

УДК 681.1

Обоснование выбора решений для автоматизации центрального склада региона скорой медицинской помощи

М.В. Паринов✉, Е.В. Паринова, И.А. Агеев

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

В работе рассматривается существующая проблема неавтоматизированных складов скорой медицинской помощи (СМП), показано ее значительное влияние на общую эффективность логистических процессов СМП. Предложены методы решения. Показано, что на основании анализа существующих разработок необходимо создать оригинальное решение. Приведено краткое описание решения и его компонентов. С целью подтверждения возможности практической реализации для выбранного решения выполнены кинематические и мощностные расчеты. Были определены максимальные ускорения по каждой из осей основного складского манипулятора и мощности электроприводов, обеспечивающие их перемещение. Результаты, соответствующие наиболее сложным условиям работы склада, показали пригодность и простоту реализации данного решения.

Ключевые слова: автоматический склад медикаментов, робототехническое решение, скорая медицинская помощь, манипулятор, электропривод, расчеты.

Justification for the Choice of Solutions for the Automation of the Central Warehouse of the Emergency Medical Care Region

M.V. Parinov✉, E.V. Parinova, I.A. Ageev

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

The paper considers the existing problem of non-automated emergency medical care (EMC) warehouses, showing its significant impact on the overall efficiency of EMC logistics processes. Solution methods are proposed. It is shown that an original solution must be created based on the analysis of existing developments. A brief description of the solution and its components is given. In order to confirm the possibility of practical implementation, kinematic and power calculations were performed for the selected solution. The maximum accelerations for each axis of the main warehouse manipulator and the power of the electric drives that ensure their movement were determined. The results, corresponding to the most difficult warehouse operating conditions, showed the suitability and ease of implementation of this solution.

Keywords: automatic drug warehouse, robotic solution, emergency medical care, manipulator, electric drive, calculations.

Анализ проблемы и актуальность

В настоящее время логистические процессы скорой медицинской помощи (СМП) в Российской Федерации значительно устарели. Основная их часть сохранилась с прошлого века. Глубокой автоматизации подвергся только товарооборот и документооборот. Однако этого недостаточно для решения текущих проблем СМП [1].

Одной из важнейших проблем является низкая степень автоматизации центральных складов СМП региона. Фактически все процессы на них реализуются вручную. Автоматизирован только процесс управления и контроля потоком медикаментов и сопутствующих товаров, а также оформление обязательной

документации. Такие процессы, как выбор схожих товаров для отгрузки, сбор комплекта для отгрузки, размещение полученных товаров и ряд других операций выполняются полностью в ручном режиме.

Это приводит к значимым проблемам. Наиболее важной из них является потеря медикаментов вследствие истечения срока годности. Работник часто может игнорировать позицию с истекающим сроком годности из-за неудачного расположения в процессе хранения. Также крайне актуальна проблема неэффективного использования трудовых ресурсов: значительное количество персонала занято задачами, которые легко автоматизируются. Например, все процедуры сортировки, размещения, хранения медикаментов и комплектования заказа. Следующей важной проблемой является неоптимальное использование складского пространства, что важно для многих служб СМП, использующих старые площади, которые проектировались под значительно меньшую номенклатуру и объем медикаментов и сопутствующих товаров. Список проблем может быть продолжен. Однако их анализ выходит за рамки статьи.

Указанные проблемы успешно решаются за счет замены классического склада на автоматический. При этом ручной труд полностью выводится из рассмотренных выше процедур.

Базовые параметры автоматизируемого склада и обоснование необходимости создания оригинальной разработки

Для постановки задачи рассмотрим типовые параметры центрального склада СМП областного центра Российской Федерации:

- объем поставляемых/выдаваемых в день медикаментов: до 5000 финальных упаковок;
- объем хранимого запаса: от 35.000 финальных упаковок;
- площадь: до 100 кв. м.

Финальная упаковка – это наименьшая единица упаковки, пригодная для отпуска в розничной аптеке. Особенностью рассматриваемого объекта является то, что отгрузка ведется именно в виде финальных, а не сборных упаковок.

Необходимо автоматизировать склад. Базовые процессы указаны в предыдущем разделе статьи. Для этого рекомендуется выбрать известное решение, чтобы сократить время на разработку.

Анализ автоматических розничных аптек [2, 3] показывает, что их конструкция недостаточно гибко масштабируется. Они не могут обеспечить удовлетворительную скорость процессов для крупных региональных складов СМП и поэтому не могут быть рассмотрены в качестве решения.

Известно значительное число различных автоматических складов [4, 5]. Они имеют различную конструкцию и предназначение. Большинство из них предназначено для работы с крупными упаковками. Однако существует некоторые исключения, предназначенные для решения узкоспециализированных задач.

Анализ литературных источников и патентный поиск не позволил нам найти изделие, которое можно было полностью заимствовать или использовать как прототип, импортировав из него концептуальные решения. Таким образом, были сделаны выводы о необходимости создания оригинальной разработки.

Предлагаемая реализация автоматического склада

Для хранения медикаментов и сопутствующих товаров нами предложена следующая схема: товары хранятся в стеллажах (шкафах), оснащенных выдвижными

пеналами (ящиками), которые равномерно располагаются по ширине и высоте. Пеналы поделены на ячейки, расположенные вглубь пенала. По ширине пенала располагается только одна ячейка.

Таким образом для каждого стеллажа формируется следующая схема хранения. Количество хранимых товаров в каждом стеллаже:

$$n_{\text{товара}} = W \times H \times D, \quad (1)$$

где:

W – количество пеналов по ширине стеллажа;

H – количество пеналов по высоте стеллажа;

D – количество ячеек под товары в пенале.

Каждый склад сможет содержать различное количество стеллажей различных типов. Типы стеллажей отличаются диапазоном размеров упаковки, которая может в них храниться.

Рендер предлагаемого склада показан на рисунке. Он отображает представленную концепцию.



Рисунок. Рендер предлагаемого автоматического склада

Несмотря на простоту предлагаемой схемы и известность ее применения для неавтоматизированных складов, нами не были обнаружены схожие решения автоматических или автоматизированных складских объектов. Предположительно это связано с низкой эффективностью схемы для задач, отличных от рассматриваемой. Таким образом возникает задача его разработки с нуля.

Для извлечения медикаментов из пеналов в процессе комплектования выгрузки, а также для доставки пеналов в зону загрузки и возврата в стеллаж используется основной манипулятор автоматического склада (показан на рисунке справа). Его основными движениями является перемещение вдоль стеллажей (ось Y) и перемещение по главной вертикальной оси (ось Z), которые используются для позиционирования на определенный пенал, а также выдвижение в точку извлечения товара и возврат пенала.

Перемещения реализуются сервоприводами [6]. Они должны быть выбраны с учетом требуемых мощностей, скоростей и ускорений. Необходимо учитывать, что указанные параметры значительно влияют на размер и стоимость электропривода.

Расчетное обоснование допустимости предлагаемого решения и предварительные расчеты для выбора электропривода

Предварительная оценка предлагаемого решения показывает его эффективность и значительный потенциал. Для ее подтверждения проведем физико-математические расчеты, при этом возьмем худший вариант условий исходной задачи с учетом неоптимизированных перемещений манипулятора (что фактически нереально). Предположим, суточный объем отгрузки равен 5000 финальных упаковок, отгрузка выполняется в 40 транспортных контейнерах. Склад имеет теоретическую загрузку 150000 упаковок, средняя доступная плотность заполнения стеллажа составляет 7500 финальных упаковок (20 паллетов в ряду, 15 паллетов по высоте, 25 финальных упаковок в паллете), заполнение равномерное на 25% (то есть требуется максимальное количество перемещений манипулятора), размеры стеллажей 2000×2000 мм.

Выполним предварительные расчеты. При положительном результате можно сделать вывод, что предложенное решение может быть признано универсальным в рамках поставленной задачи.

Рассчитаем время цикла перемещения ($t_{\text{цикла}}$):

$$t_{\text{цикла}} = \max(t_Y, t_Z) + t_X + t_{\text{захват}}, \quad (2)$$

где:

$$t_Y = \sqrt{\frac{2s_Y}{a_Y}} - \text{время перемещения по } Y, \quad (3)$$

$$t_Z = \sqrt{\frac{2s_Z}{a_Z}} - \text{время перемещения по } Z, \quad (4)$$

$$t_X = \sqrt{\frac{2s_X}{a_X}} - \text{время выдвижения ящика}, \quad (5)$$

$t_{\text{захват}} = 2$ сек – время позиционирования, захвата и возврата ящика, s_Y, s_Z, s_X – перемещения по осям Y, X, Z соответственно, a_Y, a_Z, a_X – ускорения по соответствующим осям.

Определим исходные параметры согласно поставленной задаче:

$$s_Y = 20\,000 \text{ мм} = 20 \text{ м},$$

$$s_Z = 2000 \text{ мм} = 2 \text{ м},$$

$$s_X = 1000 \text{ мм} = 1 \text{ м}.$$

Требуемое максимальное время цикла с учетом требуемой производительности:

$$t_{\text{цикла}} \leq \frac{3600 \cdot 10}{5000} = 7,2 \text{ сек}. \quad (6)$$

Итерационным методом определим оптимальные ускорения таким образом, чтобы не превысить максимальное время цикла:

$$a_Y = 3 \text{ м/с}^2,$$

$$a_Z = 2,5 \text{ м/с}^2,$$

$$a_X = 1,5 \text{ м/с}^2.$$

Таким образом, время составит:

$$t_Y = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{3}} \approx 3,65 \text{ сек},$$

$$t_Z = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{2,5}} \approx 1,26 \text{ сек},$$

$$t_X = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1,5}} \approx 1,15 \text{ сек},$$

$$t_{\text{цикла}} = 3,65 + 1,15 + 2 = 6,8 \text{ сек}.$$

Расчетные значения не превосходят допустимое максимальное время. Это означает, что решение справляется с максимальной теоретической нагрузкой.

Определим требуемые мощности электроприводов по осям. Для этого воспользуемся следующей базовой формулой:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta}, \eta = 0,8,$$

$$P_Y = \frac{(50 \cdot 3 + 10) \cdot 10,95}{0,8} = 2190 \text{ Вт},$$

$$P_Z = \frac{50 \cdot (9,81 + 2,5) \cdot 3,16}{0,8} = 2430 \text{ Вт},$$

$$P_X = \frac{50 \cdot 1,5 \cdot 1,73}{0,8} = 162 \text{ Вт},$$
(7)

где P – мощность привода, F – сила, v – скорость перемещения, η – КПД привода, P_Y , P_Z , P_X – мощности по соответствующим осям, для первоначального расчета примем массу перемещаемой конструкции манипулятора 50 кг.

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица

Параметры приводов

Ось	Ускорение (м/с ²)	Скорость (м/с)	Мощность (кВт)
Y	3,0	10,95	2,19
Z	2,5	3,16	2,43
X	1,5	1,73	0,16

Анализ результатов таблицы показывает, что даже для значительно усложненной задачи механические и электрические параметры реалистичны и легко достижимы без использования дорогостоящих и редких материалов и комплектующих. Это подтверждает практическую применимость выбранного решения.

Выводы

Рассмотренная проблема неэффективной логистики СМП может быть частично решена внедрением автоматических центральных складов СМП региона. Однако для их реализации нами не были обнаружены подходящие образцы для заимствования. Поэтому возникла необходимость разработки оригинального решения. В работе показан концепт предлагаемого нами изделия.

Для перехода к следующей стадии работ (проектированию и созданию прототипа) мы выполнили оценку возможности практической реализации концепции. Для этого

выполнили базовые расчеты для склада с учетом завышенных по сложности условий, схожих с реальным складом СМП.

Результаты показали, что даже для неоптимизированной схемы движений манипулятора при разрешенном времени работы робота в ночное время (10 часов) изделие успешно справляется с работой за время менее 10 часов. При этом максимальные скорости и ускорения не накладывают высоких требований на конструкцию устройства. Максимальная требуемая мощность электроприводов не превышает 3 кВт, что доказывает возможность создания недорогого компактного решения, удовлетворяющего условиям исходной задачи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белозерцева Н.П. Оптимизация складской деятельности учреждений здравоохранения / Н.П. Белозерцева, М.А. Мажуга // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2021. – Т. 10, № 3 (36). – С. 246–250.
2. Phimmasorn B. The Pharmacy Automatically Machine / B. Phimmasorn, S. Visitsattapongse // ICBBT '19: Proceedings of the 2019 11th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology. – New York: Association for Computing Machinery, 2019. – P. 137–141.
3. Толмачева И.А. Аптечный робот как инновация коммерческой деятельности / И.А. Толмачева, А.В. Старостина // Наука и образование: проблемы и стратегии развития. – 2016. – № 1 (2). – С. 238–241.
4. Федотов Н.О. Логистическое сопровождение и автоматизированные склады / Н.О. Федотов, Г.П. Конюхова // Актуальные проблемы международных экономических и финансовых отношений: сборник статей международной научно-практической конференции, приуроченной к дню финансиста, Москва, 08 сентября 2020 года. – Москва: Автономная некоммерческая организация Центральный научно-исследовательский институт русского жестового языка, 2020. – С. 130–135.
5. Laber J. The Impact of Warehouse Automation in Amazon's Success / J. Laber, R. Thamma, E.D. Kirby // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. – 2020. – Vol. 7, Iss. 8. – P. 63–70.
6. Греков Э.Л. Разработка многофункционального модуля управления электроприводом на микроконтроллере STM32 / Э.Л. Греков, А.С. Безгин, В.А. Сорокин // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: труды X Всероссийской научно-технической конференции, Оренбург, 01 января – 31 декабря 2019 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. – С. 386–390.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Паринов Максим Викторович, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

e-mail: parmax@mail.ru

Паринова Евгения Викторовна, студентка магистратуры, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

e-mail: ysahno86@gmail.com

Агеев Иван Андреевич, студент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.

e-mail: agvan134@yandex.ru