (рис. 4) [2], позволяющая осуществлять сверление и постановку крепежа в зонах, в которых традиционно данные операции выполнялись вручную.

Универсальная стыковая машина является гибкой и экономически эффективной. Она занимает малую часть производственной площади и может применяться для различных практических целей.

Стыковая машина состоит из позиционера, перемещающегося по рельсам в направлении оси X и Y, мультифункционального рабочего органа и управляющей стойки.

Рельсы в направлении оси X разделены на небольшие сегменты, которые могут быть с легкостью установлены и сняты с агрегата самолета. Рельсы базируются на поверхности обшивки по отверстиям в обшивке, что обеспечивает требуемую точность позиционирования, а фиксируют с помощью вакуумных присосок.

Повозка, обеспечивающая перемещение по оси X, является автономным модулем и может быть использована отдельно (рис. 5). Расстояние между верхним и нижним рельсами может быть выставлено путем установки повозки и прокатки ее по всей длине рельсов.



рельсы по оси X на вакуумных присосках  
позиционер с мультифункциональным рабочим органом  
управляющая стойка

Рис. 4. Общий вид универсальной стыковой машины

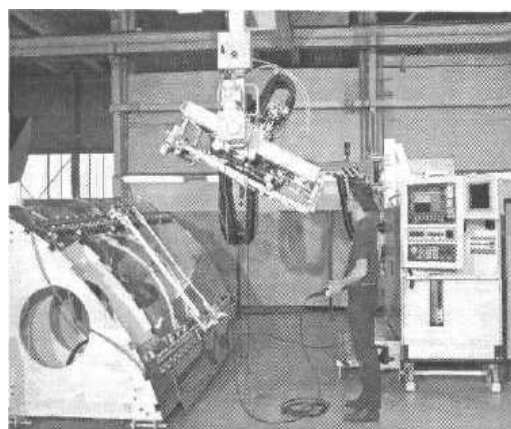


Рис. 5. Установленные рельсы с повозкой

Мультифункциональный рабочий орган представляет собой четырехосевой модуль, который способен осуществлять точное позиционирование, сверление, удаление стружки и постановку крепежного элемента.

Управляющая стойка компактная и передвижная, что позволяет использовать ее в различных местах. Все компоненты машины могут быть сложены в управляющую стойку для удобства транспортирования.

Еще одним примером использования гибких портативных систем для СМР может служить ручной переносной инструмент для обрезки припуска деталей, изготовленных из ПКМ (рис. 6) [3].

Данное оборудование характеризуется компактностью, малой массой и высоким качеством обработки поверхностей.

Для предварительной обработки используют абразивный, а для окончательной – поликристаллический алмазный (ПКА) режущий инструмент.

Обработку проводят по шаблону, установленному на съемную плиту (рис. 7).

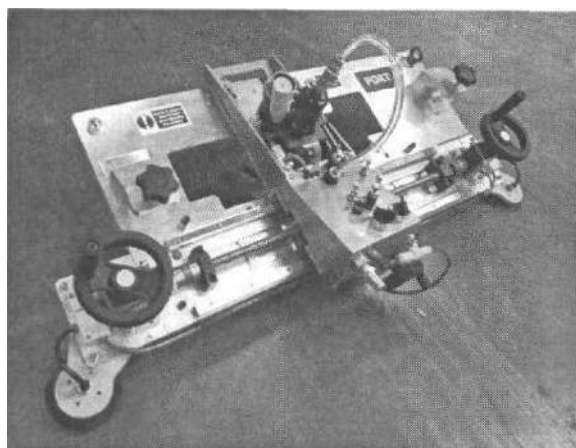


Рис. 6. Общий вид ручного переносного инструмента для обрезки припуска



Рис. 7. Шаблон профиля, установленный на съемной плите

### Гибкая (переналаживаемая) сборочная оснастка

Сборочная оснастка, используемая в самолетостроении, ввиду особенностей объекта производства предназначена, как правило, для сборки одной СЕ (специальные). Одним из направлений совершенствования технологии сборки, работ по ТПП является создание специализированной сборочной оснастки – гибких (переналаживаемых) приспособлений. На рис. 8 изображен график, характеризующий связь специальных (слева) и переналаживаемых (справа) сборочных приспособлений (СП) [4].

В настоящее время проблемным является то, что при продвижении влево по горизонтальной оси в направлении специальных приспособлений трудоемкость изготовления и величина капиталовложений возрастают при каждой новой продукции. При продвижении вправо по горизонтальной оси в сторону переналаживаемых приспособлений видно, что приспособления в этом случае являются комплексными и, значит, дорогими.

Современные СП расположены близко к каждому из предельных значений.

На рис. 9 показаны факторы, затрудняющие применение в настоящее время переналаживаемых приспособлений: большая частота переналадок и малое время, потребное на переналадку.

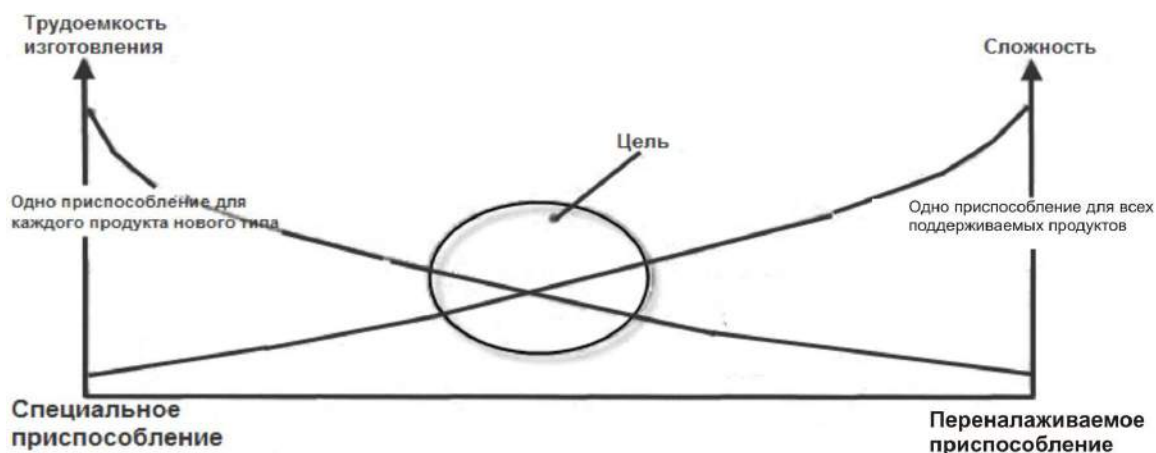


Рис. 8. График сравнения специальных и перенастраиваемых СП



Рис. 9. Период и частота переналадки СП

Модульные СП состоят из стандартизованных составных частей, которые могут быть использованы повторно и обеспечивают легкое перезакрепление с помощью болтов и фиксаторов. Однако такие приспособления не обладают свойством перенастраиваемости.

Конструкция рассматриваемого СП основана на пазовых шарнирах. Крепление осуществляют болтами. Под действием трения между элементами пазовых шарниров гарантируется надежное крепление балок. Принцип построения данной конструкции показан на рис. 10.

Каждый фиксатор в данном приспособлении гибкий по всем шести степеням свободы. Все компоненты модульные, что в первую очередь позволяет повторно использовать их.

В конструкции возможно применение модуля под названием «Нехарод» (рис. 11). Данный модуль состоит из верхней и нижней (базовой) плит. Верхняя плита может перемещаться относительно нижней по всем шести степеням свободы. Это обусловлено соединением верхней плиты с базовой плитой с помощью шести ног.



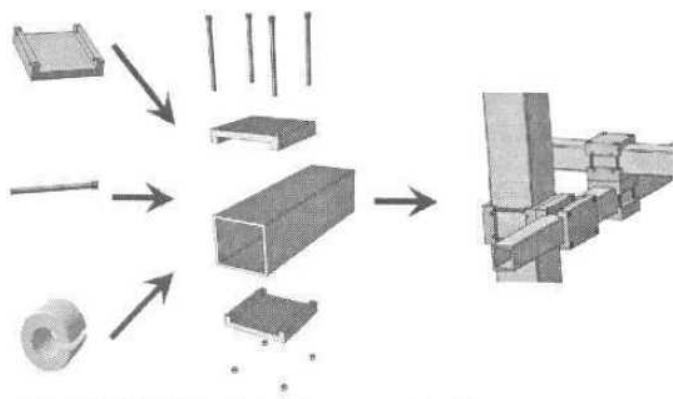


Рис. 10. Конструкция СП, основанная на пазовых шарнирах

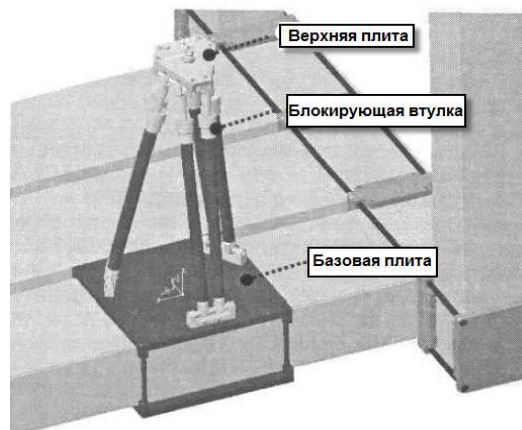


Рис. 11. Общий вид модуля «Нехарод»

Длина ног меняется, тем самым перемещая верхнюю плиту в нужное положение. При этом положение верхней плиты определяется положением всех шести ног. Базовую плиту крепят также с помощью пазовых шарниров, что позволяет без проблем перемещать «Нехарод» вдоль балки.

Рассматриваемое приспособление располагают примерно между модульными и перенастраиваемыми приспособлениями. Данное приспособление является перенастраиваемым и может использоваться в тех же целях, что и специальное и модульное.

По сравнению с модульным СП данная конструкция имеет меньшую стоимость.

Для проектирования подобных приспособлений обычно применяют систему CATIA/DELMIA (рис. 12, 13).

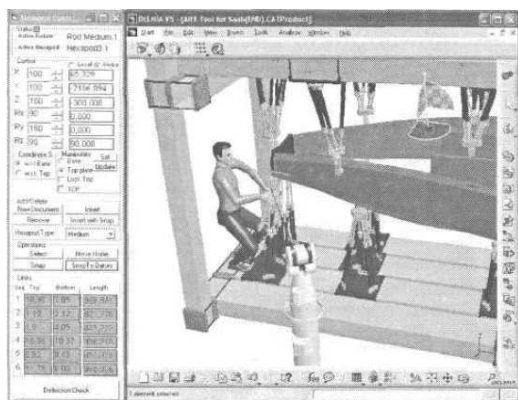


Рис. 12. Проектирование приспособления

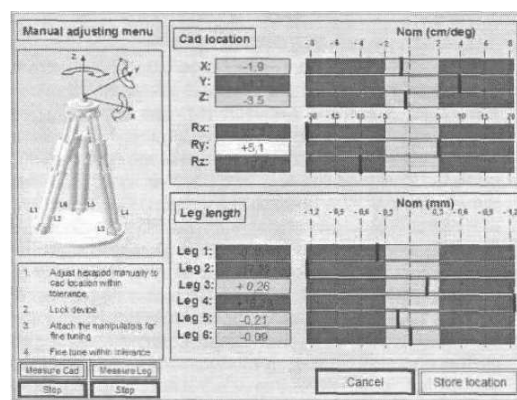


Рис. 13. Интерфейс оператора при управлении модулем «Нехарод»

Примером использования рассматриваемой конструкции СП является разработанный компанией PKMTRICEPT SL трехопорный параллельно-кинематический механизм T9000, который имеет шесть степеней свободы (рис. 14). Три степени обеспечиваются трехопорной конструкцией, еще три – запястным шарниром [5].

На рис. 15 изображены основные характеристики серийных кинематических механизмов (станков и роботов) и параллельно-кинематических механизмов (гибридных параллельных механизмов, основанных на трехопорном параллельно-кинематическом механизме).



Рис.14. Общий вид трехопорного ПКМ Т9000

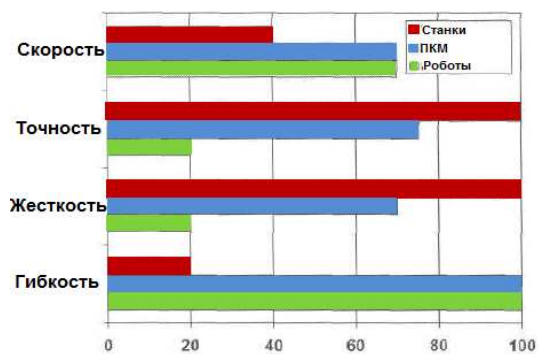


Рис. 15. Основные отличия между роботами, станками и ПКМ

На рис. 16-21 показаны примеры применения трехопорных параллельно-кинематических механизмов.

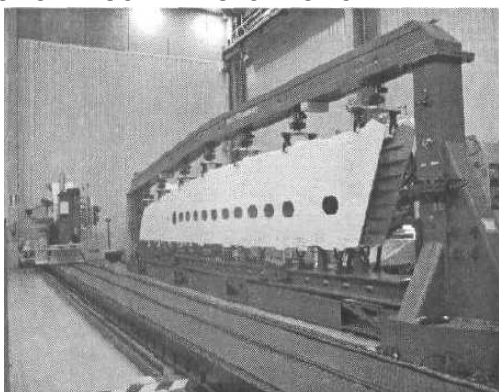


Рис. 16. Сверление и зенкование руля высоты самолета А340

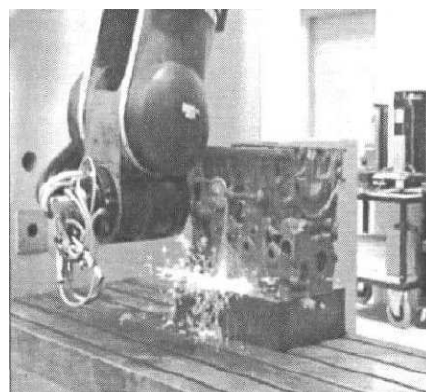


Рис. 17. Снятие заусенцев на металлической корпусной детали

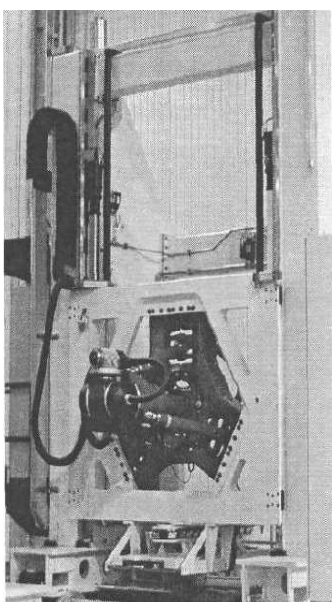


Рис. 18. Сверление и зенкование композита

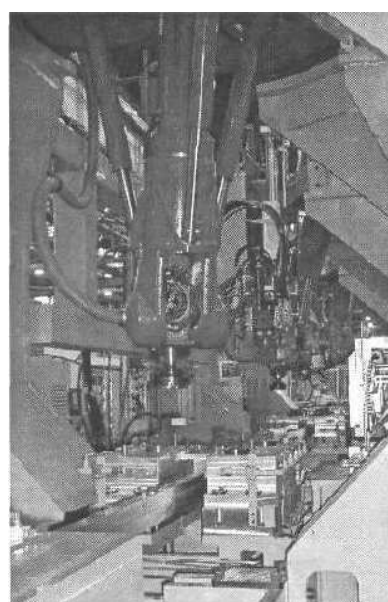


Рис. 19. Сверление алюминиевых блоков



Рис. 20. Обработка сэндвичпанелей

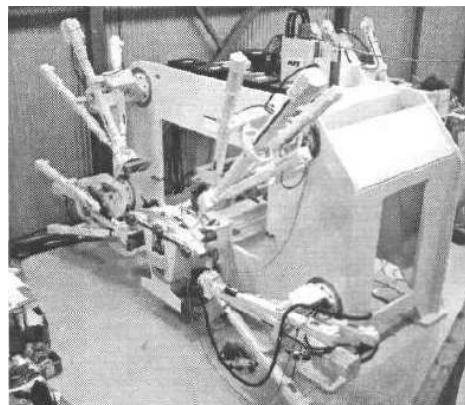


Рис. 21. Обработка бампера

Точность позиционирования, достигаемая на ПКМ типа Т9000, составляет  $\pm 30$  мкм, система обладает достаточной жесткостью и большими размерами рабочей зоны по сравнению с предыдущими моделями ПКМ.

### Гибкие гибридные роботы (Snake-Arm Robots)

Основная идея заключается в создании гибридного робота, который способен заменить сборщика при выполнении СМР в стесненных условиях и местах с ограниченным подходом (например, в кессоне крыла) [6]. При этом вводится рука в полость кессона через имеющиеся в конструкции отверстия. Общий вид данного робота изображен на рис. 22.

Snake-Arm Robot – это робот с большим количеством независимо контролируемых степеней свободы. В основу данной разработки положено большое количество гибких «сегментов», которые могут независимо управляться путем приложения момента к концу каждого сегмента. Это осуществляется тремя тягами, расположенными под углом  $120^\circ$  друг к другу внутри каждого сегмента. Тяги прикреплены к концам сегментов. Контролем длин тяг достигается изгиб сегмента (рис. 23). Каждый сегмент имеет две степени свободы – кривизну и плоскость изгиба.



Рис. 22. Общий вид робота со змеевидной рукой (Snake-Arm)

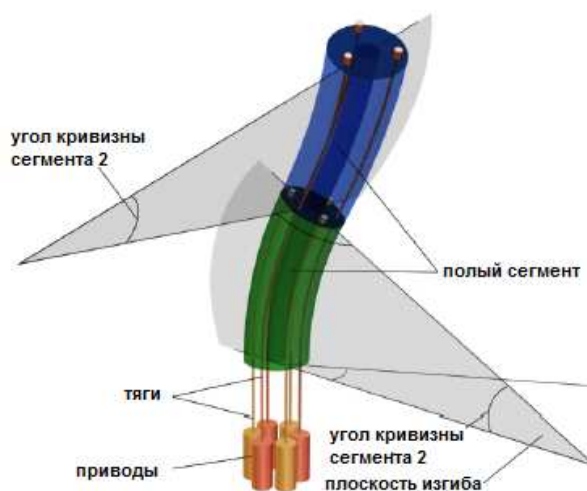


Рис. 23. Принцип управления с помощью тяг

Жесткость цилиндрического сегмента может быть выбрана в зависимости от рассматриваемой задачи. Конструкция сегментов напрямую влияет на характе-



ристики руки. Длина каждой тяги регулируется индивидуальным двигателем. Эти двигатели сгруппированы вместе и расположены в основании руки, в блоке приводов.

Пример применения данного робота при выполнении заданий в кессоне крыла показан на рис. 24.

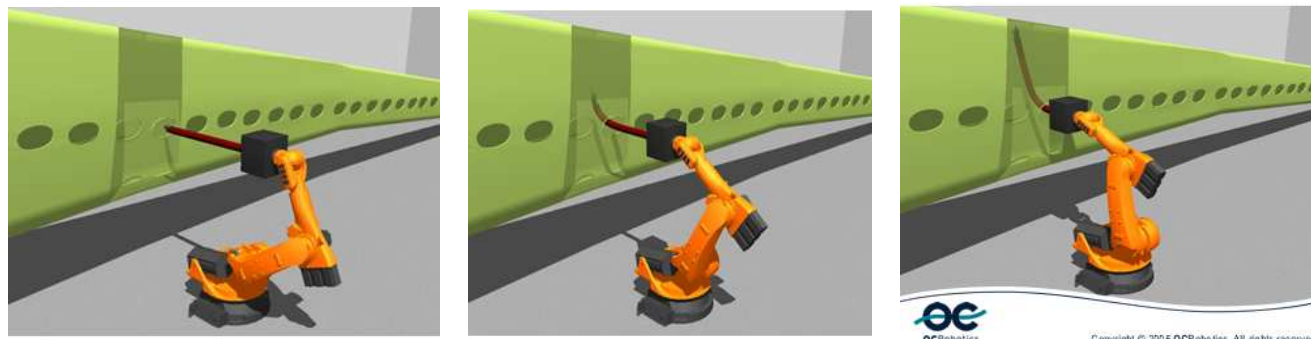


Рис. 24. Выполнение операций в кессоне крыла

Диаметр рабочего органа должен быть меньше диаметра руки или равен ему. Длина рабочего органа также должна быть минимальной, оптимальной является длина не более 1,5 диаметра руки.

На данной роботе могут применяться следующие рабочие органы:

1. Контролирующий рабочий орган (рис. 25), который содержит несколько камер с различными функциями для того, чтобы обеспечить адекватный контроль всех зон кессона крыла, и фонари для обеспечения необходимой яркости освещения.

2. Рабочий орган (например, клепальный) (рис. 26). Осаживание заклепки влечет за собой высокие усилия, которые могут воздействовать на конструкцию робота. На данном рабочем органе также установлены камеры и фонарики.

3. Герметизирующий рабочий орган (рис. 27). Данный инструмент включает в себя картридж стандартного размера с герметиком и носиком, камеры для автоматической ориентации по шву.



Рис. 25. Контролирующий рабочий орган

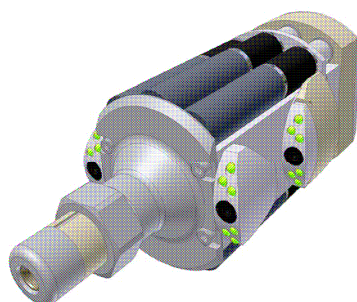


Рис. 26. Клепальный рабочий орган

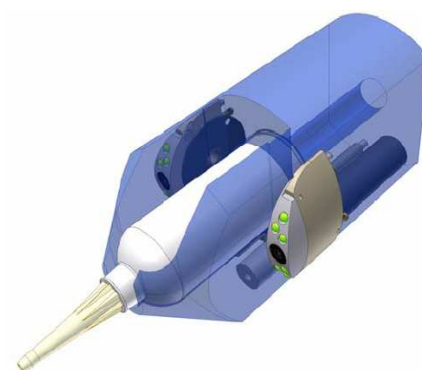


Рис. 27. Герметизирующий инструмент

Данный робот может управляться автоматически, полуавтоматически, вручную, визуалью с сервоуправлением.

### Использование полностью электрических систем выполнения соединений

Широкое применение новых материалов в аэрокосмической промышленности вынуждает оптимизировать сверлильное и клепальное оборудование. Основные принципы, положенные в основу разработки полностью электрических систем выполнения соединений, включают в себя: автоматическое позиционирование; нормализацию (коррекцию рабочего положения); сверление; герметизацию; вставку крепежного элемента (КЭ) и клепку.

В отличие от гидравлических систем данные системы обладают следующими преимуществами:

- отсутствие утечки рабочих жидкостей;
- меньшие габаритные размеры;
- возможность сверления многослойных пакетов (ПКМ/Ti/Al);
- гибкий модульный расширяемый дизайн;
- улучшенная ремонтпригодность;
- высокая скорость постановки крепежа (до 17 КЭ/мин);
- меньшая стоимость.

Классификация подобного оборудования показана на рис. 28 [7].

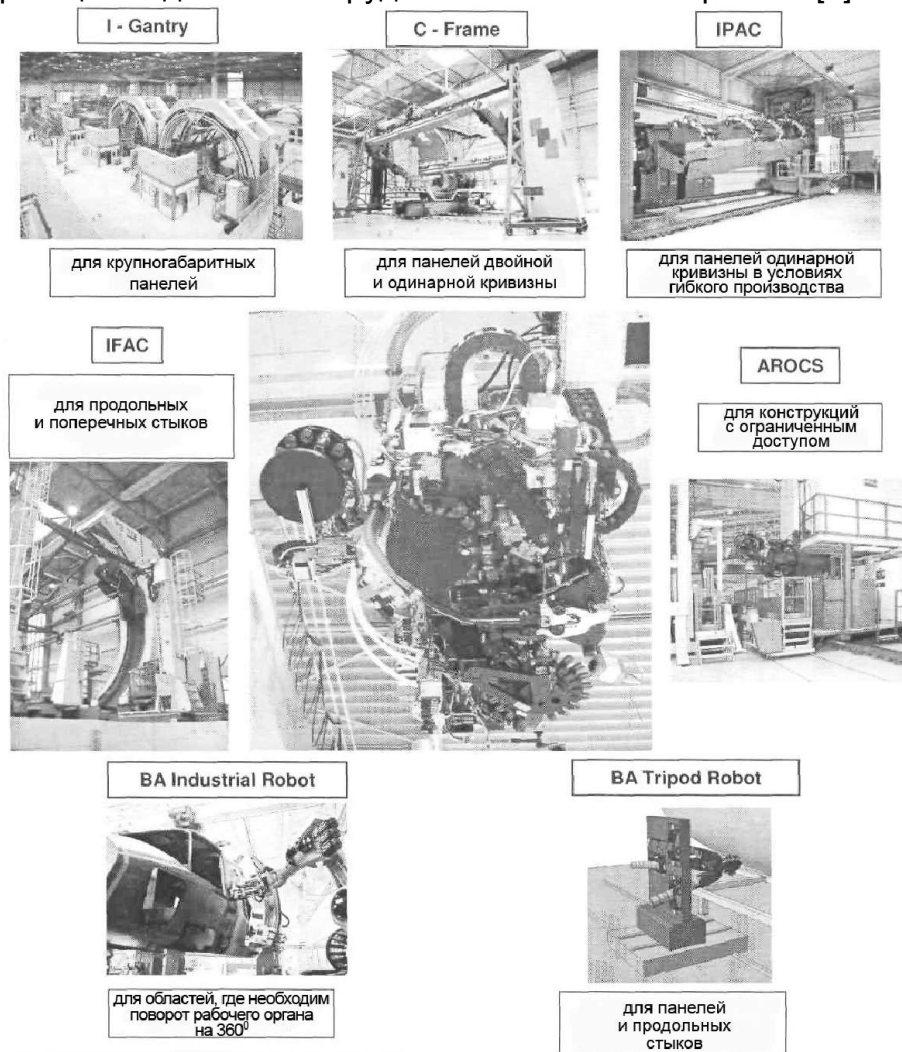


Рис. 28. Классификация оборудования, использующего полностью электрические системы

## Выводы

1. Анализ тенденций развития зарубежных технологий СМР показал, что применение новых технологий и оборудования влечет за собой уменьшение трудоемкости и увеличение точности сборки, а также дает возможность выполнения работ в труднодоступных местах.

2. Требуется провести исследования для оценки возможности и экономической целесообразности применения данного оборудования для сборки авиационных конструкций отечественных образцов авиационной техники.

## Список литературы

1. Reid Eric. Development of Portable and Flexible Track Positioning System for Aircraft Manufacturing Processes / Eric Reid // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 11-16.

2. Heithus Jorg. Universal Splice Machine / Jorg Heithus and Patrick Wishall // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 17-20.

3. Richards Barry. Lug Cutting and Trimming of the Carbon Fibre Wing Panels of the Airbus A400 m with Portable Hand Positioned Tools / Barry Richards, Kenny Howard and Stephen Williams // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 25-28.

4. Kihlman Henrik. Flexible Fixtures with Low Cost and Short Lead-Times / Henrik Kihlman and Magnus Engstrom // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 29-36.

5. Olazagoitia Jose Luis. New PKM Tricept T9000 and its Application to Flexible Manufacturing at Aerospace Industry / Jose Luis Olazagoitia and Scoott Wyatt // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 37-48.

6. Buckingham Rob. Snake-Arm Robots: A New Approach to Aircraft Assembly / Benoit Marguet, Vilas Chitrakaran, Rosalind Conkle, Geoff Ferguson, Andrew Graham, Alex Lazell, Mariusz Lichon, Nick Parry, Fred Pollard, Amir Kayani, Mike Redman, Mark Summers and Brett Green // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 71-76.

7. Dillhoeler Thorsen. All Electric System (AEFS) / Thorsen Dillhoeler and Brian O'Rourke // Automated Fastening / Assembly & Tooling in Aerospace. – SAE International, 2007. – P. 1-10.

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

Поступила в редакцию 23.03.10

## **Основні напрямки та тенденції розвитку зарубіжних технологій збирання авіаційних конструкцій**

Проаналізовано сучасний період розвитку авіаційної техніки, а також тенденції розвитку технологій складально-монтажних робіт. Об'єктами дослідження були гнучкі портативні системи позиціонування робочих органів технологічних систем, переналагоджуване складальне оснащення, гнучкі гібридні роботи і електричні виконавчі органи систем установавання кріпильних елементів

**Ключові слова:** базування, закріплення (фіксація), утворення з'єднань, гнучка рейка, складальне оснащення

## **Principal directions and tendencies of development of foreign technologies aircraft assembly structures**

The modern period of development of aviation technique, and also progress trend of technologies of assembling-assembling works is analysed in the article. The flexible portable systems of positioning of working organs of the technological systems, perenalagivaemaya assembling rigging, flexible hybrid robots and electric executive branches of the systems of raising of timber elements were research objects.

**Keywords:** Basing, fixing (fixing), formation of connections, flexible rail, frame-clamping rigging