

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Совершенствование технологии производства углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) для агрегатов летательных аппаратов является приоритетным направлением в решении ряда сложных задач создания ответственных изделий ракетно-космической техники [1].

Для деталей из УУКМ), как и для других волокнистых композитов, расположение армирующих элементов (схем армирования) определяет свойства деталей. Наиболее перспективным видом армирования УУКМ конструктивного назначения является многонаправленное, пространственное армирование, когда армирующие компоненты располагаются в трех, четырех и более направлениях [2]. Широко применяются материалы на основе 3D и 4D-л пространственных армирующих структур (ПАС), собранных из предварительно изготовленных стержней. Всего существует семь основных и три модифицированных хорошо сбалансированных ПАС укладки волокон, изотропия растет с увеличением числа направлений.

Сборка вручную ПАС – это монотонный тяжелый труд с вредным воздействием углеродных волокон на сборщиков. Для некоторых структур соблюдение шага и расположения армирующих волокон требует разработки специальной оснастки. Перспективным направлением сокращения длительности сборки ПАС и повышения их качества является автоматизация сборочных процессов. В промышленности нет устройств, которые могли быть использованы для сборки ПАС.

Целью данной работы является сокращение сроков проектирования и изготовления оснастки для сборки ПАС за счет применения модульных технологий и их реализация для основных схем армирования.

Применение модульного принципа позволяет существенно снизить материальные затраты на изготовление специальной оснастки, сократить время сборки и настройки, а также расширить количество возможных компоновок. Ошибочной является практика создания новой технической системы из оригинальных узлов. Целесообразней создавать новую техническую систему из стандартных, хорошо отработанных узлов, используя принцип модульного формирования техники – комплектование разнообразных сложных нестандартных комплексов с большим отличием характеристик из небольшого количества экономически обоснованных типов и размеров одинаковых первичных (типичных, унифицированных или стандартных) общих элементов – модулей [3].

Анализируя стержневые ПАС, в каждой из них можно выделить базовое направление, относительно которого укладываются остальные

слои. Для установки базового направления армирования рационально применить виброустановку стержней в направляющие плиты, процесс заполнения направляющих плит подробно исследован в работе [4]. Направляющие плиты с установленными стержнями поступают на дальнейшую сборку.

В ПАС 3D, 4D-л и 5D-л при вертикальном расположении базового направления последующие армирующие слои располагаются в горизонтальной плоскости, соответственно в 2-х, 3-х и 4-х направлениях. В работе [5] проведен сравнительный анализ способов укладки слоев горизонтальных стержней (УСГС) – послойно и подачей одиночного стержня. Послойный принцип не удалось реализовать из-за повреждений стержней. Для УСГС применена подача одиночного стержня на заданную глубину и обрезка стержня у каркаса, перемещение к следующему просвету между рядами вертикальных стержней и повтор процесса до заполнения слоя, опрессовка слоя и поворот каркаса. В результате необходимо реализовать поступательное перемещение подающего устройства в двух направлениях, подачу стержня, поворот ПАС и изменение уровня укладки слоя. В качестве прототипа выбрана компоновка фрезерного станка учебной серии.

Для реализации указанных перемещений разработана кинематическая схема установки УСГС, которая представлена на рис. 1. Продольное перемещение осуществляется механизмом перемещения суппорта, нулевое положение суппорта определяется выключателем конечным (ВК) ВК1. На суппорте размещен механизм поперечного перемещения каретки и датчик нулевого положения каретки ВК2. В состав каретки входит механизм подачи стержня, датчик контроля окончания стержня ВК3 и механизм обрезки. Позиционирование каретки осуществляется двигателями М1 и М2, подача стержня на заданную глубину – двигателем М3. Подъем стола и создание усилия опрессовки выполняет двигатель М4, контроль верхнего положения – ВК4. Вращение стола задается двигателем М5 и контролируется ВК5. Необходимое положение фиксируется.

Механизмы продольного и поперечного перемещения не испытывают технологической нагрузки, а лишь силы трения в направляющих и преодоление сил инерции. К этим приводам предъявляются высокие требования по позиционированию подающего устройства и ненакоплению погрешности перемещения. Механизм подачи стержня должен преодолевать усилие подачи стержня в каркас с отсчетом и контролем его длины. Силовыми являются механизмы поворота и подъема АК. Механизм поворота преодолевает силы трения направляющей гребенки и ограничителей перемещения. Механизм вертикального перемещения стола создает значительное усилие опрессовки и определяет шаг укладки слоев горизонтальных стержней.

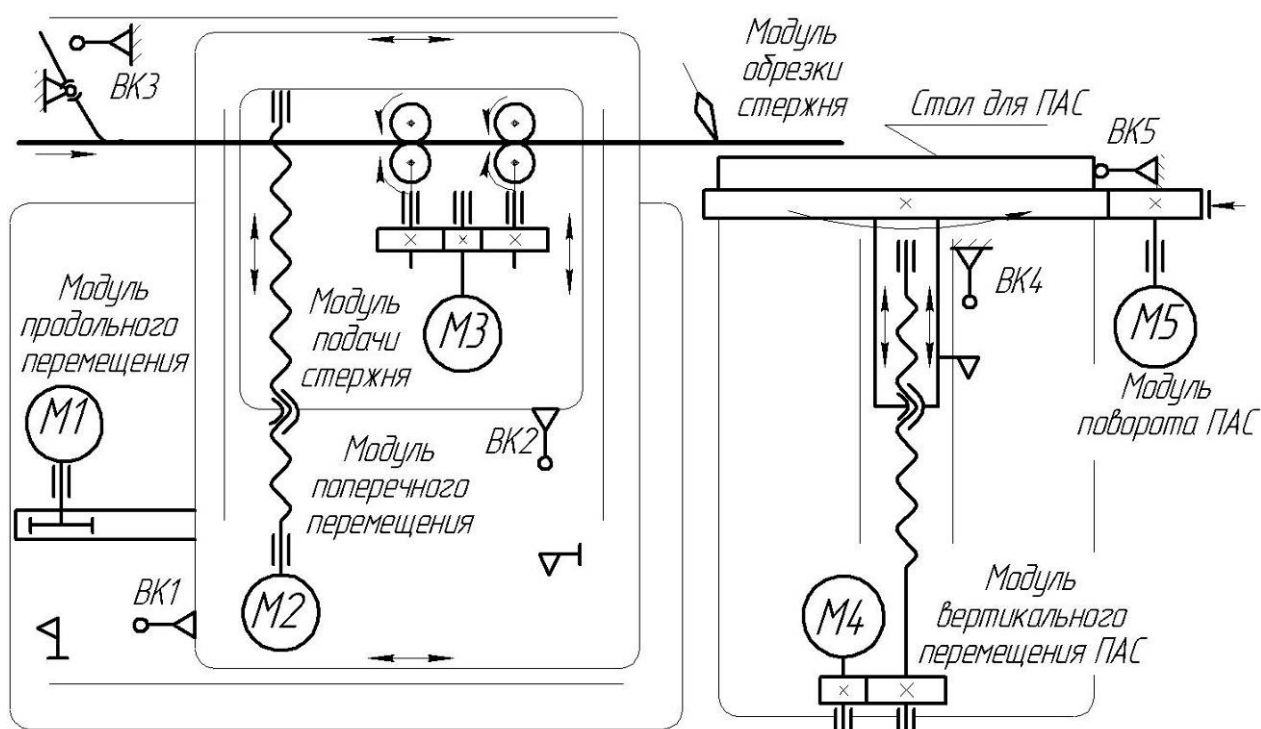


Рисунок 1 – Кинематическая схема установки УСГС

Конструкция расчленена на модули, перемещение в которых задается шаговыми двигателями по управляющей программе и контролируется КВ.

Модуль поперечного перемещения, который одновременно является и несущей системой модуля подачи стержня. Модуль (рис. 2) состоит из оснований 1, 2, в которых размещены цилиндрические направляющие 3 и закреплен шаговый двигатель 4 (М2) и два подшипниковых узла 5 и 6. Двигатель М2 соединен с ходовым винтом 7 при помощи муфты 8. Ходовой винт 7 приводит в движение каретку 9, в которой размещена ходовая гайка 10 и втулки скольжения 11. Каретка предусматривает установку на ней подающего устройства.

Модуль суппорта (рис. 2) состоит из двух направляющих, жестко закрепленных на основании, и каретки. В качестве тел качения использованы шариковые направляющие. Крепления направляющих предусматривают удобную регулировку натяга. Суппорт приводится в движение от шагового двигателя с контролем исходного положения КВ. Привод суппорта и каретки представлен на рис. 3.

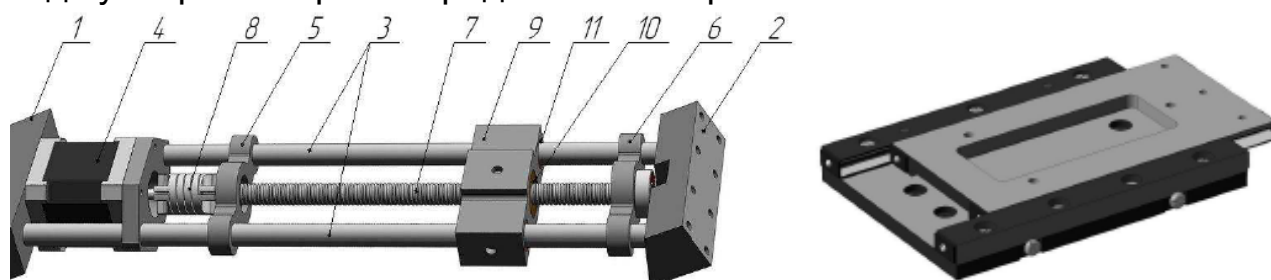


Рисунок 2 – Модули линейного перемещения и суппорта

Модуль подачи стержня (рис.4) спроектирован согласно методике, изложенной в [6], так как он не имеет аналогов. Подача стержня в направляющую осуществляется спаренными обрезиненными роликами. При окончании стержня срабатывает ВКЗ, и направление движения стержня изменяется на противоположное. Стержень недостаточной длины удаляется. В состав узла может входить датчик длины поданного стержня, его установка оправдана, когда возможно проскальзывание под подающими роликами. Датчик длины стержня является обратной связью для подающего механизма. Обрезка стержня осуществляется подачей электрического импульса на электромагнит, от которого в движение приводится нож. Время срабатывания электромагнита 0,2...0,3 сек, под действием пружины нож возвращается в исходное положение.

Для реализации установки использовано три модуля с шаговыми двигателями, реализующими перемещения в двух направлениях, и подачу стержня по программе. В силовых модулях (рис. 5) в качестве двигателей М4-М5 использованы асинхронные двигатели с червячной передачей, фактическое перемещение контролируется датчиками.

Модули перемещения и подачи стержня можно рассматривать как укрупненный модуль и размещать их несколько на установке УСГС для повышения производительности. В спроектированной установке УСГС размещено два укрупненных модуля (рис. 6).

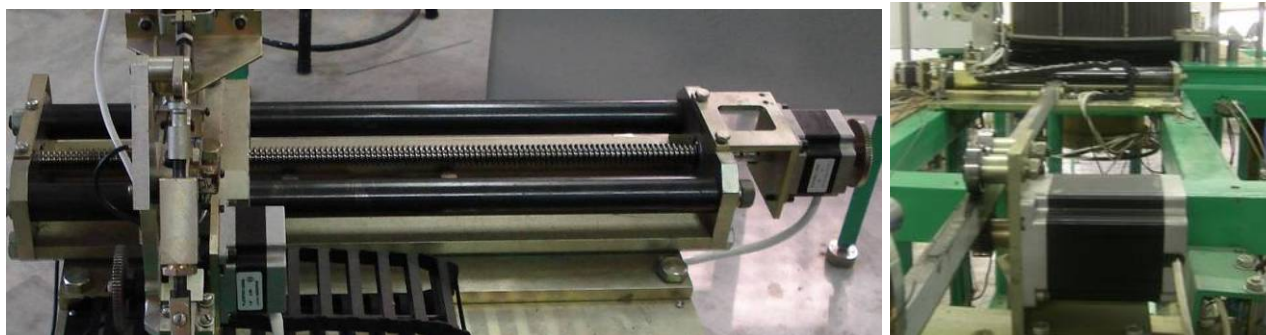


Рисунок 3 – Привод суппорта и каретка подающего механизма

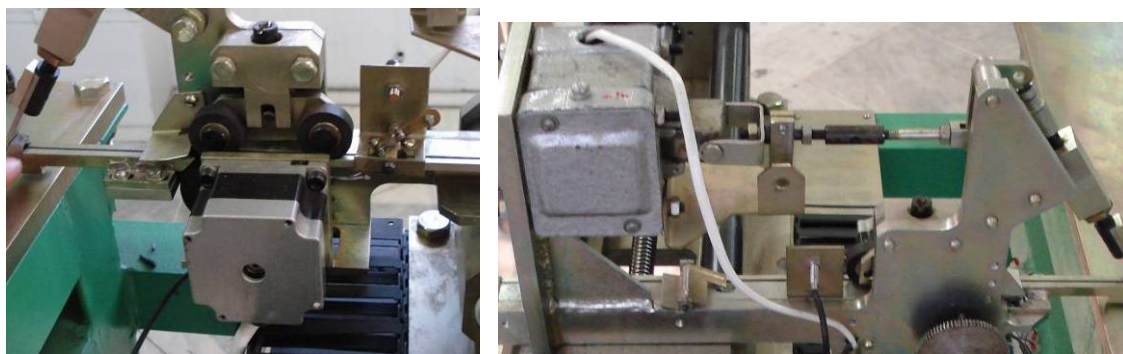


Рисунок 4 – Модуль подачи, контроля и обрезки стержня



Рисунок 5 – Модули подъема и поворота стола



Рисунок 6 – Диаметральное расположение подающих модулей на установке

Системы управления должны принимать сигналы от 10 выключателей концевых и управлять семью шаговыми двигателями и двумя асинхронными, иметь возможность выводить информацию на дисплей, считывать управляющие сигналы с блоков управления. Система автоматизированного управления модулями УСГС аппаратно может быть реализована на базе универсального компьютера и специального набора устройств связи для управления приводами и считывания показаний концевых выключателей или на основе специализированной микропроцессорной системы управления с использованием микроконтроллера. Рациональным решением является применение специальной микропроцессорной системы управления с возможностью подключения к компьютеру через интерфейс RS-232 для передачи и корректировки управляющих программ. Интегрированные в микроконтроллер периферийные устройства позволяют реализовать все необходимые функции управления и контроля с использованием минимального количества дополнительных модулей.

Для реализации задач управления и настройки УСГС в составе микропроцессорной системы управления были использованы: однокристалльный микроконтроллер PIC18F258-1/SO производства фирмы Microchip, постоянная перепрограммируемая память, модули аналогового ввода/вывода USART, ввода импульсных сигналов, модули связи с компьютером верхнего уровня RS-232C, дисплей с цифровой клавиатурой, стабилизатор напряжения питания Mean Well SP-200-48, драйвера управления шаговыми двигателями фирмы Geckodrive модели G210. Применение комплектующих элементов ведущих мировых фирм-производителей обеспечило высокую надежность и низкое энергопотребление разработанного устройства.

Микропроцессорная система управления (рис.7) может работать автономно, без подключения к ней компьютера, информация об обработке системой команд управления или ожидания ввода определенной информации выводится на встроенный ЖКИ дисплей. Постоянная электрически программируемая память предназначена для долговременного хранения управляющих программ сборки АК различных видов и наборов констант для расчета траекторий перемещения. Управляющие программы вводятся в память наладчиком при настройке установки и защищены паролем от случайного изменения оператором в процессе работы. Параметры собираемого каркаса могут быть введены оператором, на основании которых ведется расчет программы сборки ПАС.

Аппаратная часть микропроцессорной системы управления конструктивно выполнена внутри центрального пульта управления (рис.8) с герметичной защитой корпуса от попадания токопроводящей углеродной пыли. Для удобства управления на наружную часть пульта вынесен ЖКИ дисплей, цифровая клавиатура и запрограммированные кнопки управления. На боковой поверхности пульта размещены разъемы для подключения приводов, концевых выключателей и компьютера. Кнопки управления вторым модулем сборки и экстренной остановки вынесены на дополнительный пульт управления.

Установка УСГС является устройством с числовым программным управлением. Для задания перемещений применена прямоугольная система координат, расположенная на оси каркаса, в центре всегда располагался вертикальный стержень. Нулевое положение подающего механизма выбирается из условия свободного обслуживания ПАС максимального типоразмера и определяется константами установки.

Для управления узлами установки разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм управления сборкой, описанный в работе [6]. Программным обеспечением установки на основании вводимых параметров ПАС выполняется расчет траектории перемещения рабочих органов и длины подаваемого стержня в определенную ячейку ПАС [7]. После подачи стержня заданной длины выполняется его обрезка и переход к следующей ячейке. После набора слоя стержней выполняется оп-

рессовка слоя и поворот ПАС на заданный угол. Процесс установки стержней продолжается до набора заданной высоты. При сборке ПАС без осевого отверстия выполняется укладка стержней от периферии до центра ПАС, а при сборке ПАС – с осевым отверстием до полного обхода отверстия каждым подающим устройством. Программное обеспечение установки может корректироваться для сборки оригинальных видов ПАС с помощью подключаемого внешнего компьютера.

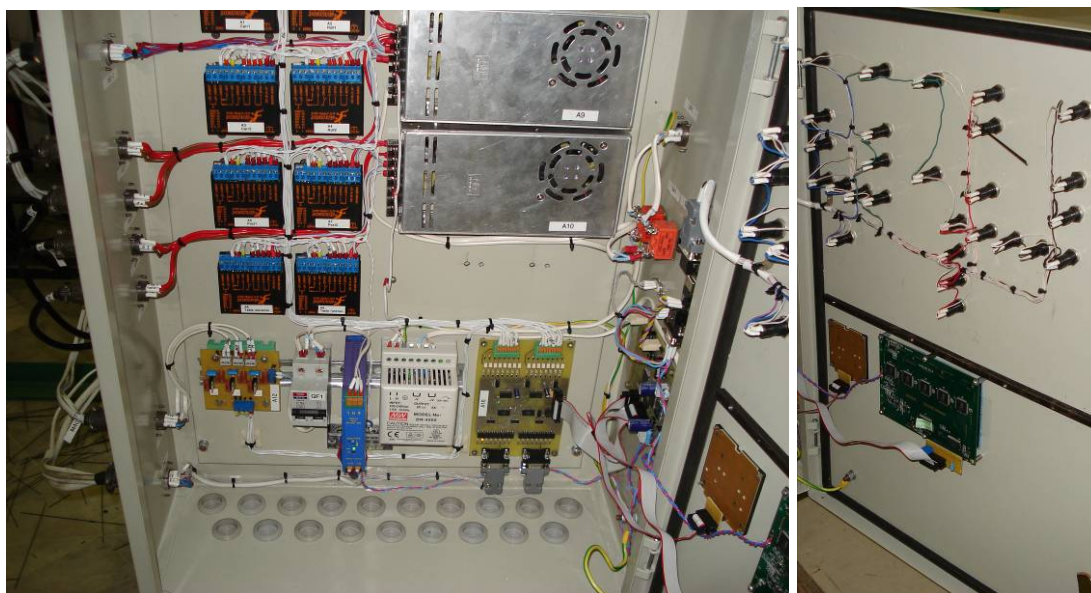


Рисунок 7 – Центральный блок управления установкой УСГС

На базе разработанной установки, используя конструкции разработанных модулей, возможно реализовать сборку других ПАС. Для сборки ПАС 4D модуль подачи стержня должен располагаться под углом $70,5^\circ$, а для сборки более сложных ПАС необходима дополнительная управляемая координата – изменение угла подачи стержня. Существенным недостатком технологии сборки 4D и более сложных ПАС является невозможность опрессовки слоев стержней из-за их взаимного пространственного расположения, что ограничивает максимальную плотность ПАС.

Разработанное оборудование может использоваться для армирования плетеных ПАС непосредственно стержнями или посредством поллой иглы. Применение подачи стержня внутри поллой иглы снижает вероятность поломки стержня, но усложняет конструкцию подающего устройства и приводит к частичному повреждению основы ПАС [8]. Потенциальные возможности модульного оборудования позволяют выполнять армирование стержнями ПАС сложной геометрии.

Выводы. В результате применения модульной компоновки установки укладки слоев горизонтальных стержней удалось реализовать согласованное программное управление по семи координатам со считыванием данных с 10 концевых выключателей, что позволяет с необходи-

мой точностью управлять перемещениями подающих устройств и собирать основные схемы армирования. Определены направления модернизации оборудования для сборки более сложных структур. Разработанные модули могут быть использованы при проектировании установок изготовления других видов ПАС.

Список использованных источников

1. Чесноков, А.В. Основы технологической подготовки производства деталей и углерод-углеродных композиционных материалов с прямолинейными волокнами [Текст]: моногр. / А.В. Чесноков. – Луганск.: «Нормедж», 2010. – 249 с.
2. Композиционные материалы [Текст]: справ. / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Кузнецов, Ю.Н. Компонировки станков с механизмами параллельной структуры [Текст] / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневич; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирский В.С., 2010. – 471 с.
4. Чесноков, А.В. Повышение производительности установки вертикальных стержней армирующих каркасов УУКМ [Текст] / А. В. Чесноков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2009. – Вып. 4 (60). – С. 19 – 27.
5. Чесноков, А.В. Повышение производительности сборки армирующих каркасов для углерод-углеродного композиционного материала [Текст] / А.В. Чесноков, В.В. Чесноков // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2007. – № 7 (113), Ч. 1. – С. 169 – 173.
6. Чесноков, А.В. Анализ напряженного состояния стержня в подающем узле установки автоматизированной сборки армирующих каркасов [Текст] / А.В. Чесноков // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2008. – № 4 (51). – С. 9 – 14.
7. Чесноков, А.В. К вопросу автоматизации сборки стержневых армирующих каркасов [Текст] / А.В. Чесноков // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – № 6 (124), Ч. 2. – Луганськ, 2008. – С. 126 – 130.
8. Чесноков, А.В. Исследование влияния трансверсального армирования на прочность плетеного композиционного материала [Текст] / А.В. Чесноков, Е.Е. Бакст // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2008. – № 2 (49). – С. 51 – 54.

Поступила в редакцию 16.10.2012.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*