

УДК 681.5

Анализ систем хранения заготовительного материала титановых шар-баллонов. Проектирование автоматизированного участка хранения листового материала

Пирожков Вадим Евгеньевич

Жаргалова Аягма Дашибалбаровна (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрено проектирование автоматизированного участка хранения листового материала для изготовления титановых шар-баллонов. Проведен сравнительный анализ материала, расчет объема и массы заготовки, составлен алгоритм расчета коэффициента раскроя разных типоразмеров листового материала. Кроме того, проведена разработка компоновочной схемы, а также описан процесс распределения листового материала. Проведен подбор оборудования, разработана структурная схема системы управления процессом складирования и интерфейс системы.

Ключевые слова: титановый шар-баллон, коэффициент раскроя, система хранения, листовой материал, оборудование, интерфейс

Введение. Титановые сплавы имеют широкое применение в космической промышленности. Например, изготовление шар-баллонов — герметичных сферических резервуаров, предназначенных для хранения гелия под высоким давлением, которые применяются в жидкостных ракетных двигателях, обеспечивающие эффективную подачу компонентов топлива в камеру сгорания. Основные системы подачи топлива — вытеснительная и турбонасосная — являются важными конструктивными элементами и обеспечивают надежную работу ракет-носителей, таких как «Протон», «Ангара».

Для изготовления шар-баллонов используется листовый материал из титана марок ВТ6 и ВТ14, которые обладают высокой прочностью, малым удельным весом, устойчивостью к коррозии и способностью сохранять свои характеристики в широком температурном диапазоне. Использование титана марок ВТ6 и ВТ14 в шар-баллонах не только повышает надежность и долговечность конструкции, но и снижает общий вес системы, что критически важно для космических летательных аппаратов. Эти материалы легко поддаются сварке и формовке, что упрощает процесс их обработки и изготовления сложных конструктивных деталей.

В настоящее время листовый материал из титановых сплавов зачастую хранится в штабелях или на стеллажах, в горизонтальных или вертикальных рядах в зависимости от доступного пространства и размера материала. Целью данной работы является разработка автоматизированного склада, обеспечивающего эффективное хранение, перемещение и учет листового титана с применением современных технологий автоматизации.

Достижение эффективности производства. Для достижения высокой эффективности производства важно не только выбрать подходящий материал, но и организовать его хранение и логистику. Эффективное управление запасами и их размещение на складе играет ключевую роль в обеспечении бесперебойного производственного процесса [1]. Обработка и хранение листового титана требуют соблюдения ГОСТ 22178–76. Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия. Листы должны храниться в крытых складских помещениях защищенными от действия влаги, механических повреждений и активных химических реагентов, что связано с высокой стоимостью материала и рисками его повреждения. Склады для листового титана должны быть оборудованы системами, предотвращающими коррозирование, деформацию, царапины и механические повреждения, а также учитывать оптимальное использование пространства из-за значительных размеров листового материала.

Произвести расчет коэффициента раскроя листового материала, рассмотреть недостатки существующих систем хранения листового титана, разработать оптимальную компоновочную схему складского пространства, обеспечивающую эффективное хранение и управление перемещением листового титана, а также подобрать оборудование и компоненты системы, разработать информационную модель и интерфейс системы.

Обследование. Объект проектирования — листовой материал из титановых сплавов марок ВТ6 и ВТ14 [2, 3]. Следует подчеркнуть, что титановые сплавы характеризуются высокой прочностью, коррозионной стойкостью и малым весом. Они сохраняют механические свойства в экстремальных условиях, в том числе при высоких (до 500 °С) и низких (криогенных) температурах. Пластичность ВТ6 упрощает обработку, а ВТ14 сохраняет ее при низких температурах. Низкая плотность (4,43–4,45 г/см³) делает их легкими. Легирующие элементы влияют на обрабатываемость: ВТ6 легче поддается механической обработке, чем ВТ14.

Расчет коэффициента раскроя. Существует широкий ассортимент типоразмеров листового материала, однако для оптимизации производственных затрат наиболее выгодным является использование вариантов, обладающих высоким коэффициентом раскроя. В рамках данного анализа рассмотрим два типоразмера заготовок титановых шар-баллонов — Ø990 и Ø620. Коэффициент раскроя показывает, насколько экономично будет использоваться материал. По этому параметру произведем подбор типоразмера листового материала, который будет в дальнейшем храниться на складе.

Составлен алгоритм расчета коэффициента раскроя.

1. Исходные данные. Объем шар-баллона, задается техническими требованиями.

2. Расчет объема полусферы. Шар-баллон состоит из двух полусфер, соединенных сварным швом:

$$V_{\text{полусферы}} = \frac{V_{\text{сф}}}{2}.$$

3. Определение площади внутренней поверхности полусферы. Площадь внутренней поверхности полусферы связана с ее радиусом формулой

$$S_{\text{пов.сф.}} = 2\pi R_{\text{сф.}}^2.$$

4. Определение площади круглой заготовки для полусферы:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{пов.сф.}}; \pi R_{\text{заг}}^2 = 2\pi R_{\text{сф.}}^2;$$

$$R_{\text{заг}} = \sqrt{\frac{2\pi R_{\text{сф.}}^2}{\pi}} = R_{\text{сф.}}\sqrt{2}.$$

5. Подбор листового материала. Подбор листового материала осуществляется согласно требованиям, таким как: толщина листа, типоразмер заготовки. Рассчитывается количество заготовок, которые можно расположить на каждой из сторон листа.

Пример расчет для заготовок Ø990мм (рис. 1):

$$S = 495^2 \times \pi = 769768,73 \text{ мм}^2.$$

Рассмотрим листовой материал типоразмера 1000×2000 и 1000×1000 мм:

$$A = (2000 + 1000) \div 990 \sim 3;$$

$$B = 1000 \div 990 \sim 1,$$

где A, B — коэффициент, показывающий какое количество заготовок умещается на данной стороне листа. Следовательно, на листах 1000×2000 мм и 1000×1000 мм может уместиться $N = A \times B = 3$ заготовки.

6. Расчет коэффициента раскроя. Рассчитывается для каждого размера подобранного ранее листового материала.

Пример расчет для заготовок Ø990мм на листовом материале типоразмера 1000×2000 мм и 1000×1000 мм:

$$S_{\text{заготовок}} = 3 \times S = 2309310 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{листа}} = (2000 + 1000) \times 1000 = 3000000 \text{ мм}^2;$$

$$k_2 = \frac{S_{\text{заготовок}}}{S_{\text{листа}}} = 0,76977.$$

7. Проверка и корректировка. Если $k_2 < 60\%$, то необходимо повторно произвести подбор листового материала, иначе использование такого листового материала будет являться нецелесообразным из-за большого количества отходов. Если $k_2 > 60\%$ и является наибольшим, то такой типоразмер листового материала будет утвержден на производстве.

Расчет объема и массы заготовок. Рассчитаем радиус заготовки. Для сферы $R = 700$ мм он составит $R_{\text{заг}} = 990$ мм.

Для заготовки диаметром 990 мм и толщиной 11 мм рассчитаем объем и массу:

$$V_{\text{заг}} = S_{\text{заг}} * h = \pi R_{\text{заг}}^2 * h = 0,00846 \text{ м}^3;$$

$$m = V_{\text{заг}} * \rho = 0,00846 * 4430 = 37,5 \text{ кг.}$$

Аналогично для заготовки диаметром 620 мм и толщиной 8 мм:

$$V_{\text{заг}} = S_{\text{заг}} * h = \pi R_{\text{заг}}^2 * h = 0,002414 \text{ м}^3;$$

$$m = V_{\text{заг}} * \rho = 0,002414 * 4430 = 10,7 \text{ кг.}$$

Согласно требованиям производительности, были выявлены следующие ключевые параметры для подбора оборудования: серийность производства: 900 шт/год; материал изготовления: сталь ВТ6; размер (диаметр) полученной заготовки: от 620 до 990 мм.

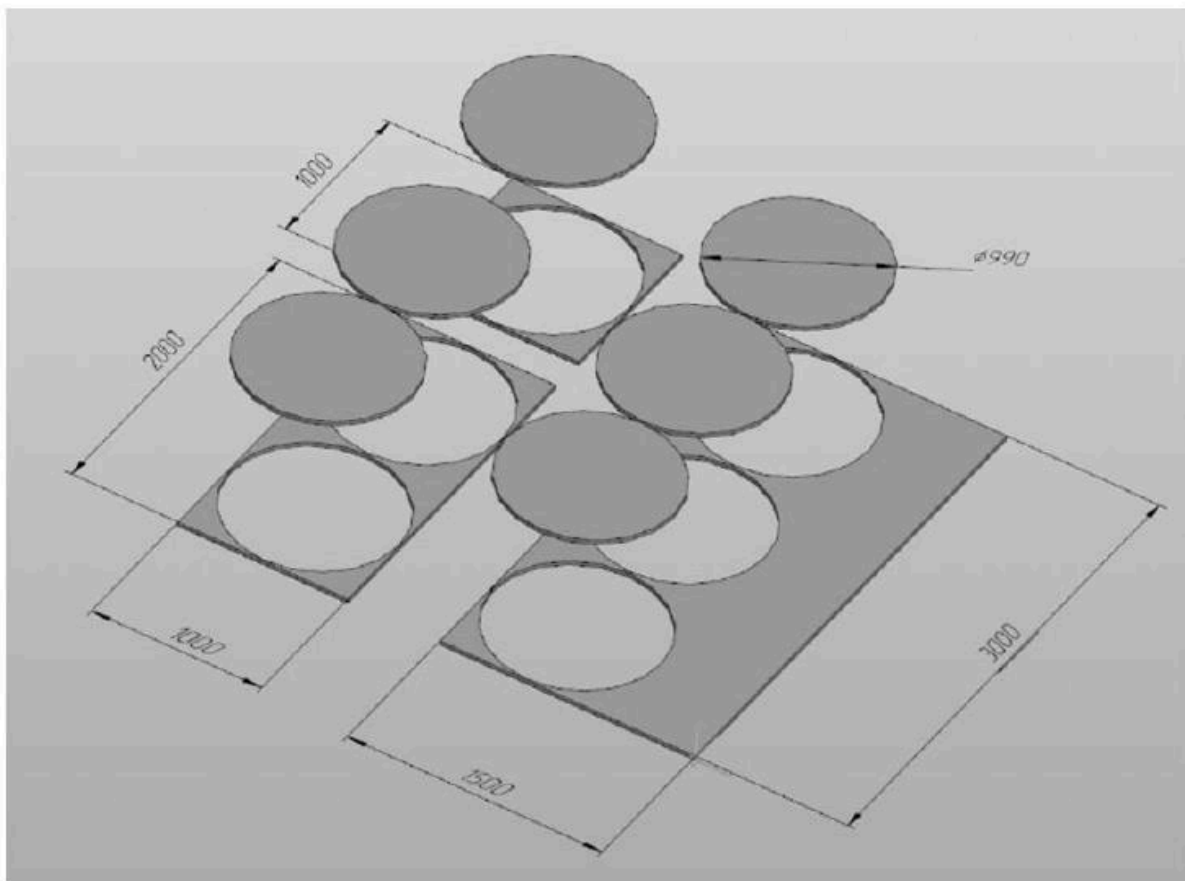


Рис. 1. Расположение заготовок диаметром 990 мм на листовом материале

Компоновочная схема (рис. 2) позволяет выявить следующие ключевые параметры, необходимые для подбора оборудования: размеры листового материала; грузоподъемность; габаритные размеры оборудования; зоны взаимодействия оборудования.

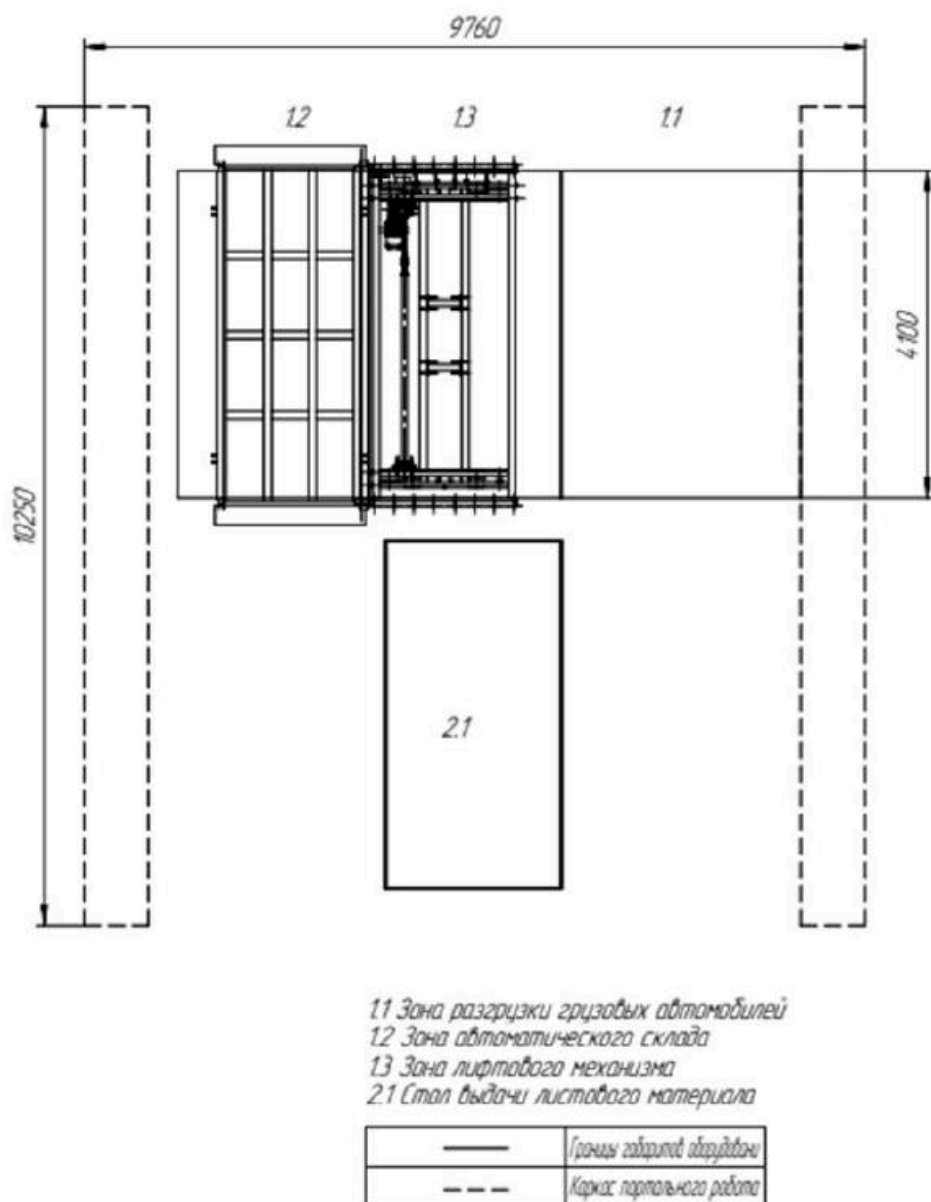


Рис. 2. Компоновочная схема

Система автоматизированного хранения титановых листов включает в себя: автоматизированный склад 1.3, на полках которого будет храниться листовый материал, с лифтовым механизмом 1.2, который поднимается на высоту полки, после чего полка склада выкатывается на него, и лифтовой механизм возвращается в исходную позицию, зона разгрузки грузовых автомобилей 1.1, в которых поставляется листовый материал, автомобили должны быть оснащены откидным верхом, для нормальной работы портального робота, позволяющего перемещать листовый материал, направляющие которого указаны штриховыми линиями, столом выдачи 2.1, на который в дальнейшем перемещаются листы титана для дальнейшей обработки, устройства и программы управления.

Подбор оборудования. Подбор осуществляется согласно выявленным ключевым параметрам из требований производительности и компоновочной схемы.

Для обеспечения выполнения годового плана, при использовании заготовок диаметром 990 мм, получим, что в год необходимо получать и обрабатывать $900/2 = 450$ листов материала ВТ6. Тогда в месяц количество листов составит $450/12 = 37\text{--}38$ шт.

Для заполнения склада данным количеством материала, склад должен соответствовать следующим требованиям:

- выдерживать нагрузку на полку: минимум 584,8 кг, максимум 2100 кг; на каждой полке будет храниться четыре и более листов типоразмером 2000×1000 мм и 1000×1000 мм, толщиной 11 мм;

- количество и размер полок должны вмещать в себя 40 ед. листового материала, высотой 11мм.

Портальный робот с вакуумным захватом должен выдерживать нагрузку до 250 кг и позволять перемещать материал между всеми зонами склада.

В качестве хранилища листового материала выбран автоматический склад mono-tower (рис. 3). Габаритные размеры склада 5300×4000×4500 мм. Количество полок 15 штук, максимальное пространство полки 3000×1500×100 мм, максимальная нагрузка на полку 3000 кг. Ключевым параметрами для выбора является вместительность склада в объеме 240 листов типоразмерами 2000×1000 мм и 1000×1000 мм, что позволяет обеспечить запас листового материала на производстве на 90 и более дней [4].



Рис. 3. Автоматический склад mono-tower

Для заполнения склада и выдачи листового материала, для последующей обработки, был выбран портальный робот AL-LMH (рис. 4), дооснащенный RFID сканером, позволяющим распознавать параметры листа, перемещает

листовой материал с помощью вакуумного захвата. Параметры рабочей зоны выбираются в соответствии с размерами помещения. Ключевыми параметрами выбора являются: максимальный размер листового материала, который робот способен переносить — 1500×3000 мм, грузоподъемность, а также адаптируемость рабочей зоны [5].

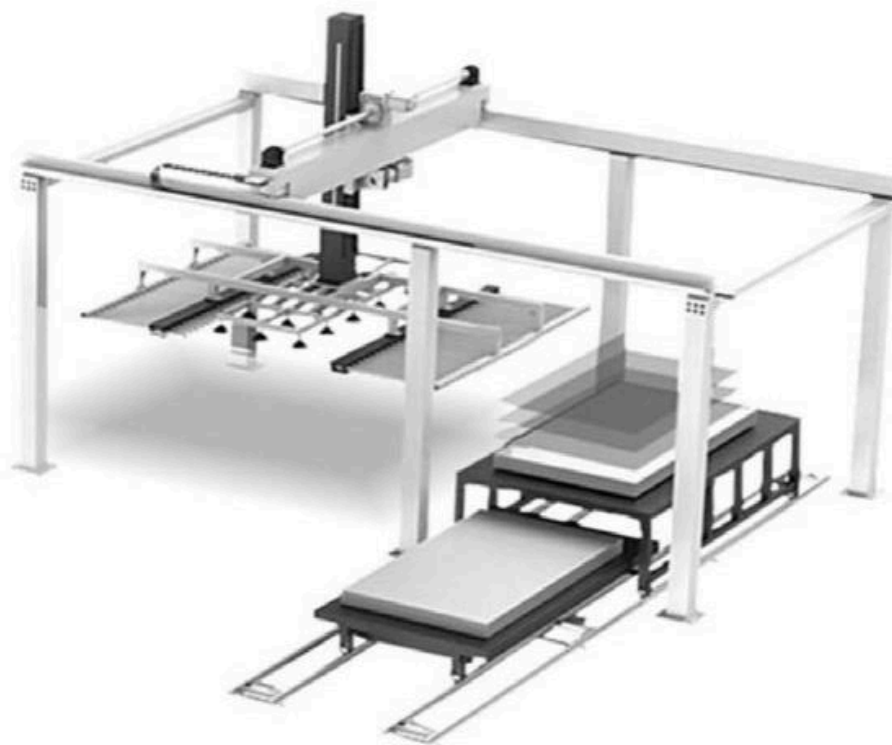


Рис. 4. Портальный робот AL-LMH

Схема управления процессом складирования. Автоматизированная система склада состоит из двух подсистем, системы управления складом и системы управления портальным роботом, а также оборудования, которое позволяет управлять этим системам. Программа перемещения склада включает в себя учет материалов по типоразмеру, оптимизацию заполнения материалов в склад, передачу задач роботу через управляющую программу, выставление приоритетности задач, статистику — заполнение склада, автоматическую передачу данных о статусе материалов. Программа перемещения портального робота включает в себя расчет траектории движения робота, управление его скоростью и плавностью, распознавание препятствий, управление вакуумным захватом, датчик веса, для распознавания материала, получение задач от управляющей программы, пошаговое выполнение задач, модуль безопасности. На рис. 5 представлена схема управления процессом складирования.

Интерфейс системы управления. Интерфейс системы управления позволяет системе работать в двух режимах: ручном и автоматическом. Ручной режим предназначен для точной настройки системы позиционирования обо-

рудования, после чего для управления системой будет использоваться только авторежим. Интерфейс системы содержит пять активных страниц, с которыми пользователь может взаимодействовать.

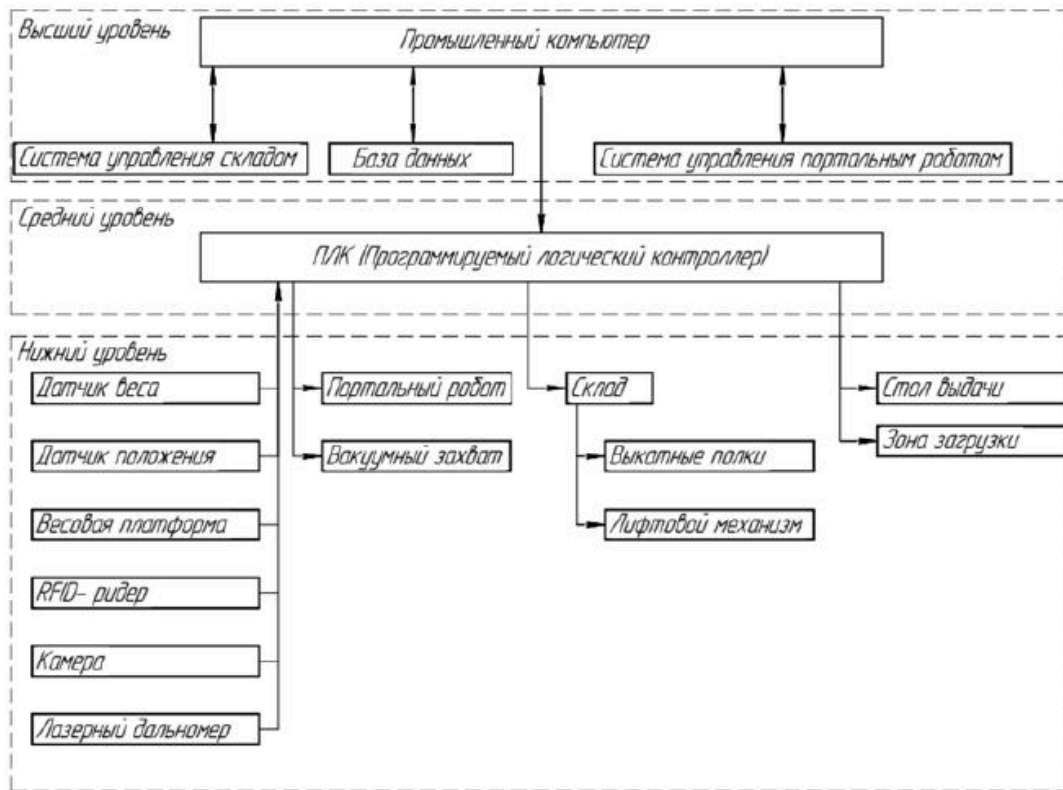


Рис. 5. Схема управления процессом складирования

«Главная» — страница, отображающая основную информацию по текущему состоянию оборудования, его расположению и заполненности (рис. 6).

«Склад» — страница, на которой отображается основная информация и которая позволяет осуществлять ручное управление автоматическим складом — выдвигать выбранную полку на исходную позицию лифтового механизма.

«Портал» — страница, на которой отображается основная информация и которая позволяет осуществлять ручное управление портальным роботом, на ней пользователь может произвести точное позиционирование по координатам, либо пошагово перемещать портальный робот по одной из осей координат, а также управлять вакуумным захватом.

«Программа» — страница, которая позволяет создавать, добавлять или редактировать программы работы складского оборудования.

«Авто» — страница, которая позволяет пользователю выполнить выбранную программу, согласно заданию, которое поступает от системы управления (рис. 7). Данный режим показывает текущее задание, статус оборудования и статус хранилища: сколько листов в наличии, время выгрузки и сколько листов будет использовано согласно заданию.

Закключение. В результате проведенного исследования были проанализированы существующие разработки в области проектирования автоматизированной системы «склад».

Техническое задание, а именно: 1) подбор листового материала для заготовок диаметром 620 и 990 мм; 2) расчет коэффициента раскроя; 3) подбор оборудования, разработка информационной модели и интерфейса складской системы выполнено.

СКЛАД		ПОРТАЛЬНЫЙ РОБОТ		ДАТЧИКИ	
Загружено	40	Позиция	X: 0 Y: 0 Z: 0	Вес портала	
На выдаче	8	Скорость		Положения портала	
Формат 1	10	Вес		Вес в зоне выдачи	
Формат 2	30			Весовая платформа	
				Дальномер	
Лифт		Захват			
		Оси			
ав.стоп		ав.стоп		ав.стоп	
Главная		Склад		Портал	
		Программа		Авто	

Рис. 6. Главная страница интерфейса управления

Задание		Статус оборудования		Статус выполнения программы	
D заг.	640			40% Выполнено	
N - кол.во	20				
Номер прог	3			ав.стоп	
Статус хран.					
Наличие	40				
Вр. выгр.	470				
Будет исп.	10				
Главная		Склад		Портал	
		Программа		Авто	

Рис. 7. Страница автоматического выполнения программ

В дальнейшем проект будет включен в компьютерно-интегрированное роботизированное производство по изготовлению шар-баллонов и может послужить основой для создания централизованного производства шар-баллонов для изделий ракетно-космической техники.

Литература

- [1] Абдулханова М.Ю., Антонова Е.О., Митрушичева Т.Ю., Сердюков Е.В. Методы автоматизации складских помещений. *Актуальные научные исследования в современном мире*, 2020, № 9–1 (65), с. 31–36.
- [2] *Титан VT6*. URL: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/tit/VT6 (дата обращения 11.05.2025).
- [3] *Титан VT14*. URL: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/tit/VT14 (дата обращения 11.05.2025).
- [4] *Автоматический стеллаж Mono-Tower*. URL: https://osk_group.ru/product/sistemy-hraniya-metalloprokata/avtomatizirovannye-stellazhi-dlya-metalla/avtomaticheskie-stellazhi-bashni/avtomaticheskiy-stellazh-mono-tower/#char (дата обращения 11.05.2025).
- [5] *AL-LMH Портальный робот-манипулятор*. URL: <https://irobs.ru/catalog/al-lmh-portalnyy-robot-manipulyator/#desc> (дата обращения 11.05.2025).

Analysis of titanium balloon blank material storage systems. Designing an automated sheet material storage area

Pirozhkov Vadim Evgenievich

Zhargalova Ayagma Dashibalbarovna (*scientific advisor*)

BMSTU, Moscow, Russia

This research is focused on the design of the automated storage area for sheet material used for manufacturing titanium balloons. Material survey and calculation of workpiece volume and mass are conducted, calculation algorithm of cutting factor for sheet material of different sizes is made. The layout design was developed and the sheet material distribution process was described as well. Eventually, the appropriate equipment was selected, the structural diagram of the storage control system and the system interface were developed.

Keywords: titanium balloon, cutting factor, storage system, sheet material, equipment, interface