

Крыло в авиационной технике — несущая поверхность, предназначенная для создания аэродинамической подъёмной силы. Применение полимерных композитных материалов (ПКМ) на основе углеродного волокна в крыле самолета позволяет снизить вес воздушного судна и повысить топливную эффективность за счет улучшения летно-технических параметров самолета, которые в значительной степени определяют расход топлива и экономические характеристики летательного аппарата, что определило получение Сертификата типа № FATA-01010A на самолет MC-21 от Федерального агентства воздушного транспорта.



Рисунок 1. Самолет MC-21



Для достижения летно-технического превосходства в новом российском среднемагистральном узко фюзеляжном самолете MC-21 (рисунок 1) была применена инновационная технология создания панелей и лонжеронов крыла из ПКМ методом вакуумной инфузии. Ключевым элементом в технологии вакуумной инфузии является оборудование для автоматической выкладки сухой углеродной ленты при подготовке заготовок (преформ) будущих крупногабаритных композиционных деталей. В результате выполненных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок решена важная государственная задача по импортозамещению роботизированного оборудования автоматической выкладки сухой углеродной ленты для создания методом вакуумной инфузии облегченного крыла MC-21, которое обеспечивает топливную эффективность самолета MC-21 на 8% выше, чем у Boeing-737, Airbus320, Airbus220, а также позволяет создать более вместительный салон у самолета MC-21-300 на 176 кресел, что делает использование данного самолета более выгодным.

При достижении поставленной цели – создания композитного крыла для самолета МС-21, решены следующие задачи:

1) разработаны, внедрены в серийное производство и одобрены авиационными властями (Сертификационным центром АО «НМЦ НОРМА», Заключение № 21-00-0С-0007-RPF):

- ❖ технологии создания конзолей крыла и центроплана из ПКМ (панели и лонжероны кессона) самолёта МС-21 методом вакуумной инфузии;

- ❖ технологии автоматизированного изготовления крупногабаритных длинномерных заготовок (преформ) из сухого углеродного волокнистого наполнителя (ленты) деталей конзолей крыла при помощи установок автоматической выкладки;

2) разработаны отечественные специальное программное и математическое обеспечение (САПР выкладки) для подготовки управляющих программ технологическое оборудование с уникальной отечественной системой автоматического управления, обеспечивающие реализацию технологии автоматизированного изготовления преформ для формования деталей из ПКМ методом вакуумной инфузии в серийном производстве;

3) созданы различные методики, программы, технические условия и другая нормативно-техническая документация;

4) создана научно-производственная, испытательная база и освоено производство принципиально нового автоматизированного оборудования, развивается производство роботизированных и порталных автоматизированных комплексов автоматической выкладки сухой ленты для изготовления крыла в обеспечение заданной серийности самолета МС-21.

Композитный кессон крыла самолета МС-21-300 (рисунок 2) изготавливается методом вакуумной инфузии (рисунок 3), который был разработан и запатентован авторским коллективом Акционерного общества «АэроКомпозит» (АО «Аэро-





щим отверждением волокнистой заготовки, пропитанной термореактивным олигомерным связующим - смолой, при повышенной температуре в условиях вакуума.

Ключевым элементом в технологии вакуумной инфузии является оборудование для автоматической выкладки сухой углеродной ленты при подготовке заготовок (преформ) будущих крупногабаритных композиционных деталей.

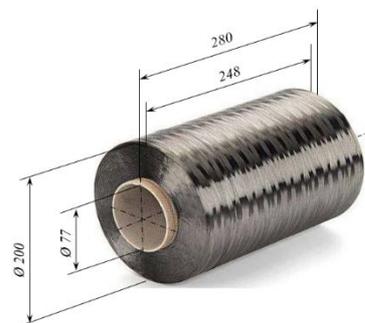
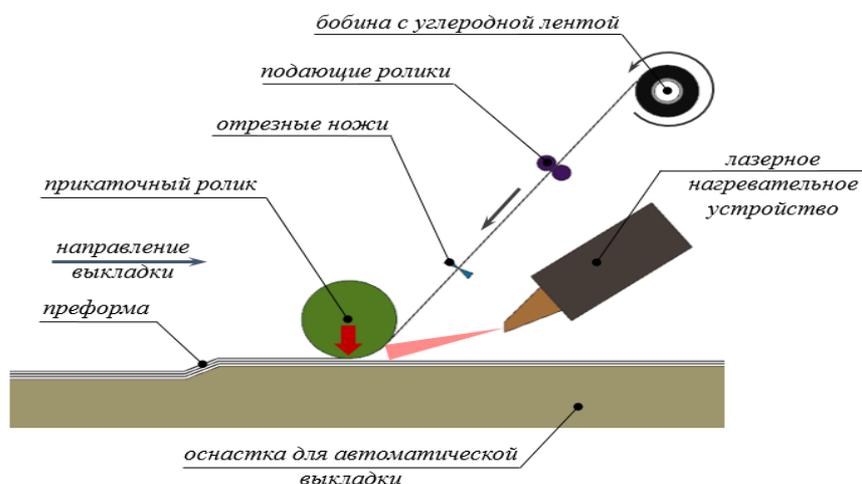


Рисунок 5. Схема метода автоматической выкладки сухой углеродной ленты на формообразующей поверхности оснастки

Рисунок 4. Сухая углеродная лента

Автоматическая выкладка (рисунок 5) сухой углеродной ленты (рисунок 4) является одним из самых передовых методов изготовления заготовок (преформ) крупногабаритных силовых деталей авиационных конструкций из ПКМ. Преимуществом данного метода является возможность выкладки непрерывной углеродной ленты под любыми углами на формообразующую поверхность оснастки, что позволяет изготавливать преформы изделий сложной формы с максимальной реализацией прочностных характеристик при минимальном весе конструкции. Применение для выкладки автоматических систем с ЧПУ обеспечивает точность, повторяемость и контролируемость метода, гарантирует высокие производительность и качество процесса подготовки преформ и в конечном итоге высокое качество деталей из ПКМ, изготовленные методом вакуумной инфузии. К основным контролируемым технологическим факторам автоматизированной выкладки относятся температура и натяжение материала, скорость выкладки, давление прикатки и отсутствие отклонений от требуемой траектории выкладки. Последовательно выкладывая на оснастку слои углеродных лент с различной ориентацией образуется преформа из-

деля из ПКМ - заготовка изделия из предварительно уплотненного в результате автоматической выкладки сухого наполнителя, повторяющая размеры, форму и структуру готового изделия.

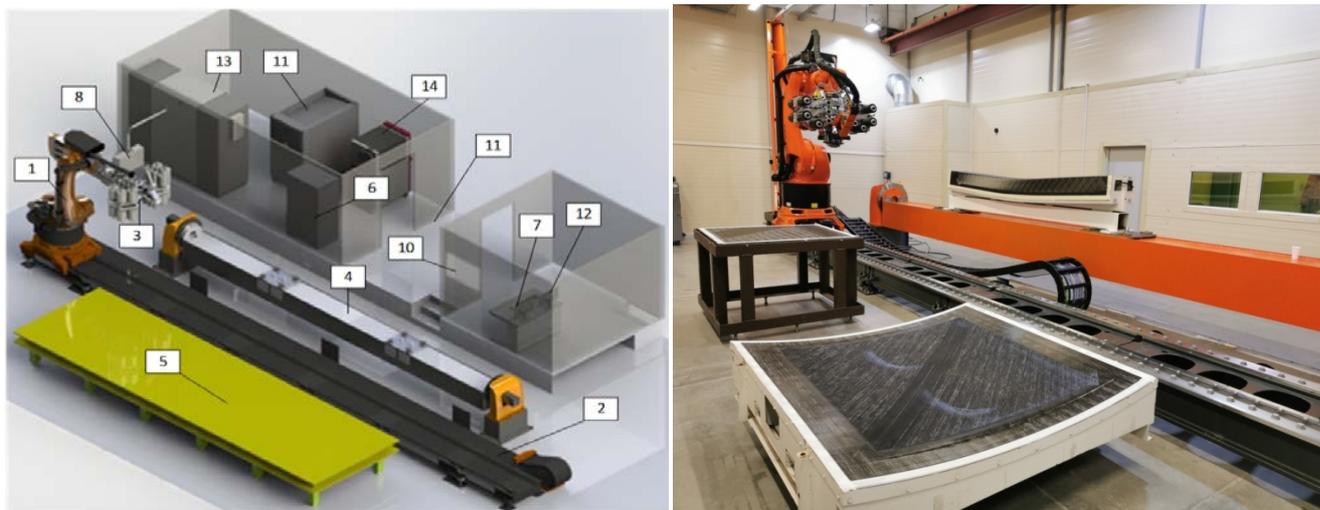


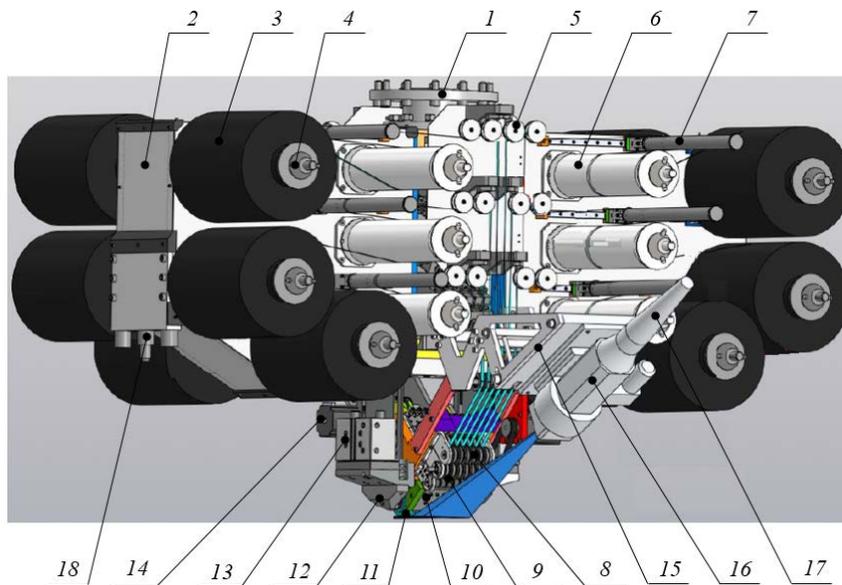
Рисунок 30. Общий вид разработанной система автоматической выкладки АКОНПИ, включающей: 1. Промышленный робот KUKAKR 600 R2830 F; 2. Продольную ось для перемещения промышленного робота KUKAKL 4000; 3. Выкладочную голову для выкладки 12 углеродных лент шириной 6,35 мм; 4. Универсальное поворотное устройство с опорной балкой для закрепления и поворота оснастки для выкладки L – образных и П – образных преформ, состоящее из 2-х позиционеров на базе на базе KP1-MDC 4000 с системой фиксации, закрепления и блокировки закрепления выкладочной оснастки; 5. Стол для выкладки плоских преформ (зона выкладки плоских преформ); 6. Систему числового программного управления (СЧПУ) роботом KRC4; 7. Рабочее место оператора автоматической выкладки со стационарным пультом управления с ЧМИ; 8. Мобильный пульт управления с ЧМИ; 9. Калибровочная плита для выкладки плоских образцов 1 x 1 м.; 10. Защитное ограждение рабочего места оператора с защитным стеклом, с датчиками безопасности и блокировочными устройствами; 11. Защитное ограждение участка автоматической выкладки с входной дверью и сдвижными воротами с датчиками безопасности, сигнальными и блокировочными устройствами; 12. Рабочая станция для разработки управляющих программ выкладки; 13. Шкаф системы управления выкладочной головой; 14. Шкаф нагревательного устройства; 15. Устройство подвеса оптоволоконной линии лазера.

В результате выполненных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок решена важная государственная задача по импортозамещению роботизированного оборудования автоматической выкладки сухой углеродной ленты для создания методом вакуумной инфузии облегченного крыла МС-21. С целью развития и реализации технологии вакуумной инфузии для изготовления авиационных конструкций и развития отече-

ственной технологии автоматической выкладки сухой углеродной ленты и подготовки преформ для изготовления деталей из ПКМ методом вакуумной инфузии создан многопоточный роботизированный выкладочный комплекс АКОНПИ (рисунок 30), представляющий новый тип высокотехнологичного оборудования, который позволяет занять лидирующие позиции в приоритетной области технологического развития РФ «Развитие отрасли композиционных материалов» (Распоряжение Правительства РФ от 6 июня 2020 г. № 1512-р «Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности РФ до 2024 г. и на период до 2035 г.»). Научная новизна, оригинальность и практическая значимость полученных технических решений данной работы подтверждается качеством получаемых изделий из ПКМ и производительностью технологического процесса автоматической выкладки сухих заготовок для вакуумной инфузии. Разработка представлялась на международных, федеральных и региональных конференциях и выставках.

Наиболее конструктивно сложным и функциональным элементом *Системы* является выкладочная голова (рисунок 31), назначение которой заключается в формировании полосы материала максимально возможной ширины из отдельных лент углеродного материала, нагреву полосы поданного материала и его прикатке на поверхность технологической оснастки.





1 – фланец для крепления выкладочной головы на роботе; 2 – корпус выкладочной головы; 3 – бобина с углеродной лентой; 4 – шпуля для закрепления бобины с углеродной лентой; 5 – ролики протяжки углеродной ленты в шпулярнике; 6, 7 - элементы системы накопления и натяжения углеродных лент (создания «петли» материала); 8 – ролики подачи и фиксации углеродной ленты; 9 – ролики (наковальни) обрезки углеродной ленты; 10 – плита с направляющими каналами(гребёнка); 11 – прикаточный ролик; 12, 13 – система пневматической подвески прикаточного ролика; 14 – приводы систем подачи и обрезки; 15 – кронштейн крепления лазерного нагревательного устройства; 16 – лазерное нагревательное устройство; 17 – волновод лазерного нагревательного устройства; 18 – направляющие для позиционирования выкладочной головы на стенде технического обслуживания и хранения

Рисунок 31. Общий вид выкладочной головы системы автоматической выкладки АКОНПИ

Разработанное программное обеспечение, включает в себя цифровые двойники оборудования, позволяет подготавливать управляющие программы, проводить виртуальное моделирование технологических процессов, определять наиболее рациональные схемы армирования композитных конструкций и оптимальные режимы использования технологического оборудования (рисунок 32).

Полностью решены задачи создания отечественной технологии автоматического изготовления заготовок (преформ) деталей из ПКМ при гарантировании выполнения требований к качеству панелей и лонжеронов крыла из ПКМ, создания математического обеспечения для моделирования и реализации технологии автоматической выкладки бмм сухой углеродной ленты. Разработанная конструкция и изготовленный отечественный роботизированный комплекс позволяют в серийном производстве обеспечить технологическую и производственную независимость

российских предприятий в процессе изготовления изделий из ПКМ для российских авиационных конструкций.

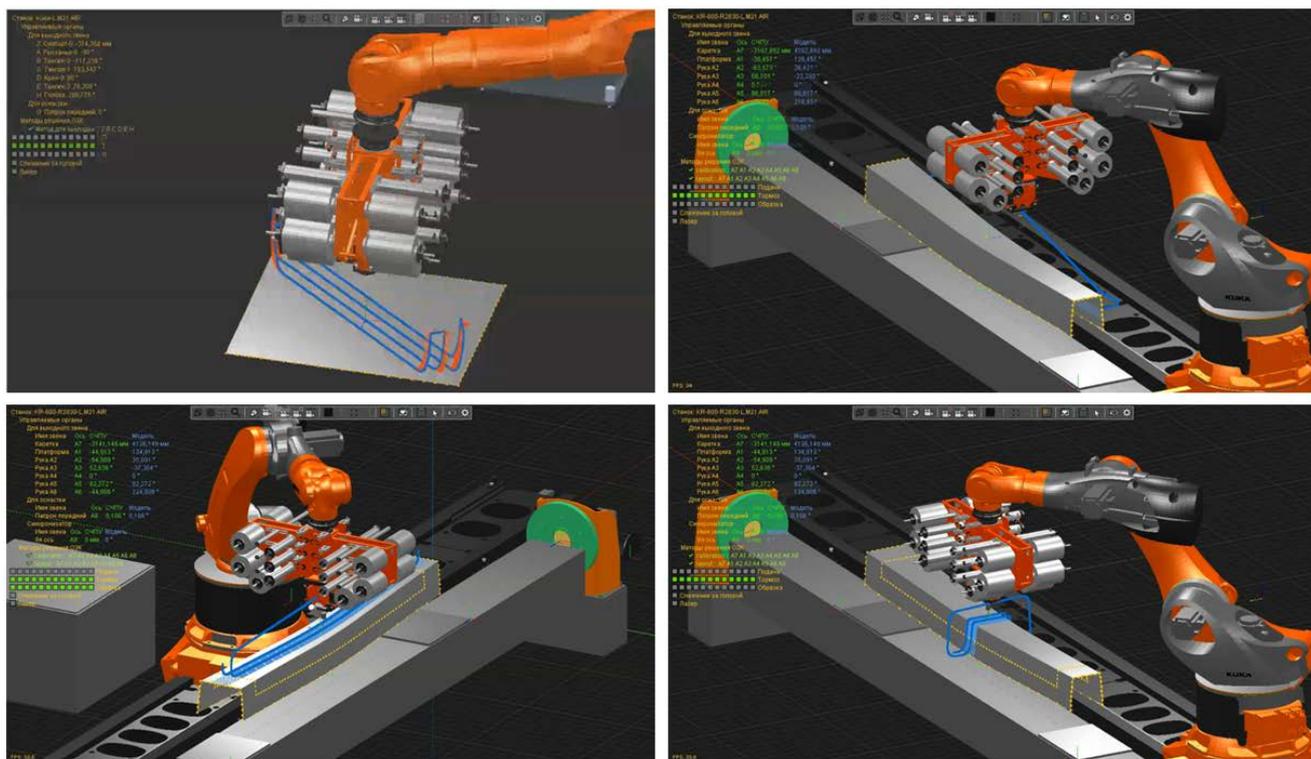


Рисунок 32. Фрагменты моделирования в разработанной САПР выкладки отработки рассчитанных управляющих программ на цифровом двойнике разработанного роботизированного выкладочного комплекса

Внедрение отечественного оборудования и технологии автоматизированной выкладки углеродной ленты гарантирует безопасную выполняемость вакуумной инфузии в создание деталей самолетов МС-21-300 и привело к дополнительному развитию отечественной промышленности химии углеродных волокон и связующих (специальных полимерных смол) (предприятия УМАТЕХ, ИТЕКМА (ИНУМИТ, МГУ) и другие), машиностроительной промышленности. Стоимость созданного роботизированного комплекса на 55...60% ниже зарубежных аналогов, что позволило начать активное внедрение подобных машин в серийное производство самолета МС-21.

В рамках участия членов авторского коллектива в программе «Цифровые кафедры» федерального проекта «Развитие кадрового потенциала IT-отрасли», обеспечивается трансфер технологий и результатов научно-исследовательских работ в содержание учебных программ дополнительного профессионального обучения.

В соответствии с протоколом заседания Совета по поддержке программ развития образовательных организаций высшего образования в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» от 14 декабря 2023г. №ВФ/74-ПР заявка ЮРГПУ(НПИ), разработанная в рамках взаимодействия университета с АО «АэроКомпозит» получила высокую оценку Совета и поддержана на предоставление в 2024 году специальной части гранта на достижение отраслевого лидерства в области разработки отечественного специализированного программного обеспечения и многокоординатного оборудования с ЧПУ для автоматизации производства изделий из композиционных материалов методами намотки и выкладки.

Созданный научно-технический задел в области производства изделий из ПКМ, включающий разработку технологии вакуумной инфузии для изготовления авиационных конструкций, новое математическое и программное обеспечения (САПР) для автоматизации технологических процессов конструирования, моделирования и производства изделий из композитов с использованием современных цифровых методов и разработки оборудования с ЧПУ на основе унифицированных программно-аппаратных модулей, позволит ускорить создание нового оборудования и модернизацию существующих производств, повысит ремонтпригодность, облегчит обслуживание оборудования и снизит стоимость его эксплуатации.

В настоящее время на основании созданного научно-технического задела ведутся работы по масштабированию решений, полученных в рамках разработки роботизированного выкладочного комплекса, для создания целой гаммы нового отечественного выкладочного оборудования портального и роботизированного типа для серийного производства композитных конструкций крыла МС-21».

Комплекс проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, завершившихся созданием и широким применением в производстве реализованной технологии вакуумной инфузии для изготовления авиационных конструкций, а также разработкой принципиально нового отечественного технологического оборудования и программного обеспечения, обеспечивает инновационное развитие нескольких отраслей экономики и социальной сферы и позволяет с уверенностью говорить о достижении технологического суверенитета России по изготовлению композитных конструкций крыла МС-21.