

УДК 658.512

Разработка аванпроекта роботизированного производства изделий ракетно - космической техники

Морозов Алексей Алексеевич

Жаргалова Аягма Дашибалбаровна (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Представлен аванпроект роботизированного производства титановых шар-баллонов для ракетно-космической техники. Основное внимание уделено автоматизации технологических процессов, включая гидроабразивную резку, гидравлическую вытяжку полусфер, контроль качества полуфабрикатов, механообработку и сварку, с использованием модульного подхода. Предложены конфигурации производственного комплекса, схемы размещения оборудования и маршрутизации материальных потоков. Особое внимание уделено интеграции Product Data Management системы (PDM) для управления данными, планирования и оптимизации процессов.

Ключевые слова: роботизированное производство, титановые шар-баллоны, гидравлическая вытяжка, PDM-система, планирование, автоматизация, аванпроект

Введение. Современные требования к производству изделий ракетно-космической техники (РКТ) диктуют необходимость внедрения автоматизированных и роботизированных решений для повышения точности, производительности и безопасности процессов. Шар-баллоны, используемые в качестве топливных емкостей, требуют высокого качества изготовления, что достигается за счет применения современных технологий, таких как гидроабразивная резка, гидравлическая вытяжка, автоматизированная сварка, автоматизация контрольных операций [1].

Постановка задачи. Целью работы является разработка аванпроекта роботизированного производства шар-баллонов, включающего: выбор конфигурации производственного комплекса, определение состава оборудования, проектирование компоновки модулей, расчет экономических и временных показателей.

Проектирование производственной концепции. Для реализации роботизированного производства шар-баллонов разработан модульный производственно-технологический маршрут, включающий следующие ключевые этапы: Складская система, модуль резки, модуль вытяжки, модуль контроля, модуль механической обработки, модуль сварки [2].

Разработка складской модуля и модуля гидроабразивной резки. Складской модуль и модуль гидроабразивной резки предназначены для обеспечения хранения запаса титановых листов и оперативное вырезание заготовок под сферы требуемых диаметров.

Состав двух модулей определен следующим образом: порталый робот AL-LMH, участок разгрузки, станок гидроабразивной резки APW 1530BA, участок выдачи заготовок, автоматизированный склад mono-tower, 4-х осевой

манипулятор, система автоматического управления. Входными параметрами являются листы из сплава марки ВТ6-С, выходными вырезанные гидроабразивом. На рис. 1 представлены результаты организации модулей.

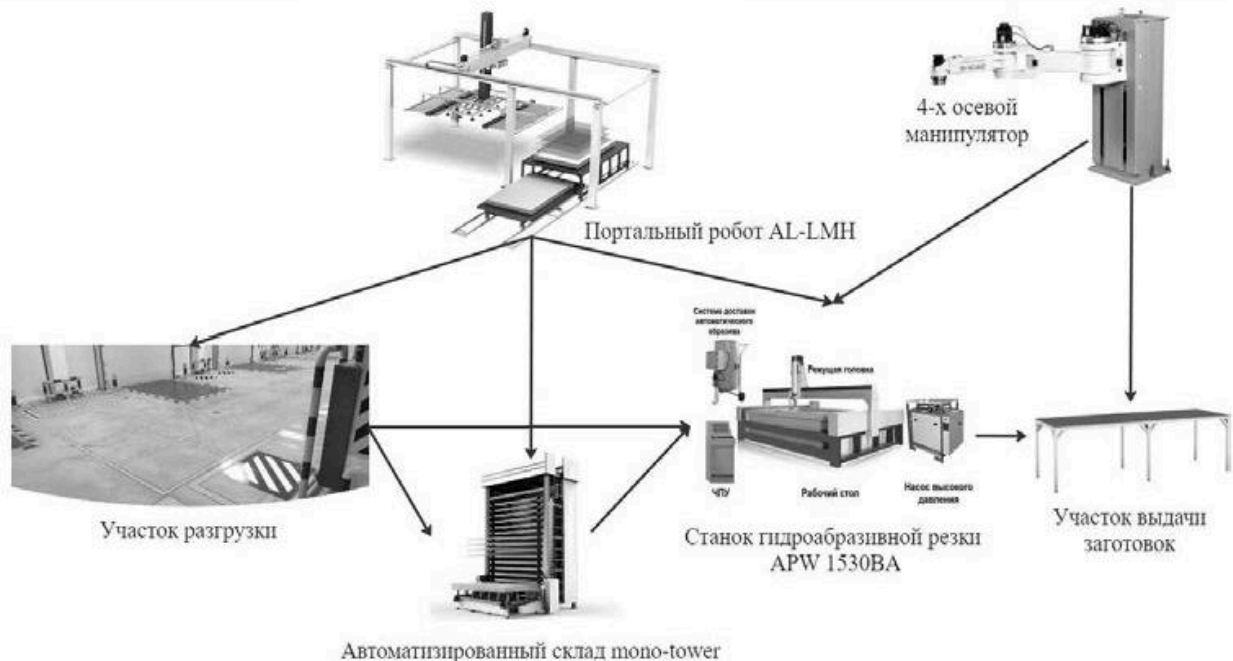


Рис. 1. Организация складского модуля и модуля гидроабразивной резки

Разработка модуля гидравлической вытяжки. Модуль гидравлической вытяжки выполняет формовку полусфер из круглых заготовок методом горячей штамповки в четыре технологических этапа [3]. Основное оборудование модуля включает: вакуумную печь Д-9.9.3-13,5УУ-ИВТ-Ф для нагрева заготовок до рабочей температуры, гидравлический пресс YD32-500 для штамповки, робот-манипулятор QF Machining Solution для транспортировки заготовок между операциями. В качестве вспомогательного оборудования используются грузовые стеллажи Smart Shelf Hard грузоподъемностью 3,5 т. На вход модуль принимает вырезанные круги диаметром 377 и 644 мм, на выходе получают готовые полусферы с допуском по геометрии $\pm 0,3$ мм. На рис. 2 представлены результаты проектирования компоновки модуля гидравлической вытяжки.

Разработка модуля контроля качества. Модуль контроля качества обеспечивает всестороннюю проверку изделий на соответствие техническим требованиям. Основу модуля составляют: дефектоскоп УСД-60ФР для выявления внутренних дефектов, поворотный стол GH-800НТ для удобства проведения измерений. Автоматизацию процессов контроля осуществляют промышленный робот KUKA KR 500 R2830 и коллаборативный робот KUKA LBR iiwa 11 R1300, оснащенные сменными захватными устройствами. Модуль принимает на контроль полусферы как с ободком, так и без, а также готовые шар-баллоны. По результатам контроля изделия сортируются на три

категории: годные — с отклонениями не более $\pm 0,2$ мм, бракованные и требующие доработки. Для обработки результатов измерений используется специализированное программное обеспечение, анализирующее такие параметры как шероховатость поверхности не более $Ra\ 1,6$ мкм, толщину стенок и отсутствие внутренних дефектов [4]. На рис. 3 представлены результаты проектирования компоновки модуля контроля качества.

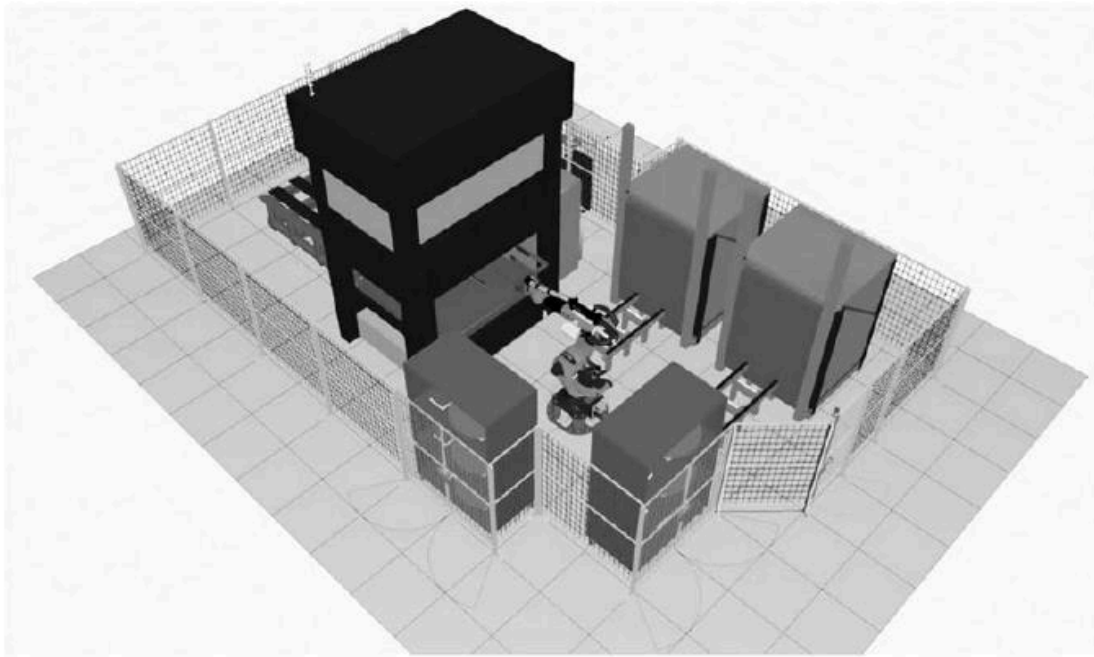


Рис. 2. Компоновка модуля гидравлической вытяжки

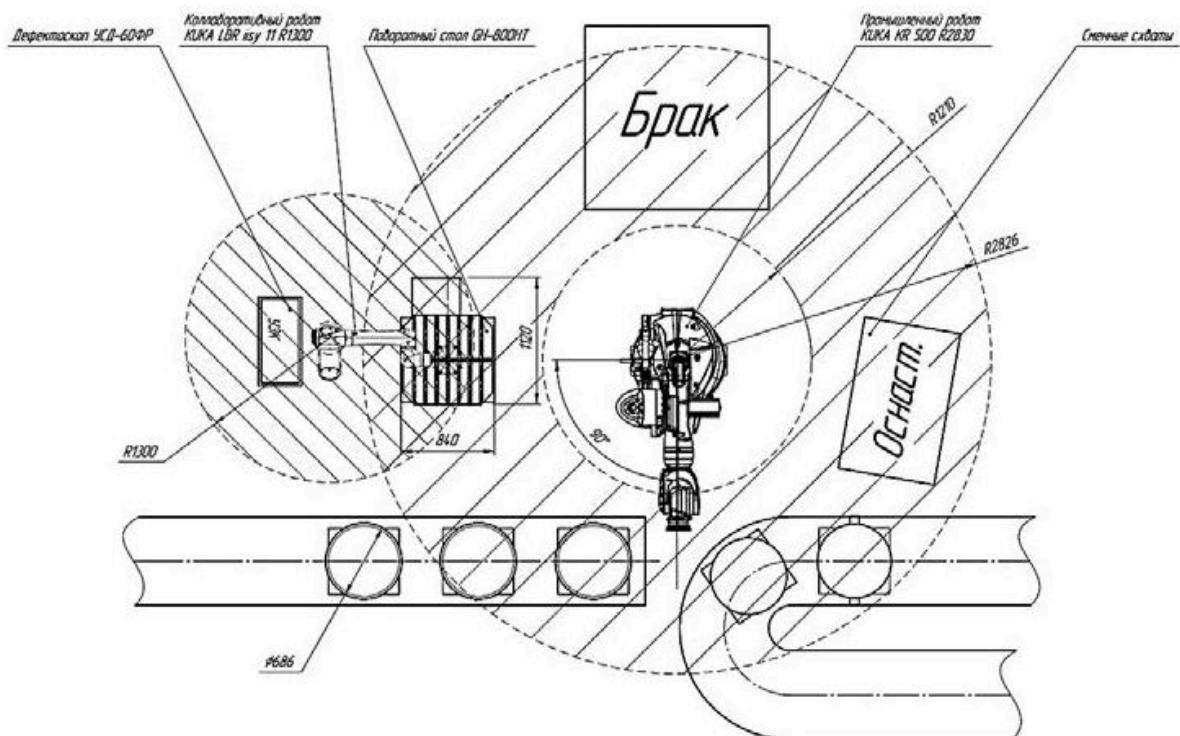


Рис. 3. Компоновка модуля контроля качества

Решение задачи автоматизации обработки заказов. На производстве изделий РКТ автоматизация обработки заказов реализована с помощью внедрения цифровых технологий управления жизненным циклом продукции. В рамках аванпроекта комплекса изготовления шар-баллонов компьютерного интегрированного производства (КИП) в качестве базовой платформы развернута российская PDM-система T-FLEX, обеспечивающая: централизованное хранение конструкторской документации, управление изменениями на всех этапах проектирования, интеграцию с CAD/CAM-системами и автоматическое формирование спецификаций. Выбор данного программного комплекса обусловлен его адаптивностью к требованиям ракетно-космической отрасли, включая поддержку российских стандартов оформления КД и возможность работы с особыми режимами секретности.

Компоновка роботизированного участка. На основе разработанных модульных решений сформирована оптимальная компоновка роботизированного производства шар-баллонов. Производственный участок включает четыре ключевых модуля: складской комплекс для хранения и подачи титановых листов, модуль гидроабразивной резки с высокоточным оборудованием, участок гидравлической вытяжки полусфер и модуль контроля качества с современными измерительными системами. Все технологические модули объединены в единую производственную линию с логистическими потоками, обеспечивающими минимальное время межоперационных перемещений [5]. Компоновка разработана с учетом требований эргономики и безопасности и представлена на рис. 4.

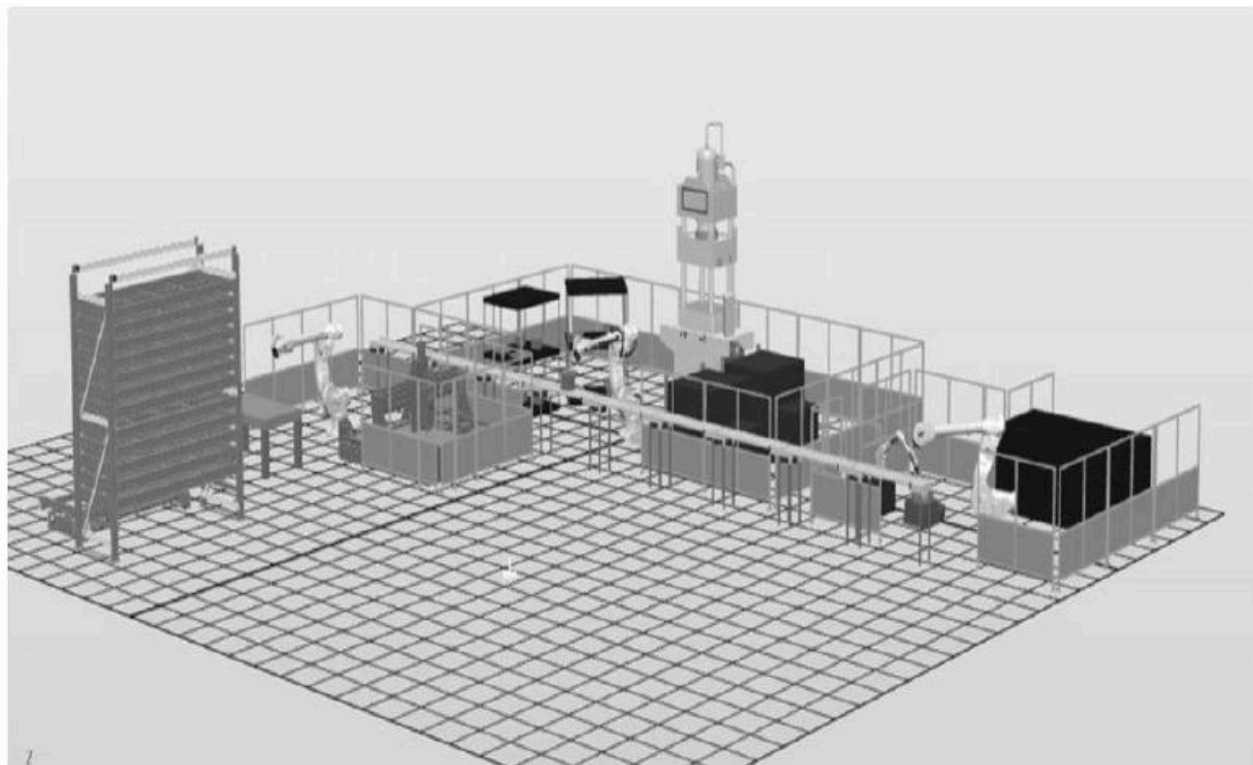


Рис. 4. Компоновка роботизированного участка

Оценка стоимости проекта и временных затрат. Экономические расчеты выполнены с применением нормативных коэффициентов: 1,5 — для накладных расходов, 1,2 — для требуемых ресурсов и 0,15 — для амортизационных отчислений. В результате определены следующие ключевые показатели проекта, которые представлены в таблице.

Заключение. В ходе работы разработано техническое предложение с уточнением технического задания для создания роботизированного производства заданной номенклатуры титановых шар-баллонов. Основные преимущества предложенного решения: повышение точности изготовления за счет автоматизации, гибкость производства благодаря модульной архитектуре, интеграции систем планирования и управления производством, снижение влияния человеческого фактора.

Результаты оценки показателей проекта для принятия инвестиционного решения

Описание	Единица измерения	Значение оценки
Средняя длительность производственного цикла	ч	40–50
Капитальные затраты на оборудование	тыс. руб.	500 000
Требуемая производственная площадь	кв. м	800
Затраты на базовое программное обеспечение	тыс. руб.	5 000
Соотношение импортного и отечественного оборудования	%	70/30
Штатная численность персонала	ед.	10–12
Годовой фонд оплаты труда	тыс. руб.	18 000–20 000
Производственная себестоимость единицы продукции	руб.	150 000
Общая инвестиционная стоимость проекта	тыс. руб.	600 000

Однако проект имеет ограничения, включая высокие требования к инфраструктуре, зависимость от поставщиков специализированного оборудования и необходимость подготовки квалифицированного персонала.

Литература

- [1] Ломакин И.В., Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С., Широкожухова А.А. Создание передовой технологии и оборудования для изготовления титановых шар-баллонов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 12 (741), с. 37–43.
- [2] Рязанцев А.Ю., Кириллов О.Н. Создание гибких технологических процессов на базе комбинированных методов обработки. *Конструктивные особенности и технология изготовления деталей ракетных двигателей нового поколения: сб. ст.* Воронеж, Воронежский механический завод, 2014, с. 132–136.

- [3] Тарасов В.А., Бараев А.В., Филимонов А.С., Боярская Р.В. Конструкторско-технологические основы унификации параметров цельнометаллических баллонов высокого давления в ракетно-космическом машиностроении. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2014, № 5, с. 70–84.
- [4] Антонов Г.А. *Основы стандартизации и управления качеством продукции*. Санкт-Петербург, Изд-во СПбУЭФ, 2011, 684 с.
- [5] Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С. Разработка и внедрение импортозамещающей технологии изготовления титановых баллонов. *Орбита молодежи. Всерос. молодеж. конкурса науч.-техн. работ: матер.* Санкт-Петербург, БГТУ Военмех, 2019, с. 229–230.

Development of a preliminary design for robotic production of rocket and space technology components

Morozov Alexey Alexeevich

Zhargalova Ayagma Dashibalbarovna (*scientific advisor*)

BMSTU, Moscow, Russia

This study presents a robotic production system for aerospace titanium spherical tanks, employing automated waterjet cutting, hydraulic forming, quality control, machining, and welding via modular design. It proposes optimized equipment layouts and material flow routing, with integrated Product Data Management (PDM) for enhanced process control and efficiency. The modular approach enables flexible, high-precision manufacturing tailored to aerospace requirements.

Keywords: robotic production, titanium spherical tanks, hydraulic forming, PDM system, planning, automation, preliminary design