Научная статья
УДК 004.5
URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=189703
EDN: https://www.elibrary.ru/FPVBBD

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРФЕЙСА «ЧЕЛОВЕК–МАШИНА» ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВЫКЛАДКИ СУХОЙ УГЛЕРОДНОЙ ЛЕНТЫ

Г.В. Абраменков[1], К.А. Лысогорский[1], А.В. Гутенев[2], С.Г. Страданченко[3], Д.Ю. Богданов[3]✉, А.Г. Савин[3]

[1]Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва, Россия
[2]Публичное акционерное общество «Объединённая авиастроительная корпорация», г. Москва, Россия
[3]Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

✉ bogdanov_dmitr@mail.ru

Цитирование: Абраменков Г.В., Лысогорский К.А., Гутенев А.В., Страданченко С.Г., Богданов Д.Ю., Савин А.Г. Особенности разработки интерфейса «человек–машина» для системы автоматической выкладки сухой углеродной ленты // Труды МАИ: электрон. журнал. № 150. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=189703

Аннотация. Одним из актуальных направлений развития авиастроительной отрасли РФ, является использование аддитивных технологий для изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов. Одним из наиболее автоматизированных методов считается метод программируемой выкладки на многокоординатных комплексах с числовым программным управлением (ЧПУ). Управление комплексами осуществляется через интерфейс «человек-машина». Рассматриваются вопросы разработки интерфейса «человек-машина» отечественной роботизированной системы автоматической выкладки для создания преформ деталей (силовых конструкций крыла самолета МС-21). Проанализирована структура потоков данных между компонентами системы. Обоснованы применяемые протоколы связи между компонентами. Описаны особенности построения системы безопасности на базе контроллеров Siemens.

Рассмотрена реализация человеко-машинного интерфейса, апробированная в ходе приёмо-сдаточных испытаний и промышленной эксплуатации системы автоматической выкладки.

Ключевые слова: SCADA; OPCUA; интерфейс «человек-машина»; автоматизированная выкладка.

SPECIFICS OF HUMAN-MACHINE INTERFACE DEVELOPMENT FOR AN AUTOMATED DRY CARBON TAPE LAYUP SYSTEM

G.V. Abramenkov[1], K.A. Lysogorsky[1], A.V. Gutenev[2], S.G. Stradanchenko[3], D.Yu. Bogdanov[3]✉, A.G. Savin[3]

[1]Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, Moscow, Russia

[2]Public Joint Stock Company United Aircraft Corporation, Moscow, Russia

[3]Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

✉ bogdanov_dmitr@mail.ru

Citation: Abramenkov G.V., Lysogorsky K.A., Gutenev A.V., Stradanchenko S.G., Bogdanov D.Yu., Savin A.G. Specifics of human-machine interface development for an automated dry carbon tape layup system // Trudy MAI. 2026. No. 150. (In Russ.). URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=189703

Abstract. One of the key trends in the development of the Russian aircraft manufacturing industry is the use of additive technologies to fabricate structures from polymer composite materials. Programmable layup using multi-axis CNC systems is considered one of the most highly automated methods. These systems are controlled via a human-machine interface (HMI). This paper examines the development of an HMI for a domestically produced robotic automated layup system designed to create preforms for components (specifically, structural elements of the MS-21 aircraft wing). The data flow structure between system components is analyzed, and the communication protocols employed between these components are justified. The design of the safety system based on Siemens controllers is described. Finally, the implementation of the human-machine interface – validated during acceptance testing and industrial operation of the automated layup system – is discussed.

Keywords: SCADA; OPC UA; human-machine interface; automated layup.

Введение

В авиационной, ракетно-космической технике, машиностроении и других отраслях промышленности существует необходимость изготовления изделий со сложной геометрией из композиционных материалов [1]. Одним из инструментов такого производства являются системы автоматической выкладки [2]. В данных системах изделие формируется аддитивными технологиями послойной выкладки ленты на оправку. Процессы подачи, обрезки, нагрева и прижима ленты осуществляются специализированной выкладочной головой, а сложная траектория движения реализуется манипуляторами различных типов. На рисунке 1 показана совместная разработка ЮРГПУ(НПИ) и АО «АэроКомпозит» – система автоматической выкладки, реализованная на базе промышленного робота-манипулятора.



Рисунок 1 – Система автоматической выкладки ЮРГПУ(НПИ) и АО «АэроКомпозит»

Работа выкладочной головы и перемещение робота осуществляется в автоматическом режиме согласно управляющей программе, заранее

сгенерированной в системе подготовки программ выкладки [3, 4] исходя из требуемой геометрии изделия. Управляющая программа содержит в себе как команды для отработки ЧПУ робота, так и технологические команды для отработки системой управления выкладочной головой. Важную роль в процессе выкладки выполняет оператор. Путём анализа текущих значений технологических параметров и визуального наблюдения он осуществляет контроль качества выкладки, при необходимости корректирует заданные технологические параметры в режиме реального времени, устраняет последствия возникающих ошибок и обслуживает оборудование.

Взаимодействие оператора с системой автоматической выкладки осуществляется через человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), связывающий в единую систему все компоненты. Согласно ГОСТ IEC 60447-2015 «Интерфейс «человек-машина». Основные принципы безопасности, маркировка и идентификация. Принципы включения» ЧМИ – это части оборудования, предназначенные для обеспечения прямого взаимодействия между оператором и оборудованием и позволяющие оператору осуществлять управление и контроль за работой оборудования. В данном случае его функции выходят за рамки простых органов управления и экранных форм, и включают задачи коммуникации и автоматизации процессов. Важным аспектом является обеспечение безопасности оператора и оборудования во время их взаимодействия. Особую опасность представляет мощный источник лазерного излучения, используемый для нагревания биндера в рабочей зоне.

Немаловажное влияние на работу ЧМИ оказывает реализуемая схема потоков данных, определяющая механизмы взаимодействия его компонентов. Практический интерес представляют вопросы выбора оборудования и информационных протоколов взаимодействия для реализации подготовленной схемы потоков данных, а также обеспечения безопасности персонала при взаимодействии с системой автоматической выкладки.

Целью данной работы является разработка и обоснование архитектуры ЧМИ для отечественной роботизированной системы автоматической выкладки сухой

углеродной ленты, обеспечивающего эффективный обмен данными между компонентами системы и требуемый уровень безопасности оператора.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) анализ и формализация схемы потоков данных между основными компонентами системы автоматической выкладки;
2) обоснование и выбор сетевых протоколов связи для интеграции разнородных компонентов системы с учетом требований к быстродействию и надежности;
3) разработка алгоритмов и архитектуры системы безопасности оператора при работе с высокоскоростными манипуляторами и лазерным излучением;
4) апробирование разработанной ЧМИ в условиях опытно-промышленной эксплуатации и проведение сравнительного анализа его функциональных и эргономических характеристик с зарубежными аналогами.

Схема потоков данных

Схема потоков данных, реализованная в рамках системы автоматической выкладки иллюстрируется на рисунке 2. В соответствии с этой схемой оператор может взаимодействовать с системой автоматической выкладки через SCADA-систему, установленную на персональный компьютер (ПК) (поток 1), мобильной панелью оператора (МПО) (поток 2) и контрольно-сигнальной аппаратурой, в виде переключателей и световых индикаторов (поток 3). В зависимости от выбранной оператором программы выкладки на ПК генерируются исполнительные файлы, которые передаются в систему управления выкладочной головой (ВГ) (поток 6) и ЧПУ робота (поток 5). Необходимые значения технологических параметров и введённые в ПК команды оператора по сети передаются в систему управления выкладочной головой (поток 7) и программируемый логический контроллер (ПЛК) (поток 9). В ответ SCADA-система на ПК получает информацию о текущем состоянии системы.

Действия оператора с мобильной панелью и контрольно-сигнальной аппаратурой передаются в ПЛК (потоки 10-11), при этом мобильная панель может напрямую взаимодействовать со SCADA-системой по сетевому протоколу (поток 4).

Задание мощности лазерного излучения поступает от системы управления выкладочной головой (поток 12), а контроль состояния и выдача разрешения на работу осуществляется ПЛК (поток 13). Также оператору доступна возможность диагностики состояния лазерного нагревателя через специализированное ПО, установленное на ПК (поток 8).

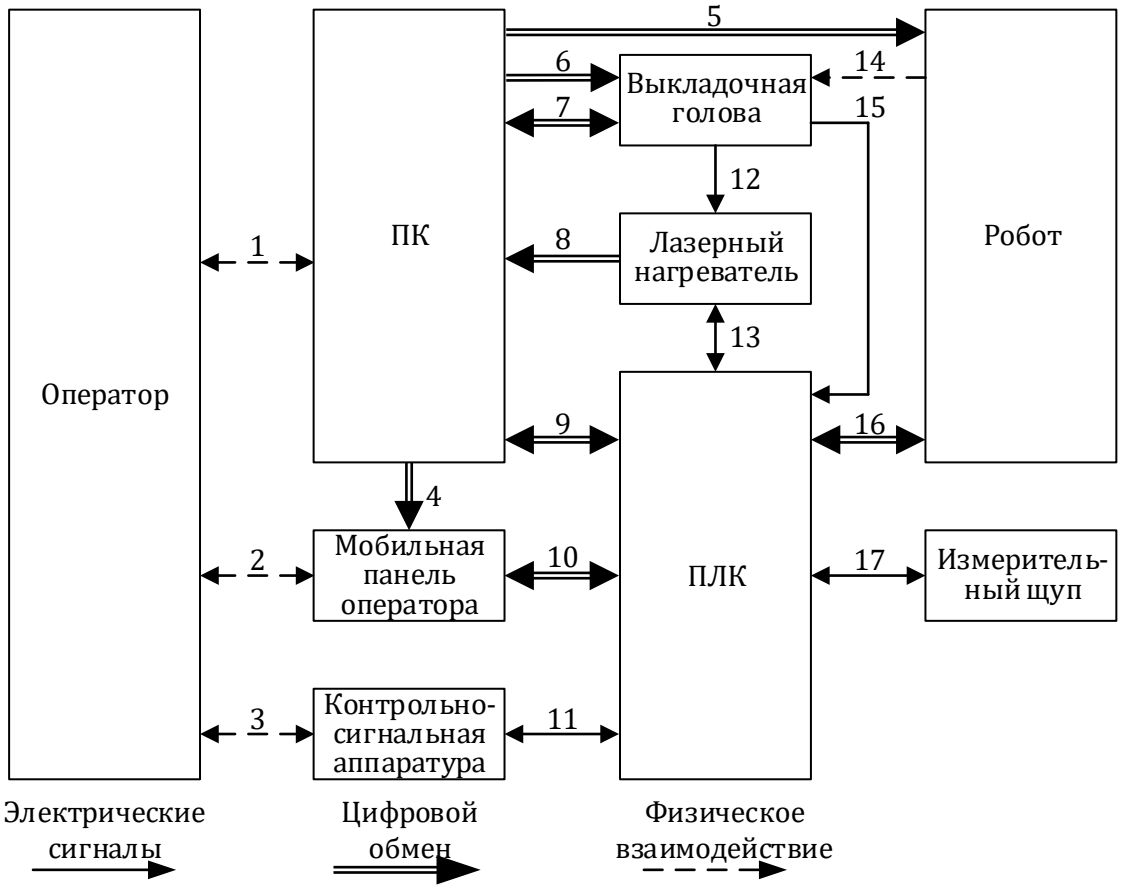


Рисунок 2 – Схема потоков данных

Выкладочная голова отслеживает движение робота по датчику положения, установленному на дополнительной оси робота для синхронизации (поток 14). Ответственные сигналы безопасности передаются в ПЛК в виде электрических сигналов (поток 15) также, как и сигналы от щупа измерительной системы (поток 17).

Исходя из команд оператора ПЛК осуществляет инициацию движения робота и контроль его состояния (поток 16).

Обоснование применяемых протоколов связи

В качестве робота–манипулятора используется робот фирмы KUKA с системой управления KR C4. Для её коммуникации с внешними системами

опционально доступны следующие протоколы взаимодействия [5]: ProfiNet, ProfiBus, DeviceNet, EtherNet/IP, EtherCAT, VARAN-Slave.

Протокол взаимодействия робота с ПЛК должен обеспечивать высокое быстродействие, необходимое для ручного управления роботом и оперативной реакции на срабатывание измерительного щупа. Предпочтение следует отдать протоколам на базе Ethernet, что позволит организовать как обмен управляющими данными, так и передачу исполняемых файлов через один физический интерфейс. Наиболее подходящими из доступных решений являются ProfiNet и EtherNet/IP. Использование протокола EtherCAT не рекомендуется, так как оно может создать избыточную нагрузку на сеть и негативно сказаться на работе других сетевых узлов. Применение протокола VARAN также нерационально ввиду его низкой распространённости по сравнению с альтернативными вариантами.

Протокол ProfiNet [6] был разработан компанией Siemens и поддерживается всеми её ПЛК. Поэтому для построения системы управления верхнего уровня выбраны оборудование и ПО фирмы Siemens (на момент создания системы свободно доступные на отечественном рынке). В частности – ПЛК с CPU 1512SP F-1 PN, мобильная панель оператора KTP700F и SCADA-система WinCC RT Professional.

Такое решение упрощает взаимную интеграцию данных компонентов, за счёт готовых решений по их сетевому взаимодействию и единой среды разработки TIA Portal [7]. Для связи ПЛК со SCADA-системой и мобильной панелью используется внутренний протокол фирмы Siemens – S7comm [8]. А прямое взаимодействие между последними возможно через OPC UA сервер, развёрнутый в SCADA-системе.

Программное обеспечение системы управления выкладочной головой является самостоятельно разработанным программным продуктом и в перспективе не имеет ограничений на протокол информационного обмена. Однако в рамках задачи создания системы автоматической выкладки требуется, чтобы данный протокол был открытым, а также совместим с используемой SCADA-системой. Кроме того, с точки зрения унификации, необходимо использовать уже задействованный в системе управления протокол. Рациональным выбором такого протокола является OPC UA [9].

В системе управления выкладочной головой и ЧПУ робота созданы сетевые папки, позволяющие передавать в них исполняемые файлы по стандартному протоколу SMB (ServerMessageBlock) [10]. Для сетевого соединения используется те же интерфейсы Ethernet, что и для коммуникации.

В таблице 1 приведены выбранные протоколы цифрового обмена между элементами системы автоматической выкладки.

Таблица 1

Сетевые протоколы взаимодействия

	ПЛК	ВГ	МПО	Робот
ПК	S7comm	OPC UA	OPC UA	SMB
ПЛК	-	-	S7comm	ProfiNet

Система безопасности

Основную угрозу оператору несут движущееся части системы автоматической выкладки и мощное излучение лазерного нагревателя.

Для минимизации рисков получения травм от движущихся частей существует три режима работы системы: ручной, полуавтоматический и автоматический.

В автоматическом режиме робот воспроизводит движения, заданные программой выкладки. В данном случае оператор может контролировать процесс перемещения только в части его инициации, остановки или изменения скорости выполнения программы. Для достижения максимальной производительности программа автоматической выкладки должна выполняться со скоростями перемещения робота близкими к максимальным. В процессе выкладки скорость перемещения выкладочной головы может достигать 0,75 м/с, а при холостых перемещениях – до 4 м/с. Оператор не способен эффективно реагировать на опасности при таких скоростях и для его безопасности должен отсутствовать в зоне перемещения робота и находиться в комнате оператора.

Во время технического обслуживания или незапланированной остановки требуется осуществлять ручное перемещение робота. Перемещение робота ограничено как возможными столкновениями элементов конструкции, так и гибкостью волновода лазерного нагревателя. С целью исключения повреждения оборудование процесс перемещения должен визуально контролироваться

оператором в непосредственной близости от робота. Для достижения безопасности оператора в этом случае введены дополнительные меры защиты:

– ограничение максимальной скорости перемещения робота;

– осуществление перемещения робота только при зажатой кнопке разрешения на мобильной панели оператора;

– использование кнопки разрешения с темя состояниями: «Нейтральная позиция», «Разрешено» и «Паника» (когда оператор неосознанно сильно зажимает кнопку во время опасной ситуации);

– использование мобильного пульта оператора с интегрированной кнопкой аварийной остановки, для постоянного доступа оператора к ней.

В полуавтоматическом режиме работы у оператора появляется возможность запуска предварительно сгенерированных программ выкладки (с целью их отладки) и программ автоматических измерений (с целью контроля расположения оправки в пространстве). Поскольку траектории движения робота-манипулятора генерируются с учётом возможных столкновений, то вероятность повреждения оборудования снижена, но контроль перемещения оператором всё равно необходим. Поэтому для обеспечения безопасности оператора применяются те же меры, что и в ручном режиме.

Случайное отражение лазерного излучения может привести к потере зрения человеком. Поэтому нахождение человека в помещении во время работы лазерного нагревателя не допустимо. Поэтому активация ручного и полуавтоматического режимов автоматически приводит к блокировке работы лазерного излучения. Для гарантированного запрета излучения лазера применяется отдельный ключ разрешения (поз. 5 на рисунке 3), позволяющий в отключенном состоянии извлечь ключ, тем самым исключив опасность от действий третьих лиц. Внутри помещения оператора защита от лазерного излучения достигается с помощью специального защитного стекла.

Из вышесказанного следует, что большое внимание необходимо уделить контролю нахождения человека внутри рабочей зоны. Для этого входная дверь оборудована блокировкой открытия. А для исключения случайного доступа двери и ворота оборудованы кодируемыми датчиками открытия с 2 безопасными

выходами SC, в случае срабатывания которых система автоматически останавливает все опасные для человека процессы. Для исключения запирания человека внутри рабочей зоны дверь изнутри не блокируется, а также факт отсутствия человека внутри рабочей зоны подтверждается оператором после визуального контроля путём квитирования соответствующего сообщения в SCADA-системе.

Обработка сигналов с датчиков безопасности и мобильной панели оператора осуществляется контроллером безопасности с соответствующими модулями ввода-вывода F-DI и F-RQ. Таким образом достигается 3 категория безопасности согласно ГОСТ ISO13849-1–2014.

Апробация разработанного интерфейса «человек-машина»

Реализованная по данным принципам система автоматической выкладки сухой углеродной ленты введена в эксплуатацию в 2023 году в опытной лаборатории технологий и конструкций из полимерных композиционных материалов АО «АэроКомпозит». На рисунке 3 приведено рабочее место оператора с основными органами управления ЧМИ. На рисунке 4 представлена экранная форма реализованной SCADA-системы.

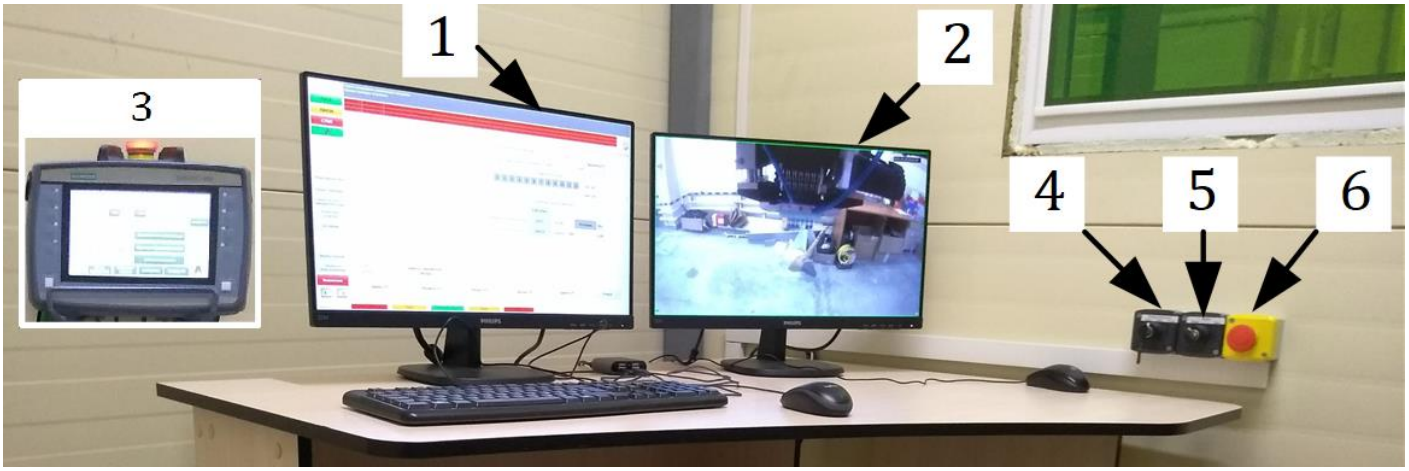


Рисунок 3 – Органы управления системы автоматической выкладки: 1 – монитор ЧМИ; 2 – монитор видеонаблюдения; 3 – мобильный пульт оператора; 4 – ключ переключения режимов работы выкладочного комплекса; 5 – ключ разрешения работы лазера; 6 – кнопка аварийной остановки

Сравнение разработанного ЧМИ с интерфейсами зарубежных производителей выкладочных комплексов, таких как Coriolis [11, 12] (рисунок 5)

и MTores [13, 14] (рисунок 6), показало, что реализованный интерфейс не уступает аналогам в функциональных возможностях. А существующие отличия вызваны используемой системой ЧПУ и не вносят неудобств в работу оператора. При этом уровень безопасности оператора полностью соответствует аналогам.

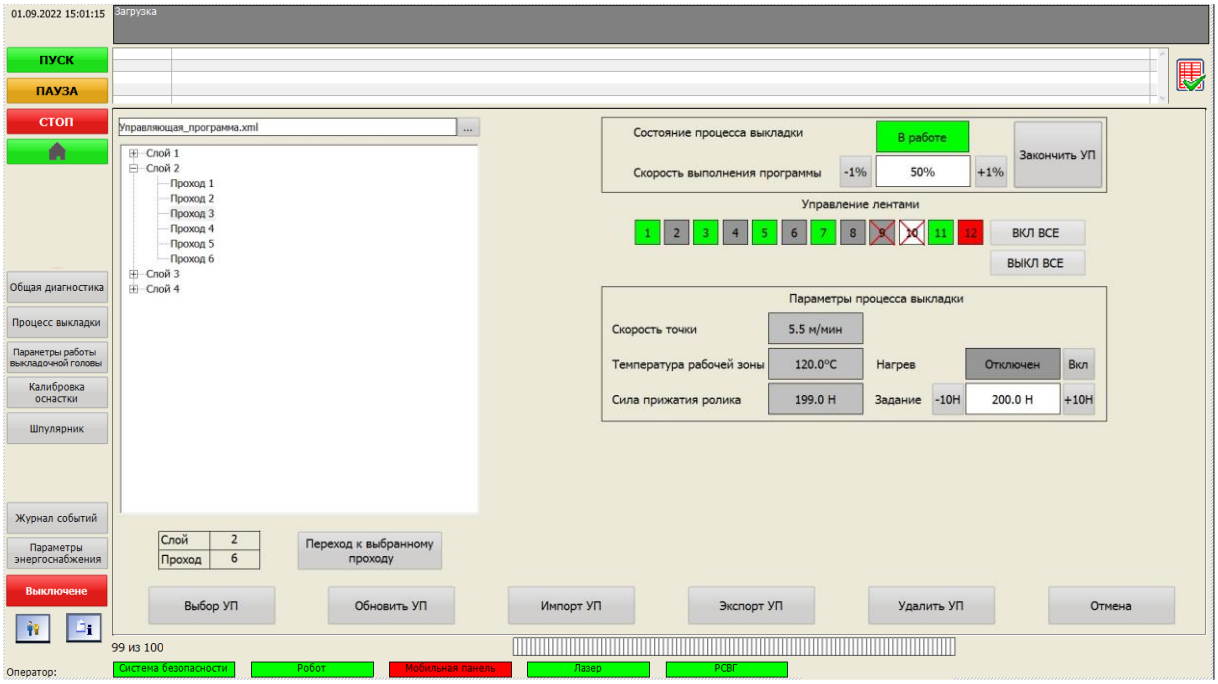


Рисунок 4 – Пример экранной формы ЧМИ, разработанной ЮРГПУ(НПИ) и АО «АэроКомпозит»

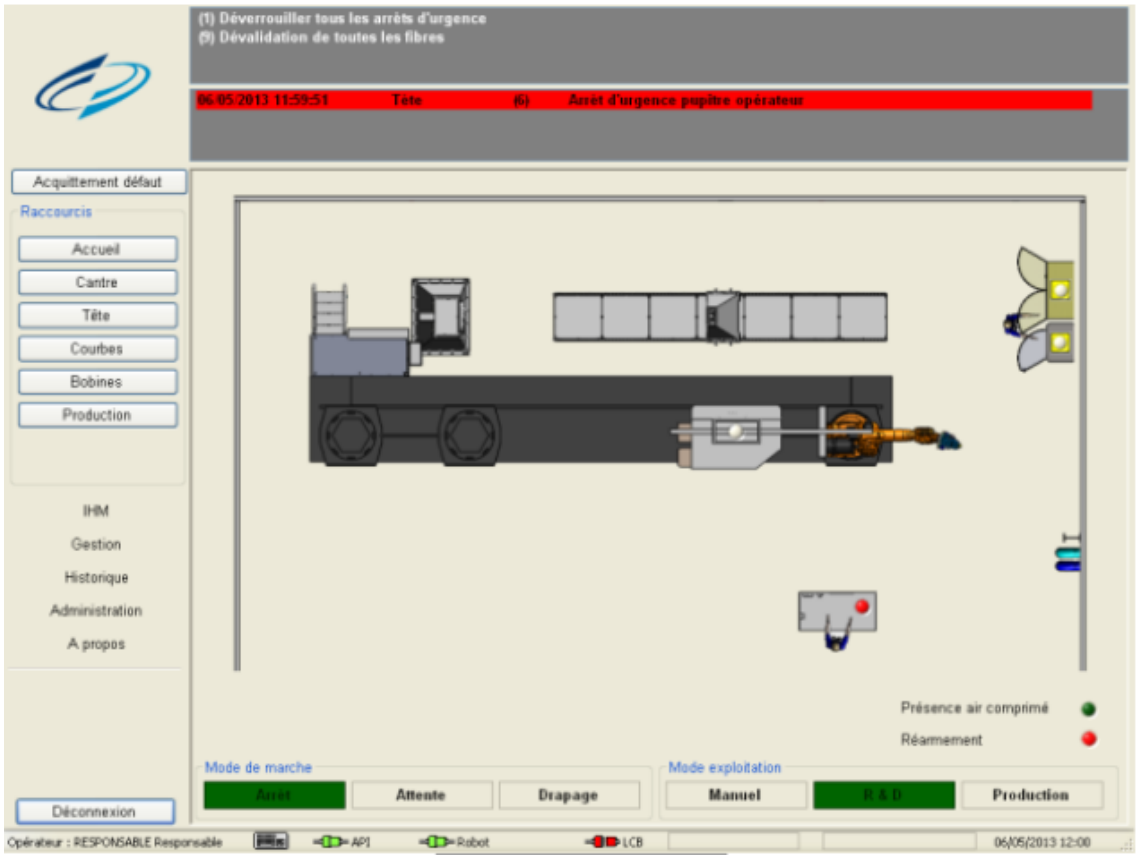


Рисунок 5 – Пример экранной формы ЧМИ фирмы Coriolis

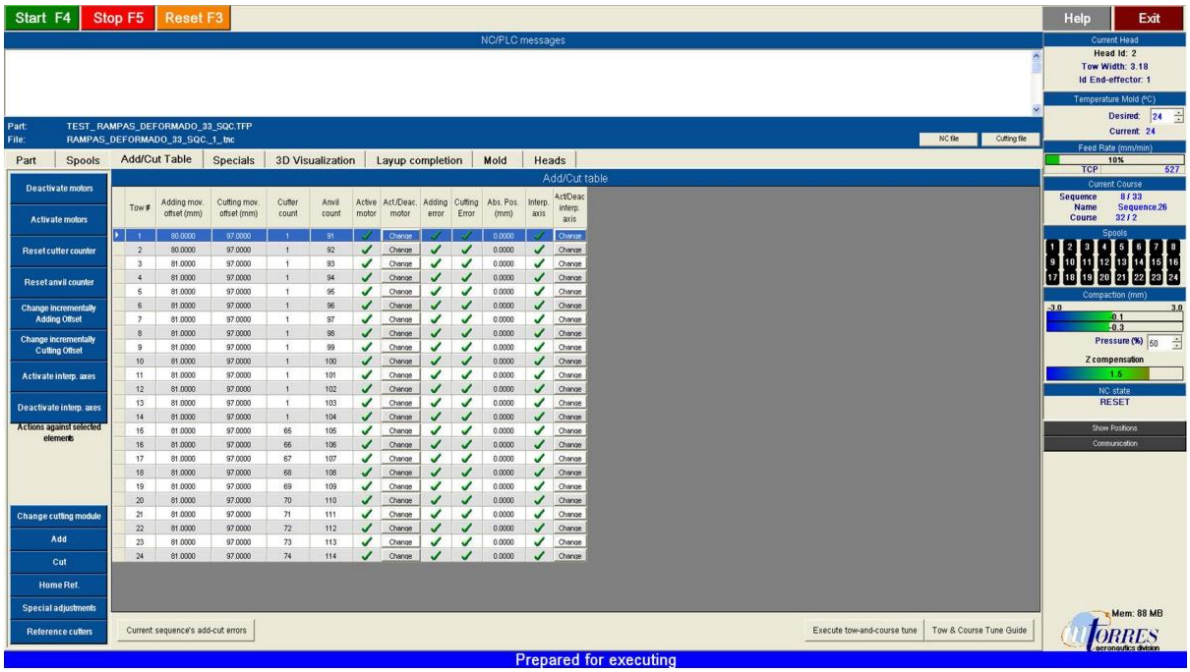


Рисунок 6 – Пример экранной формы ЧМИ фирмы MTores

Результаты работы

В ходе проделанной работы были получены следующие научно-технические и практические результаты:

1. Разработана система управления с интерфейсом «человек-машина» для первой отечественной промышленной системы автоматической выкладки сухой углеродной ленты.

2. Предложена и реализована гетерогенная сетевая архитектура обмена данными, объединяющая протоколы реального времени (ProfiNet для связи ПЛК и робота) и открытые стандарты индустрии 4.0 (OPC UA для интеграции SCADA и специализированного ПО выкладочной головы), что обеспечило детерминированное время реакции системы безопасности (до 10 мс) при сохранении гибкости настройки параметров.

3. Разработан и обоснован комплексный алгоритм функционирования ЧМИ, который связывает состояния мобильной панели оператора, кодируемых датчиков дверей и контроллера безопасности Siemens. Это позволило достичь 3-й категории безопасности по ГОСТ ISO 13849-1–2014 для технологического процесса, сочетающего высокоскоростное движение робота (до 4 м/с) и мощное лазерное излучение, без снижения общей производительности комплекса.

4. Получены экспериментальные подтверждения адекватности разработанного ЧМИ при изготовлении силовых конструкций крыла самолета МС-21. Доказано, что отечественная реализация интерфейса на базе унифицированных промышленных компонентов (Siemens TIA Portal, WinCC RT Professional) не уступает по эргономике и уровню безопасности интерфейсам ведущих зарубежных производителей (Coriolis, MTorres), что указывает на высокий импортозамещающий потенциал разработанного решения.

Заключение

Опытная эксплуатация системы автоматической выкладки сухой углеродной ленты подтвердила состоятельность описанных подходов и принципов для построения человеко-машинного интерфейса и обеспечения безопасности персонала. Выбранные протоколы обмена позволили реагировать на сигналы безопасности с дискретностью до 10 мс и обеспечить отображение информации на экране оператора с периодом 100 мс, что достаточно для формирования у оператора ощущения непрерывности. За срок эксплуатации комплекса не установлено ситуаций, подвергающих опасности жизнь и здоровье оператора.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Мантуров Д.В. Технико-экономический анализ разработки и производства авиационной техники на основе программно-целевого управления авиастроительной отраслью промышленности // Труды МАИ: электрон. журнал. № 58. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=33310

2. Тимошков П.Н. Оборудование и материалы для технологии автоматизированной выкладки препрегов // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 2 (41). С. 35 – 39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39

3. Маринин В.И., Савин А.Г., Андреев Д.С. Расчёт линий укладки лент на поверхности технологической оправки в процессе формирования деталей из композиционных материалов методом автоматизированной выкладки // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2023. № 4. С. 55–62. http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2023-4-55-62.

4. Маринин В.И., Абраменков Г.В., Лысогорский К.А., Савин А.Г., Андреев Д.С. Математическое моделирование траекторий движения рабочих органов роботизированного выкладочного комплекса с ЧПУ в процессе автоматизации технологической подготовки производства силовых конструкций крыла самолета МС-21 // Труды МАИ: электрон. журнал. № 149. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=189166

5. KUKA System Technology. KUKA.WorkVisual 5.0 /KUKA Deutschland GmbH, 2018 – 247 с.

6. Протокол PROFINET. URL: www.profinet.com (дата обращения: 16.02.2026)

7. Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) : Siemens AG. URL: https://www.siemens.com/en-us/products/tia-portal/ (дата обращения: 20.10.2026).

8. Communicating with PLCs (Basic Panels, Panels, Comfort Panels, RT Advanced, RT Professional) : Manual / Siemens. – [S. l.] : Siemens AG, 2024. – 1061 p.

9. Unified Architecture – Landingpage. URL: https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/ (дата обращения: 16.02.2026)

10. What is Microsoft SMB Protocol and CIFS Protocol. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/fileio/microsoft-smb-protocol-and-cifs-protocol-overview?redirectedfrom=MSDN(дата обращения: 14.02.2026)

11. Coriolis. Human Machine Interfaces (HMI). URL: https://www.coriolis-composites.com/machines/human-machine-interfaces-hmi/ (дата обращения: 16.02.2026)

12. Maylis Uhart, Olivier Patrouix, Yannick Aoustin. Improving manufacturing of aeronautical parts with an enhanced industrial Robotised Fibre Placement Cell using an external force-vision scheme. International Journal on Interactive Design and

Manufacturing, 2015, p., 1-21, Print ISSN 1955-2513, Online ISSN 1955- 2505. ⟨10.1007/s12008-015-0271-6⟩. ⟨hal-01179004⟩

13. XUE Ke, HE Daliang, XUE Kai, MA Zhanyu, TANG Shanshan, ZHANG Liang, FANG Xiaobin Automatic fiber placement of large-size gradual section spar // COMPOSITES SCIENCE AND ENGINEERING, 2023, 0(11): C. 96-101. DOI: 10.19936/j.cnki.2096-8000.20231128.013

14. Automatic Fiberplacement Machine – TORRESFIBERLAYUP https://mtorres.es/en/equipment/manufacturing-systems/lamination/automatic-machine-of-fiberplacement-torresfiberlayup (дата обращения: 16.02.2026)

References

1. Manturov D.V. Technical and Economic Analysis of the Development and Production of Aviation Equipment Based on Program-Targeted Management of the Aircraft Manufacturing Industry // Trudy MAI. No. 58. (In Russ.). URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=33310

2. Timoshkov P.N. Equipment and materials for the technology of automated calculations prepregs // Aviation Materials and Technologies. 2016. № 2 (41). P. 35 – 39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39

3. Marinin V.I., Savin A.G., Andreev D.S. Calculation of the laying lines of tapes on the surface of the technological mandrel in the process of forming parts from composite materials by the automated layout method. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Techn. nauki=Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences. 2023;(4):55-62. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2023-4-55-62.

4. Marinin V.I., Abramenkov G.V., Lysogorsky K.A., Savin A.G., Andreev D.S. Mathematical modeling of the trajectories of the working elements' motion in a robotic laying system with CNC in the process of automating the technological preparation of the production of load-bearing structures for the wing of the MS-21 aircraft // Trudy MAI. 2026. No. 149. (In Russ.). URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=189166

5. KUKA System Technology. KUKA.WorkVisual 5.0 /KUKA Deutschland GmbH, 2018 – 247 pp.

6. PROFINET protocol. URL: www.profinet.com (date of access: 16.02.2026)

7. Totally Integrated Automation Portal. URL: https://www.siemens.com/en-us/products/tia-portal/ (date of access: 16.02.2026)

8. Communicating with PLCs (BasicPanels, Panels, Comfort Panels, RTAdvanced, RT Professional): Manual/ Siemens, 2024 – 1061 pp.

9. Unified Architecture – Landingpage. URL: https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/ (date of access: 16.02.2026)

10. What is Microsoft SMB Protocol and CIFS Protocol?URL: https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/fileio/microsoft-smb-protocol-and-cifs-protocol-overview?redirectedfrom=MSDN (date of access: 14.02.2026)

11. Coriolis. Human Machine Interfaces (HMI) https://www.coriolis-composites.com/machines/human-machine-interfaces-hmi/ (date of access: 16.02.2026)

12. Maylis Uhart, Olivier Patrouix, Yannick Aoustin. Improving manufacturing of aeronautical parts with an enhanced industrial Robotised Fibre Placement Cell using an external force-vision scheme. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2015, p., 1-21, Print ISSN 1955-2513, Online ISSN 1955- 2505. ⟨10.1007/s12008-015-0271-6⟩. ⟨hal-01179004⟩

13. XUE Ke, HE Daliang, XUE Kai, MA Zhanyu, TANG Shanshan, ZHANG Liang, FANG Xiaobin Automatic fiber placement of large-size gradual section spar // COMPOSITES SCIENCE AND ENGINEERING, 2023, 0(11): C. 96-101. DOI: 10.19936/j.cnki.2096-8000.20231128.013

14. Automatic Fiberplacement Machine – TORRESFIBERLAYUP https://mtorres.es/en/equipment/manufacturing-systems/lamination/automatic-machine-of-fiberplacement-torresfiberlayup (date of access: 16.02.2026)

Информация об авторах

Геннадий Владимирович Абраменков, кандидат экономических наук, Заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России), г. Москва, Россия

Кирилл Алексеевич Лысогорский, Первый Заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации, (Минпромторг России), г. Москва, Россия

Александр Владимирович Гутенев, кандидат экономических наук, доцент, Заместитель генерального директора, ПАО «Объединённая авиастроительная корпорация», г. Москва, Россия; e-mail: a.v.gutenev@gmail.com, Author ID РИНЦ 923234, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2713-8750

Сергей Георгиевич Страданченко, доктор технических наук, профессор, ректор, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия; Author ID РИНЦ 443832, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8261-1144; e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Дмитрий Юрьевич Богданов, кандидат технических наук, ведущий инженер, Научно-исследовательский институт вычислительных, информационных и управляющих систем, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия; https://orcid.org/0000-0002-7851-6045, ResearcherID ABG-3835-2020, Scopus ID 57219152829; e-mail: bogdanov_dmitr@mail.ru

Александр Геннадьевич Савин, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вычислительных, информационных и управляющих систем Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия; Author ID РИНЦ 642283; e-mail: savin_alexandr@mail.ru

Information about the authors

Gennady V. Abramenkov, Candidate of Economic Sciences, Deputy Minister of Industry and Trade of the Russian Federation (Ministry of Industry and Trade of Russia), Moscow, Russia

Kirill A. Lysogorsky, First Deputy Minister of Industry and Trade of the Russian Federation (Ministry of Industry and Trade of Russia), Moscow, Russia

Alexander V. Gutenev, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Deputy General Director, Public Joint Stock Company «United Aircraft Corporation»,

Moscow, Russia; e-mail: a.v.gutenev@gmail.com, RSCI Author ID 923234, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2713-8750

Sergey G. Stradanchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia; RSCI Author ID 443832, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8261-1144; e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Dmitriy Yu. Bogdanov, Candidate of Technical Sciences, Lead Engineer, Scientific Research Institute of Computing, Information and Control Systems of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7851-6045, ResearcherID ABG-3835-2020, Scopus ID 57219152829; e-mail: bogdanov_dmitr@mail.ru

Alexander G. Savin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Scientific Research Institute of Computing, Information and Control Systems of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia; Author ID RISC 642283; e-mail: savin_alexandr@mail.ru

Получено 07 апреля 2026 ● Принято к публикации 20 июня 2026 ● Опубликовано 28 октября 2026
Received 07 April 2026 ● Accepted 20 June 2026 ● Published 28 October 2026