

УДК 541.6(031)

Громашев А.Г., Тарасов Ю.М.

Закрытое акционерное общество "Гражданские самолеты Сухого". РФ, Москва

## КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Анотація

*Наведено рішення проблем пов'язання в єдину послідовність подій та дій щодо рішення проектних, конструкторських, технологічних і виробничих задач на прикладі сфери розробки виробів із композитних полімерних матеріалів. Рішення базується на наскрізних автоматизованих проектно-технологічних системах, що зв'язують в рамках життєвого циклу виробу проектні і виробничі потужності підприємства.*

### Abstract

*Working out problems of linking up in the single sequence of events and actions is presented in decision of, designers, technological and productions tasks of projects on the example of sphere of development of products from composite polymeric materials. The decision is based on the through automated project-technological systems, linking the capacities of projects and productions of enterprise within the framework of life cycle of good.*

Сегодняшнее производство в аэрокосмической и оборонной промышленности столкнулось лицом к лицу с проблемами создания более сложных, высокотехнологичных и наукоемких продуктов, использующих новые материалы, технологии и процессы. Решения этих проблем должны полагаться на широко разветвленную коммуникационную цепочку взаимодействия и сотрудничества, для того чтобы должным образом готовить достойные ответы все более увеличивающимся требованиям к качеству конечного продукта при усложнении его компонентов и сокращении конечной стоимости.

Мировые аэрокосмические лидеры признают, что ключом к ответам на эти вызовы является специализированная инженерная окружающая обстановка, которая дополнена существующими CAD (Computer Aid Design) и PLM (Product Lifecycle Manufacturing) программными продуктами (рис. 1). Эти программные продукты и связанное с ними по производственному циклу соответствующее технологическое оборудование призваны обеспечивать инженеров:

- более прогрессивной и результативной окружающей обстановкой, основанной на цифровом описании продукта и процессов его производства;

- улучшенным доступом к обратной связи, ресурсам и приложениям внутри CAD систем, дающим возможность производить более качественную разработку продукта и его технологическую проработку;

- улучшить взаимодействие между партнерами.

В свою очередь это открывает пути к:

- снижению затрат на развитие производства и конечной стоимости единицы продукта;

- более комплексному цифровому определению продукта, что во всех отношениях может увеличить предприимчивость;

- лучшей координации между подразделениями через сплошную глобальную цепочку поддержки и взаимодействия.

Современные полимерные композиционные материалы представляют исключительную возможность для производства наиболее эффективных в весовом отношении конструкций самолетов, которые являются наиболее прочными, инновационными, топливосберегающими, коррозионностойкими, и более легкими в обслуживании, чем подобные металлические структуры. Композиты начали широко применяться в производстве коммерческих авиалайнеров, военных самолетов, вертолетов и региональных самолетов из-за их предпочтительной весовой эффективности, технологичности и производственной гибкости, их прочностных характеристик. Тем не менее, реальный потенциал композитов до конца не реализован, так как инженеры при создании сложных композитных конструкций сталкиваются с критическими рисками при проектировании и производстве — такими, как например, ошибки моделирования, высокая стоимость производства и увеличение производственного цикла.

Производители агрегатов авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов в настоящее время уделяют большое внимание созданию и использованию в своей проектно-конструкторской работе специализированных программных САМ (Computer Aid Manufacturing) пакетов, позволяющих пользователям в автоматизированном режиме получать достоверную информацию о возможности изготовления спроектированной конструкции. Обеспечение разработки в заданное время и с требуемой точностью с целью достижения стоимостной эффективности

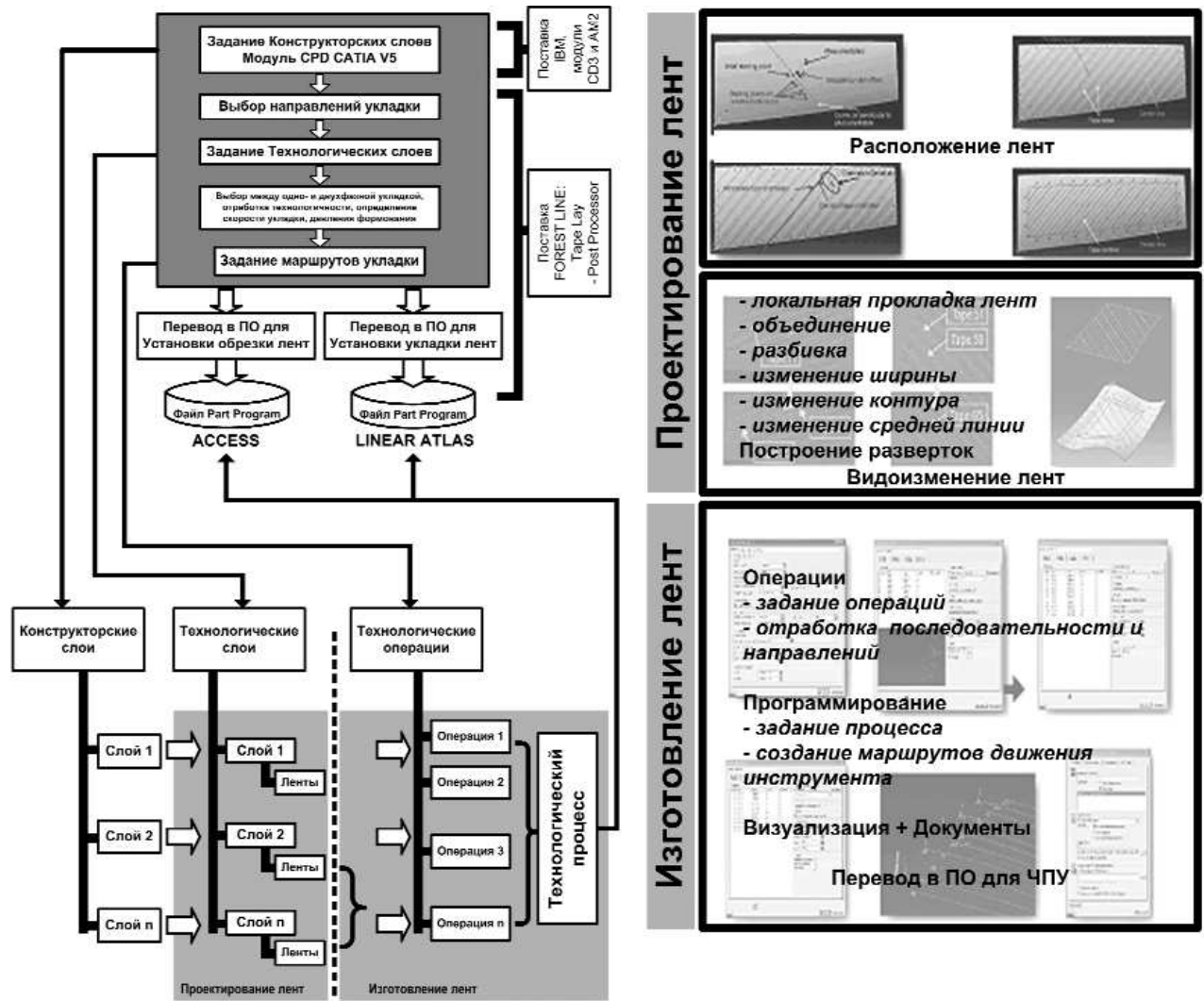


Рис. 1. Схема функциональности специализированных программных САМ пакетов

проектирования и изготовления наиболее сложных комплексных композитных конструкций является главной задачей, которая решается при использовании подобных программных пакетов. Эти пакеты, объединяющие в себе глобальные решения по проектированию и производству конструкций из композиционных однонаправленных и тканевых материалов одинарной и двойной кривизны, глубоко интегрированы с современными САД-системами CATIA V5®, UG, Pro/ENGINEER. К таким программным пакетам могут быть отнесены, например, Tape Lay OVERVIEW в CATIA V5®, пакет ACCESS / ATLAS Tape Laying Systems компании FOREST LINE или пакет FiberSIM® компании VISTAGY Inc. Эти программные пакеты работают вне САД для создания специализированного окружения, которое разрешит "тебе работать так, как ты думаешь". Такой комплексный подход к созданию конструкций из слоистых композиционных материалов дает возможность при использовании указанного пакета генериро-

вать траектории укладки слоев в композитной конструкции и обеспечить качество контроля получаемой конструкции.

Обе составляющие (система проектирования слоистой композитной конструкции и система проектирования технологии выкладки слоев и образования самой конструкции) дают проектировщику новый мощный инструмент для создания слоистой композитной конструкции, анализа производственных возможностей выкладки этой конструкции и разработки собственно технологического процесса выкладки и изготовления конструкции.

Эффективность функций, предлагаемых подобными проектно-технологическими пакетами, дает пользователю возможность использовать преимущества CATIA V5 по созданию геометрии композитной слоистой конструкции, обеспечивая при этом в САД системе полную визуализацию процесса выкладки и, в конечном итоге, обеспечивая уменьшение времени программирования выкладочной машины.

Существующие программные пакеты разработки композитных конструкций приобретают мировую значимость в индустрии композитов. Как правило, это комплекс инструментов программного обеспечения, интегрированных в основные коммерческие системы программного обеспечения 3D CAD, которые сокращают стоимость и время, требуемое на создание композиционных деталей, автоматизируя многие предварительные задачи проектирования при взаимопроникновении и взаимовлиянии многочисленных методологий проектирования и процессов производства. Указанные специализированные средства разработки поддерживают все аспекты проектирования композитной конструкции, начиная от определения материала для слоев конструкции, анализа возможности производства и разработки (формирование) гравюры будущей конструкции до разработки плана производства, связанного с конкретным производственным участком. Специализированные программные пакеты дают возможность разработчикам композитных конструкций:

- получить не геометрические данные композита и связывать их геометрией в 3D CAD модели для определения полного цифрового макета продукта;
- получить обратную связь конкретной ревизии готового продукта и ранее проведенных на ней изменениях с целью минимизации стоимости;
- дать оценку производственным возможностям и сформировать документацию и данные для анализа производства;
- автоматизировать процессы производства, специфические для индустрии композиционных материалов;
- сократить цикл производства и время от начала до выхода на рынок.

Установка функций системы проектирования и изготовления слоистой конструкции включает выбор потребной ширины ленты, направление укладки слоев, одно- или двух фазный процесс укладки, также как показывает путь укладки.

Проектировщик имеет возможность симулировать и сравнивать несколько стратегий укладки для того, чтобы оценить эффективность каждой из них, такие как:

- укладка ленты вдоль геодезических линий;
- укладка ленты параллельно одной из кромок или кромкам.

Зачастую подобные пакеты имеют широкий спектр дополнительных функций. Наиболее важными и значимыми являются функции программирования путей для различных устройств лентоукладочных машин, таких как:

- ультразвуковая обрезка;
- лазерный контроль контура детали.

Процесс создания композитных интегральных конструкций (рис. 2) включает в себя целый



Рис. 2. Композитная интегральная конструкция

комплекс конструкторско-технологических и производственных работ, моделирование которых и прогнозирование затрат на них целесообразно выполнять с помощью упомянутых программных продуктов. Программные пакеты и их специальные приложения поддерживают каждый шаг процесса создания конструкции из композиционных материалов и включают:

- создание методологий специфической укладки и направления слоев, проектирование слоев основы, силовых зон или силовых жгутов для обеспечения наилучших условий работы конструкции;
- автоматическое создание послойной геометрии посредством определения направления и последовательности укладки, приклейку или пришивку профилей, что автоматически передается в CAD модель, в противоположность утомительного ручного создания CAD кривых для каждого слоя;
- создание различных офсетных поверхностей и твердых тел, включая ложные поверхности для контроля коллизий ("наезда" поверхностей), сопрягаемых поверхностей на тех моделях, где происходит совместное соединение двух деталей и обрабатываемых поверхностей для производства;
- разработку спецификаций конструкторских требований и чертежей созданием специальной инженерной документации и/или таблиц Microsoft Excel;
- симуляцию производственных возможностей за счет обеспечения обратной связи для отражения ранее внесенных в конструкцию изменений (в процессе проектирования), чтобы повышать эффективность модернизированных производственных процессов;
- определение внешних границ и других производственных деталей, таких как мест перекрытия (перехлеста) слоев, выточки и направления слоев, для того чтобы уменьшить цикл производства и стоимость;

- создание производственной документации для каждого участка изготовления конструкции, чтобы корректно определить все производственные данные;

- автоматическая генерация управляющих программ — таких как плоский раскрой и данные для автоматического движения обрезных машин с ЧПУ, лазерных проекционных систем, машин для объемного формования термопластов и укладочных ленточных машин — и распределение их в соответствии с логистикой предприятия.

Обладая мощными проектно-конструкторскими функциями, интегрированные пакеты разработки интегральных композитных конструкций обеспечивают разработчиков инструментарием, который помогает пользователям "оцифровывать" производственные функции выкладки слоистых конструкций (работу выкладочных машин), когда ещё идет процесс создания композитной конструкции. Эти автоматические выкладочные машины (рис. 3) дают возможность включить минимальную длину ограниченных слоев. Программный пакет дает возможность рассчитать минимально необходимое количество направлений для слоев, и автоматически определяет вершины углов для всех необходимых слоев во всех вершинных точках. Пользователь может автоматически определить границы скатов для слоев, делая это легко для автоматических укладочных машин и "подъем" нескольких слоев без образования складок по слоям.

Инженеры, занимающиеся разработкой законченных композитных конструкций и их частей сталкиваются с утомительной и сложной задачей создания точной конструкторской документации. В большинстве случаев, это в основном ручная и требующая большой ответственности работа, становящаяся особенно сложной, когда выполняются изменения в конструкции проекта. Интегрированный подход к созданию композитных конструкций с использованием специализированного программного обеспечения включает в себя автоматическую генерацию различной проектной документации, который позволяет

разработчикам быстро и качественно варьировать различными свойствами материалов, направлением и типом пересечения слоев, последовательностью укладки, создавать требуемые спецификации, диаграммы выкладки (рис. 4)

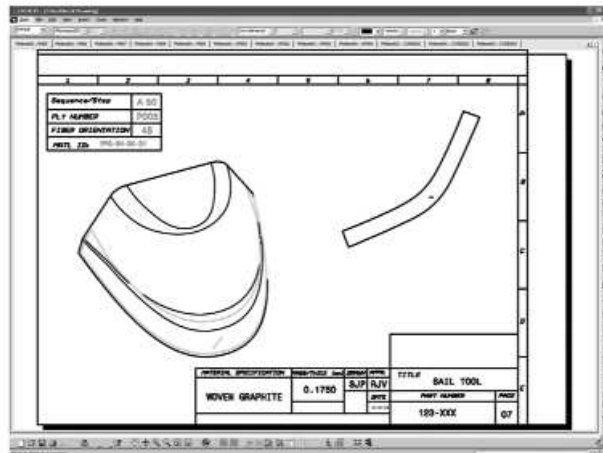


Рис. 4. Проектная документация

Вместе с определением производственной возможности изготовления проектируемой композитной конструкции, современные интегрированные компьютерные системы включают модули анализа разрабатываемых конструкций методом конечных элементов. Этот анализ проводится для окончательно определенной конструкции, использующей определенное количество слоев и ориентацию ребер, которые могут быть реализованы в производстве, в противоположность идеальному проектированию, когда хорошо спроектированная конструкция фактически не может быть изготовлена.

Инженеры, занимающиеся разработкой и изготовлением интегрированных композитных конструкций, сталкиваются с трудоемким и трудным процессом получения разверток деталей. Для облегчения задачи они стремятся разобраться в паутине программного обеспечения и автоматических систем раскроя. Вне автоматизации процесса получения разверток из CAD систем, инженер часто обнаруживает, что его развертка некорректна. Комплексные интегрированные программные пакеты позволяют автоматически генерировать развертки слоев деталей непосредственно из используемых CAD систем. Программные пакеты включают файлы, интегрирующие такие атрибуты конструкции, как имя слоя,



Рис. 3. Автоматические выкладочные машины

порядок слоя в последовательности укладки, характеристики материала слоя и ориентацию слоя в композитном пакете. Как результат, программный продукт создает точные и производственно реализуемые развертки, которые вместе с необходимой точностью позволяют экономить материал за счет рационального раскроя (рис. 5).

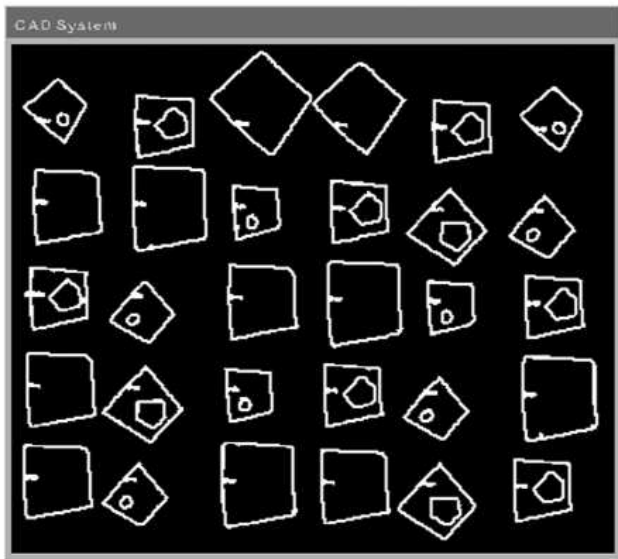


Рис. 5. Раскрой материалов (развертки)

Связанная с обозначенной задачей раскроя задача ручной выкладки слоев композитных конструкций комплексно решается сегодня применением лазерных проекционных машин и моделированием их работы в интегрированных системах разработки композитных конструкций. Программные пакеты моделирования работы лазерных раскройных установок позволяют инженерам автоматически генерировать данные для лазерных проекторов непосредственно из их CAD систем по имеющимся 3D моделям композитных составляющих конструкций (рис. 6).

Лазерные системы раскроя (устройства и соответствующее программное обеспечение) позволяют точно и безошибочно выполнять раскрой тканевых композиционных материалов (препрегов) для выкладки сложных изделий в трехмерном пространстве. Чертежи, контуры, разметки из CAD программы проектируются на рабочие поверхности оснастки с очень высокой точностью. При этом отпадает надобность в больших и тяжелых шаблонах.

Лазерные системы подбираются по индивидуальным требованиям разработчика конструкций из композиционных материалов, улучшая и упрощая производственные процессы их изготовления. Ошибки и брак сводятся к минимуму, качество гарантируется.



Рис. 6. Генерация данных для лазерных систем раскроя

Устройства для лазерной проекции и раскроя являются точнейшими приборами для проецирования контуров на трехмерные поверхности, что открывает самые неожиданные и до сегодняшнего дня неизвестные возможности. Таким образом расширяются границы фантазии проектировщика и обеспечивается производственная поддержка для их реализации.

Трехдеминзональные лазерные проекторы проектируют контуры из CAD программы на поверхность любой формы с миллиметровой точностью, причем искажения, которые неизбежно возникают при обычной оптической проекции, отсутствуют (рис. 7).

Корректировка осуществляется проекционной системой автоматически. Система позволяет поочередно проектировать отдельные линии контура в любой последовательности (например, показывая очередность рабочих операций). Цвет лазерного луча красный или зеленый. Лазерный луч перемещается по линиям контура с такой большой скоростью, что проекционная картина становится видимой и неподвижной. Программное обеспечение позволяет в одной системе контролировать несколько лазерных проекционных устройств.

Наличие на самолетах значительного количества относительно небольших сложных по конфигурации композитных деталей не исключает процессы ручной выкладки слоев композита в производстве, а значит безоговорочно подтверждает необходимость подобных лазерных систем и программных пакетов, моделирующих их работу. Вместе с тем для крупных авиационных конструкций (как например панели крыла) (рис. 8)

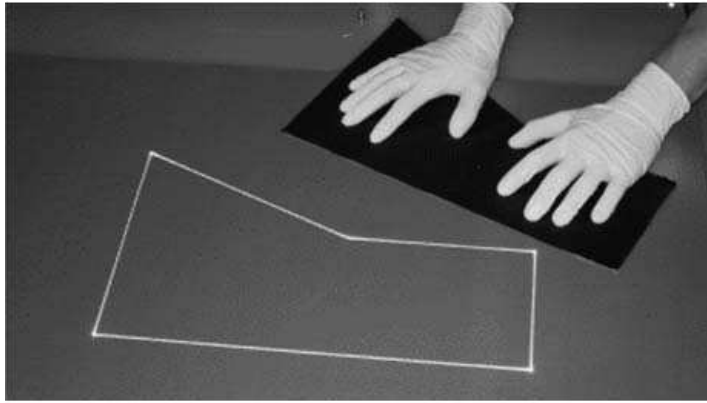


Рис. 7. Проекция контура



Рис. 8. Композитные панели крыла

целесообразно в интегрированном производстве иметь автоматизированные выкладочные машины.

Автоматизированные выкладочные машины (рис. 3) имеют определенные преимущества перед ручной выкладкой за счет точного контроля процесса укладки слоев. Эти машины позволяют уменьшить стоимость, цикл изготовления и исключить во многом ручную выкладку, но получение данных для них ручным способом традиционно является скучным и утомительным процессом, не исключаящим массу ошибок. Современные программные пакеты позволяют пользователям автоматически

генерировать данные для выкладочных машин внутри САД систем, управлять уникальными данными каждого укладываемого слоя, точками начала укладки слоя, процессами обрезки композита и многим другим.

На каждой стадии процесса создания авиационной конструкции инженеры по качеству нуждаются в специальных средствах и способах контроля качества отдельных деталей и целиком сборок, дающую им гарантию, что элементы конструкции отвечают требованиям спецификации. С момента создания указанными инженерами плана контроля качества изготавливаемой продукции, они требуют эффективного инструментария для доступа ко всей специализированной и общей конструкторской информации. Имея определенное базовое программное обеспечение, инженеры по качеству создают детальный план контроля изделия, основываясь на данных об изделии, технологии и средствах изготовления деталей и сборок. Информация, взятая из дерева спецификации в САД системе и внешней базы данных, объединяется в программном модуле качества, и может быть направлена в системы программирования машин контроля качества (например, машины для ультразвукового контроля (рис. 9)) для контроля фактических данных о конструкции, снятых с готового изделия.

И, наконец, представляя в целом конструкцию композитного крыла (рис. 10), интегрированная система разработки технологии его изготовления включает модули разработки сборочных операций и программ для специализированного сборочного оборудования и сборочных систем (рис. 11).

Подводя некоторые итоги вышесказанному, можно заключить следующее. Соответствующее методическое и инструментальное окружение

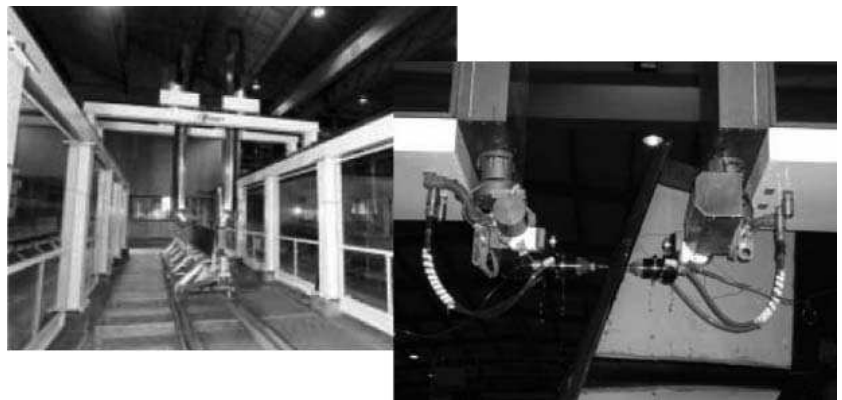


Рис. 9. Машины для ультразвукового контроля качества

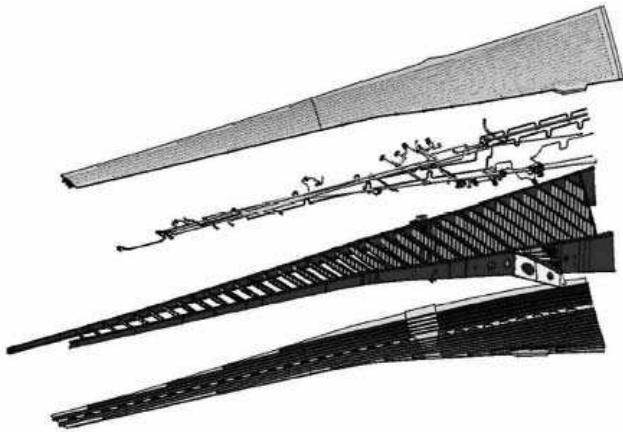


Рис. 10. Конструкция типового композитного крыла

процессов проектирования и разработки технологии изготовления сложных интегрированных авиационных конструкций основано на применении специализированных программных продуктов. Современный творческий подход к моделированию конструкций основан на цифровом определении базовых конструкторских моделей, методов проектирования технологических приемов и методов их реализации. Это минимизирует утомительные, трудоемкие процессы создания композитной конструкции, например, разработку бумажной документации (чертежей и технологических карт), и с другой стороны, позволяет гибко варьировать в разработке изделия свойствами новых композиционных материалов, современными автоматизированными методами

изготовления конструкций из этих материалов и обеспечить глобальную интеграцию различных участников (партнеров) одного проекта. Интегрированные программные продукты позволяют легко создавать и развивать полное цифровое представление сборок авиационных конструкций и более эффективно определять критические места в конструкции проекта и технологии его изготовления.

Процесс разработки авиационных конструкций выполняется в несколько этапов, включающих проектирование, изготовление и контроль качества. Интегрированные программные пакеты обеспечивают пользователя автоматизированным инструментарием решения задач каждого из этих этапов и предлагают полную функционально завершенную систему для обработки всех типов данных по конструкции, материалам, а также методам и средствам изготовления.

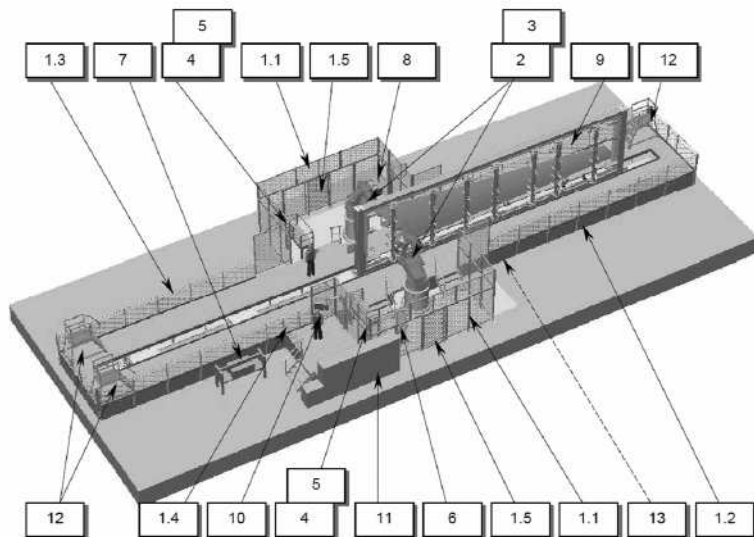


Рис. 11. Совместно действующие роботы и монтажная ячейка для монтажа больших конструктивных частей из углеволоконистых композиционных материалов:

- 1 – ограждение и двери; 2 – ведущий робот Kuka KR360; 3 – подчиненный робот Kuka KR360;
- 4 – ведущий робот место для хранения; 5 – подчиненный робот место для хранения;
- 6 – складочное место для сверлильных патронов; 7 – система выбора заклепки; 8 – система ввода втулки (collar);
- 9 – гибкая система зажимных приспособлений и закрепления конструктивного элемента; 10 – стенд управления;
- 11 – шкаф управления; 12 – платформа доступа; 13 – вытяжка стружки; 14 – вакуумный элемент (Pads)