

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.

Электрон. журн. 2025. № 2. С. 31 – 38

DOI:

Представлена в редакцию: 01.08.2025

Принята к публикации: 06.08.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 65.011.56

Разработка робототехнического комплекса загрузки и паллетирования мешков с сыпучими материалами (до 50 кг)

Виноградов М.А.,
Ромашко А.М.

* vinogradov.m.work@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

В статье представлены результаты разработки робототехнического комплекса (РТК) загрузки и паллетирования мешков с сыпучими материалами массой до 50 килограмм. Изложены исходные требования к РТК, основания для разработки, обоснование конструкторских решений, подбор основного оборудования, описание РТК, а также представлены основные положения по обслуживанию и ремонтпригодности.

Ключевые слова: Робототехнический комплекс, наполнение мешков сыпучими материалами, паллетирование мешков, транспортировка мешков, пневматический привод, эксплуатация робототехнического комплекса.

Основания для разработки РТК

Представленный в статье робототехнический комплекс (РТК) разрабатывался для автоматизации процесса загрузки и паллетирования мешков с сыпучими материалами массой 25 и 50 кг на конкретном предприятии. Хотя рассматриваемый процесс является типовым в странах с более плотной роботизацией технологических процессов, но в условиях существующих ограничений, поставка зарубежных готовых технологических комплексов весьма затруднена или невозможна. Внедрение подобных РТК соответствует социальной и экономической политике государства. Замена производственных участков с большой долей ручного труда при погрузочно-разгрузочных операциях автоматизированными робототехническими комплексами позволяет значительно сократить количество низкоквалифицированных рабочих, повысить производительность труда и сберечь здоровье рабочих, исключив подъем и перемещение тяжелых грузов в запылённой среде.

В пункте 34 Приказа Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.10.2020 № 753Н "Об утверждении правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов" [1] говорится о том, что при производстве погрузочно-

разгрузочных работ мужчинам допускается разовый подъем тяжестей (без перемещения) массой не более 50 кг; женщинам – не более 15 кг. Также в письме Министерства труда и социальной защиты РФ от 22 июня 2016 г. № 15-2/ООГ-2247 [2] приводятся разъяснения на ранее введенные правила, согласно которым при чередовании с другой работой (до 2 раз в час) мужчинам допускается поднимать до 30 кг; женщинам – до 10 кг. При постоянной нагрузке в течении рабочей смены: мужчинам – до 15 кг; женщинам – до 7 кг.

Исходя из указанных требований, для загрузки и паллетирования мешков в непрерывном формате в течение 8-часовой смены требуются поочередно сменяющиеся группы из пяти рабочих: подача пустого мешка на клапан дозатора, выгрузка и загрузка паллет, парное паллетирование мешков, а также загрузка фасовочной машины.

При разработке РТК учитывался ряд базовых требований, сформулированных заказчиком. Главными среди них являлись требования использовать существующее на предприятии оборудование фасовки сыпучего материала, а также совместить процессы загрузки мешков и их паллетирования в едином технологическом комплексе, работающем в автоматическом режиме. Из ручных операций сохранялась загрузка стопок порожних мешков и пустых паллет, а также выгрузка заполненных паллет.

Стоит отметить, что поставщик оборудования фасовки сыпучего материала не имел готовых решений под автоматизацию своих моделей дозаторов, что повлекло разработку специальных технических средств для совмещения процессов загрузки и паллетирования.

Подбор элементов в состав РТК осуществлялся исходя из следующих условий:

- установка в существующее пространство цеха;
- использование существующего на предприятии дозатора;
- максимально возможное импортозамещение;
- полная автоматизация технологического процесса, кроме загрузки / выгрузки пустых мешков и паллет;
- электропитание с параметрами – 50 Гц, 380 В, 3 фазы;
- давление в пневмомагистрали – 0,4-0,6 МПа.

По решению заказчика, единственным элементом РТК, невозможным к импортозамещению, является промышленный робот (поз. 12) Fanuc [3] модели M-410iC/110, так как на момент ввода РТК в эксплуатацию российские аналоги модели с грузоподъемностью более 100 кг стоили дороже, а также не имели примеров длительной работы на предприятиях (более 5-10 лет). Подбор рабочей зоны робота осуществлялся исходя из выбранной компоновки РТК – два места размещения паллет по бокам, для осуществления возможности непрерывной работы.

Основные элементы РТК

В состав РТК входят следующие основные элементы, показанные на рис. 1 и 2: 1 – захватное устройство заполненных мешков; 2 – постамент промышленного робота; 3 – конвейер подачи стопок пустых мешков; 4 – конвейер ленточный отвода заполненных мешков; 5 – конвейер роликовый отвода заполненных мешков; 6 – модуль раскрытия пустого мешка; 7 – модуль перемещения пустого мешка; 8 – модуль опрокидывания заполненного мешка; 9 – место для размещения паллет; 10 – защитные ограждения; 11 – шкаф управления; 12 – промышленный робот; 13 – оборудование фасовки.

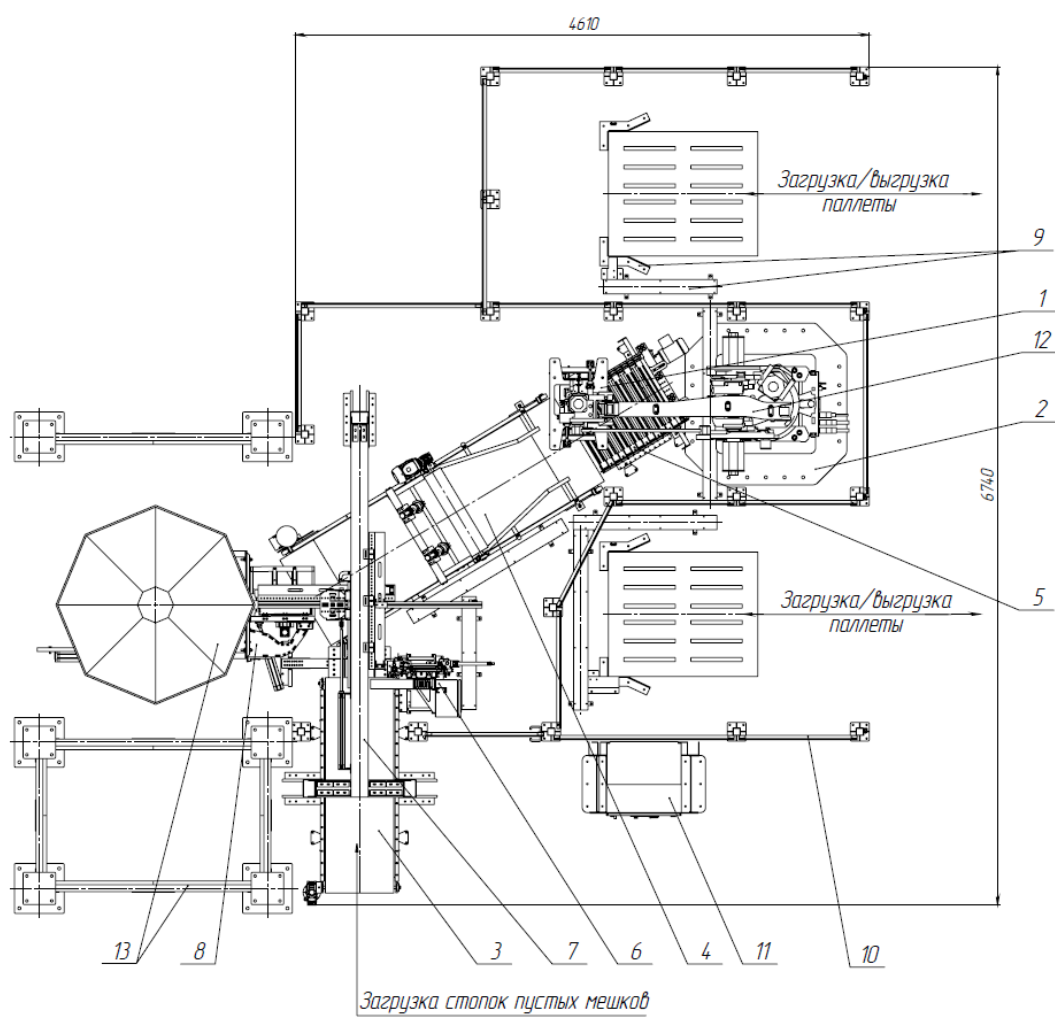


Рис. 1. Вид сверху на РТК загрузки и паллетирования мешков

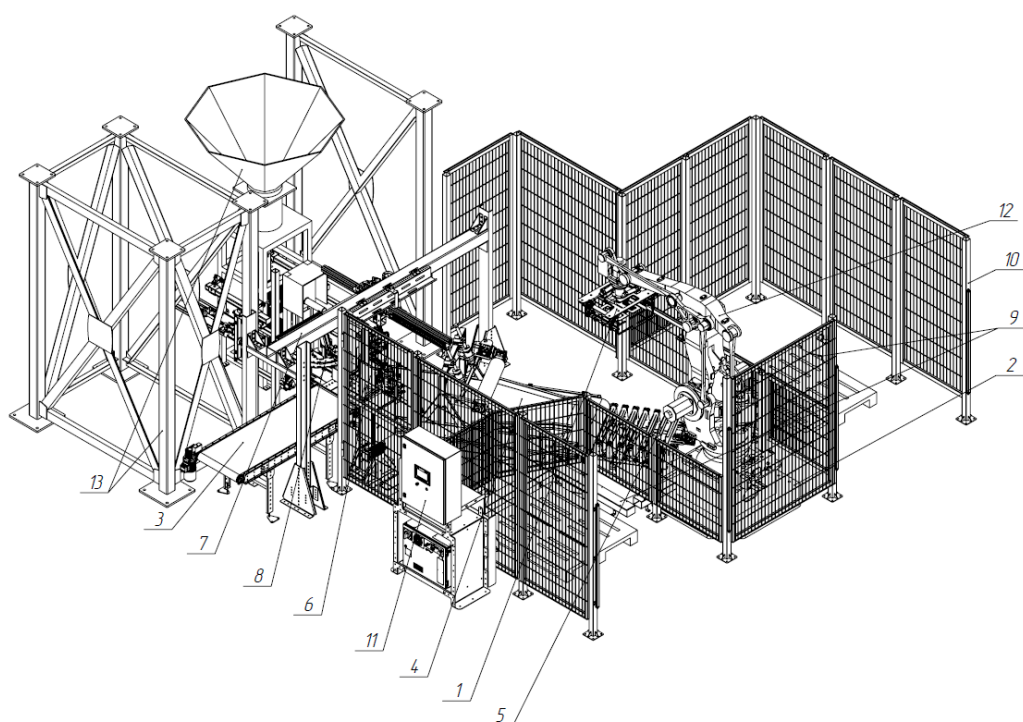


Рис. 2. 3-D модель РТК загрузки и паллетирования мешков

Основными разрабатываемыми в проекте элементами РТК являлись: захватное устройство заполненных мешков (поз. 1), а также модули поз. 6-8.

Рассматривалась возможность использования в проектируемых модулях различных видов приводов: пневматических, гидравлических и электрических. При этом учитывались основные требования к приводам в проекте РТК: количество требуемых положений – не более двух; возможность настройки конечных положений; скорость – до 300 мм/сек; нагрузка – до 2000 Н; простота управления; дешевизна; наличие источника энергии на предприятии.

Вначале были исключены гидравлические приводы, так как на предприятии отсутствуют готовые гидравлические линии, а установка отдельной гидростанции приводила бы к удорожанию и усложнению проекта. По нагрузкам требовались усилия не более 2000 Н. Это требование может быть реализовано с помощью пневмопривода или электропривода.

Пневматический привод в конкретном проекте имеет явное преимущество по сравнению с электроприводом, вследствие простоты управления, дешевизны, а также наличия необходимых комплектующих. В проектируемом комплексе от приводов требовалось не более двух заданных положений на каждом из направлений перемещения, что объясняет нецелесообразность использования сложных систем управления, совмещенных с электродвигателями. Следует отметить, что пневмопривод хорошо работает “на упор”, обеспечивая длительное время необходимое усилие и предотвращая перегрузку при неподвижном выходном звене. Подбор пневматических комплектующих осуществлялся по каталогу компонентов компании SMC [4], доступных к покупке на рынке РФ.

Основные проектные расчеты были связаны с подбором рационального сочетания характеристик пневмоцилиндров, а именно: величины рабочего хода пневмоцилиндра, скорости перемещения и рабочего усилия. Несущая способность основных элементов конструкций модулей (главная балка модуля насадки пустых мешков, консоль платформы модуля опрокидывания заполненного мешка и т.п.) рассчитаны с использованием метода конечных элементов в программе SolidWorks модуле Simulation. Общий вид модулей представлен на рис. 3.

В составе комплекса предусмотрены две конвейерные системы: одна – для транспортировки стопок пустых мешков и другая – для транспортировки заполненных мешков. Для транспортировки стопок пустых мешков предназначен ленточный конвейер. Опорой рабочей ветви ленты является стальной настил. Это необходимо для равномерного примыкания стопок во время раскрытия клапана. Применение стального настила несущественно влияет на сопротивление перемещению груза вследствие малой массы порожних мешков. В свою очередь конвейерная система транспортировки заполненных мешков делится на ленточный конвейер с прижимным роликом для прокатки мешка и на приводной роликовый конвейер, обеспечивающий возможность захвата мешка посредством вилочного захвата. Привод конвейеров реализован на базе червячных асинхронных трехфазных мотор-редукторов [5] INNORED, доступных к покупке на рынке РФ. Для контроля положения грузов применены фотоэлектрические датчики. Расчеты конвейерных системы выполнялись в соответствии с [6].

Шкафы управления РТК (поз. 11 на рис. 3) включают в себя шкаф электроавтоматики и шкаф пневмоавтоматики. Управление РТК основано на базе программируемого логического контроллера с сигнальным модулем на 24 В и коммутатором Ethernet. Пневмоавтоматика основана на пневматическом острове с управлением по протоколу Profinet.

Система обеспечения безопасной эксплуатации робототехнического комплекса (поз. 10 на рис. 3) включает в себя сетчатые ограждения, электромагнитный замок на калитке, а также световые барьеры для непрерывного доступа рабочего персонала к заполненной / пустой паллете. Аварийные кнопки и кнопки подтверждения безопасности вынесены отдельными блоками на защитные ограждения.

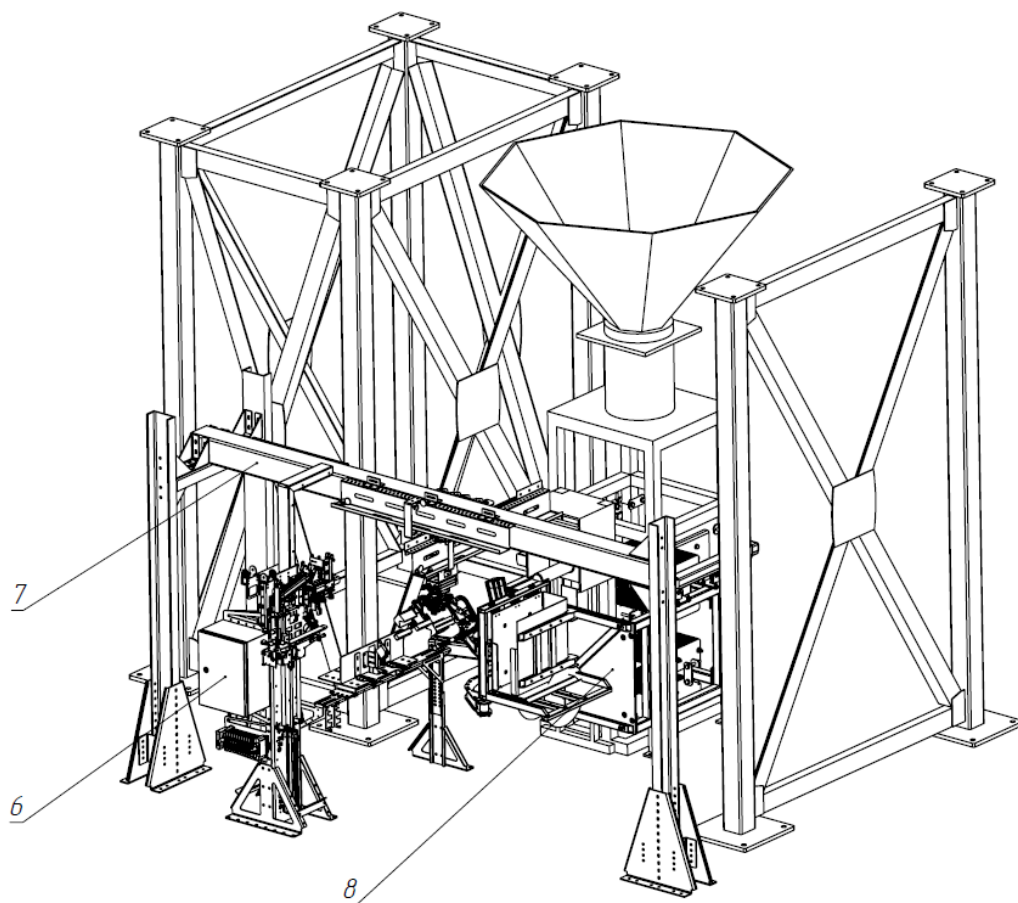


Рис. 3. Изометрия модулей раскрытия и насадки пустого мешка, а также опрокидывания заполненного мешка

При проектировании также была выполнена оценка ремонтпригодности РТК. Обслуживание и оценка работоспособности РТК во время эксплуатации разделена на ряд действий, требуемых к выполнению на ежедневной, ежемесячной, а также полугодовой основах. Визуальный осмотр всех элементов РТК, присутствие во время первого цикла работы РТК, оценка плавности работы всех элементов и отсутствия посторонних звуков – ежедневно. Смазка пневмоцилиндров и рельсов подвижных кареток элементов поз. 6-8 – раз в 1 месяц. Замена смазок и масел промышленного робота – раз в 6 месяцев. Замена смазок и масел в редукторах конвейерных систем – раз в 6 месяцев.

Все элементы РТК, кроме робота, могут обслуживаться легкодоступными методами и компонентами. Базовая гарантия на РТК – 12 месяцев с момента ввода в эксплуатацию. Расчетный срок службы РТК – от 60 месяцев с момента ввода в эксплуатацию.

Заключение

В статье представлены результаты опытного проектирования робототехнического комплекса загрузки и паллетирования мешков с сыпучими материалами массой до 50 кг. Основной целью проектирования является замещение импортной техники отечественным оборудованием. Разработаны компоновочная схема робототехнического комплекса для конкретного предприятия, а также ряд модулей выполнения технологических операций: модули раскрытия и перемещения пустого мешка; захватное устройство для заполненного мешка; модуль опрокидывания заполненного мешка; конвейерные системы для транспортировки мешков; система управления; система обеспечения безопасной эксплуатации комплекса. На рис. 4 представлено изображение функционирующего РТК.

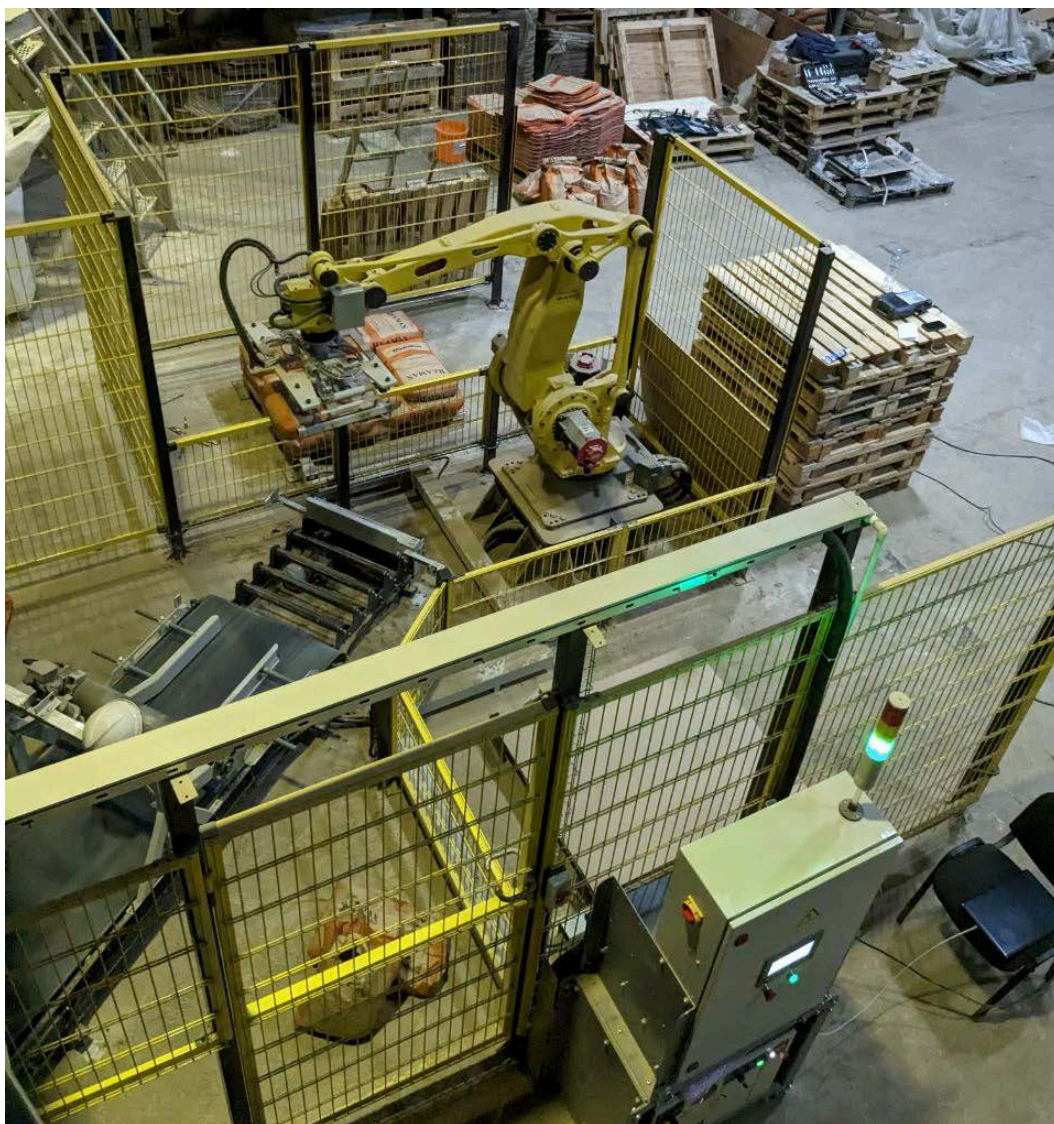


Рис. 4. Функционирующий РТК

Список литературы

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.10.2020 N 753Н Об утверждении правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов.
2. Письмо Министерства труда и социальной защиты РФ от 22 июня 2016 г. N 15-2/ООГ-2247.
3. Ряд промышленных роботов-паллетайзеров компании Fanuc. M-410 Heavy-lifting palletiser: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/m-410-series> (дата обращения 23.05.2024)
4. Каталог SMC: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.smcworld.com/webcatalog/en-ph/> (дата обращения 03.03.2025).
5. INNORED: [Электронный ресурс]. URL: https://technodrive.pro/upload/iblock/ded/INNORED_CHervyachnye_motor_reduktora_rus.pdf (дата обращения 30.03.2025).
6. Спиваковский А.В., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1983. – 487 с., ил.

АВТОРЫ

Виноградов Максим Андреевич, кафедра «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), vinogradov.m.work@yandex.ru.

Ромашко Александр Мефодиевич, кафедра «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, доцент, romash.am@mail.ru.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

Link to the article:
//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2025. № 2. pp. 31 – 38

DOI:

Received: 01.08.2025

Accepted for publication: 06.08.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

Development of a robotic complex for loading and palletizing bags with bulk materials (up to 50 kg)

Maxim A. Vinogradov,*
Aleksandr M. Romashko

* vinogradov.m.work@yandex.ru
Bauman Moscow State Technical University
(Moscow, Russia)

The article presents the results of the development of a robotic complex (RC) for loading and palletizing bags with bulk materials weighing up to 50 kilograms. The initial requirements for the RC, the rationale for the development, the rationale for the design solutions, the installation of the main equipment, the description of the RC, and also outlines the main provisions for maintenance and reparability are presented.

Keywords: Robotic complex, loading bags with bulk materials, bag palletizing, transportation of bags, pneumatic drive, operation of the robotic complex.

References

1. Order of the Ministry of labor and social protection of the Russian Federation dated 28.10.2020 N 753H On approval of labor protection rules for loading and unloading operations and placement of goods.
 2. Letter of the ministry of labor and social protection of the Russian Federation dated 22 June 2016 N 15-2/OOI-2247.
 3. Fanuc's range of industrial palletizing robots. M-410 Heavy-lifting palletiser: [Electronic resource]. URL: <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/m-410-series> (accessed 23.05.2024).
 4. Catalog SMC: [Electronic resource]. URL: <https://www.smcworld.com/webcatalog/en-ph/> (accessed 03.03.2025).
 5. INNORED: [Electronic resource]. URL: https://technodrive.pro/upload/iblock/ded/INNORED_CHervyachnye_motor_reduktora_rus.pdf (accessed 30.03.2025).
 6. Spivakovsky A.V., Dyachkov V.K. Transport machines: Textbook for mechanical engineering universities. – 3rd ed., revised. – Moscow.: Mechanical engineering, 1983. – 487 p., il.
-

AUTHORS

Maxim A. Vinogradov, Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), vinogradov.m.work@yandex.ru.
Aleksandr M. Romashko, Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), Candidate of Technical Sciences, romash.am@mail.ru.