

УДК 004.9

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.50.3.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.003)

## Структурные решения для макроуправления логистикой обеспечения медикаментами скорой медицинской помощи с использованием роботизированного склада

М.В. Паринов<sup>1✉</sup>, Е.В. Паринова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Я Робот», Воронеж, Российская Федерация

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

**Резюме.** Работа посвящена актуальной проблеме автоматизации логистических процессов скорой медицинской помощи (СМП). Рассмотрена существующая структура макроуправления логистикой СМП. Отражены недостатки и существующие проблемы. Показано, что решение целесообразно начинать с автоматизации центральных складов СМП региона. В ходе анализа определены количественные параметры и функциональность складов. На базе них выполнен анализ существующих решений, который показал невозможность эффективного использования готовых разработок. Предложено реализовать оригинальную разработку, для начала работы над ней сформулированы задачи. В ходе их решения предложена улучшенная структура управления логистикой СМП региона, включающая автоматический специализированный склад. Представлена его архитектура в виде программно-аппаратного решения с распределением бизнес-процессов и функций по уровням. Предложена методика организации хранения, позволяющая реализовать склад с указанными параметрами. Для нее представлены алгоритмы выполнения основных процессов: автоматической загрузки и выгрузки. Для максимизации наполнения склада представлены модели, позволяющие определить размерные параметры и емкость стеллажной группы. Также представлены модели для определения и минимизации времени выполнения базовых автоматических процедур склада. Данный математический аппарат будет использован при проектировании и автоматизации складов, выполненных по предложенной методике. Его использование показало, что даже при использовании неоптимизированной схемы движения исполнительных механизмов (что не рекомендуется для рабочего решения) технические требования к приводным узлам робототехнического решения легко достижимы при небольших затратах. По результатам выполненной работы было принято решение перейти к следующему этапу работ – созданию прототипа.

**Ключевые слова:** логистика, структура управления, автоматизация, методика организации автоматического склада, программно-аппаратный комплекс, робототехническое решение, склад медикаментов, скорая медицинская помощь.

**Для цитирования:** Паринов М.В., Паринова Е.В. Структурные решения для макроуправления логистикой обеспечения медикаментами скорой медицинской помощи с использованием роботизированного склада. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2025;13(3). URL: <https://moitvivr.ru/journal/pdf?id=1937> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.003

## Structural solutions for macro-management of logistics of emergency medical care medicines using a robotic warehouse

M.V. Parinov<sup>1✉</sup>, E.V. Parinova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ya Robot LLC, Voronezh, the Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation

**Abstract.** The paper is devoted to the pressing issue of automating the logistics processes of emergency medical services (EMS). The present macro-management structure of EMS logistics is examined. Deficiencies and current problems are highlighted. It is considered advisable to start the solution from automating the central EMS warehouses in the region. During the analysis, quantitative parameters and warehouse functionalities were identified. An analysis of current solutions revealed the impracticality of effectively using off-the-shelf developments. It is proposed to implement an original development, and the tasks for initiating work on it have been set. In solving these tasks, an improved EMS logistics management structure for the region has been proposed, including an automated specialized warehouse. Its architecture is presented as a hardware-software solution with distribution of business processes and functions across levels. A storage organization methodology is proposed, enabling the implementation of a warehouse with the specified parameters. Algorithms for executing key processes such as automatic loading and unloading are provided. To maximize warehouse utilization, models are presented to determine dimensional parameters and the capacity of the racking group. Models are also provided to determine and minimize the execution time of basic automatic warehouse procedures. This mathematical apparatus is to be used in designing and automating warehouses built according to the proposed methodology. Its application demonstrated that even with a non-optimized motion scheme for actuating mechanisms (which is not recommended for an operational solution), the technical requirements for the drive units of the robotic system are easily achievable with minimal costs. Based on the results of the work performed, we decided to proceed to the next stage: creating a prototype.

**Keywords:** logistics, management structure, automation, methodology for organizing an automated warehouse, software and hardware package, robotic solution, medicine warehouse, emergency medical care.

**For citation:** Parinov M.V., Parinova E.V. Structural solutions for macro-management of logistics of emergency medical care medicines using a robotic warehouse. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(3). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1937> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.003

## Введение

В настоящее время снабжение отечественной скорой медицинской помощи (СМП) реализуется следующим образом: закупаемые медикаменты поступают на центральный фармацевтический склад региона и затем передаются на центральный склад СМП региона, откуда они распределяются по подстанциям. Поступление возможно в различном виде: крупные коробки, содержащие однотипные финальные упаковки, сборные упаковки с различными финальными упаковками, финальные упаковки в навал.

Для наглядного представления материала необходимо ввести определение финальной упаковки медикаментов. К ней относится любая минимальная по объему форма упаковки, на которую нанесен QR-код, что обеспечивает контроль за оборотом в существующих государственных информационных медицинских системах, то есть упаковка, которая отпускается в розничной аптеке. В большинстве случаев финальной упаковкой является коробка с лекарством. Однако это может быть бутылка с раствором, шприц, крупная упаковка, содержащая несколько бутылок с растворами, на которых не нанесен отдельный QR-код.

Отгрузка медикаментов на подстанцию осуществляется в виде финальных упаковок. При этом их количество может быть значительно даже для одного наименования. Прием на центральный склад осуществляется как в виде финальных упаковок, так и в виде укрупненной тары. При получении и отгрузке необходимо дополнительно отслеживать партии и срок годности.

В настоящее время на территории Российской Федерации неизвестны автоматизированные и роботизированные решения для автоматизации логистики СМП.

Процесс получения и отгрузки автоматизирован и стандартизирован частично. Автоматизация присутствует только в виде ограниченных по функциональности специализированных систем управления товарооборотом и документооборотом. Единая логистическая задача решается разрозненно. Управленческие решения принимаются разрозненно различными лицами, принимающими решения. Существующая структура макроуправления логистикой СМП показана на Рисунке 1.

Она не позволяет синхронизировать большинство бизнес-процессов логистики, которые выполняются разрозненно отдельными лицами, принимающими решения (ЛПР). Автоматизирован только процесс управления потоком отгружаемых товаров и частично документооборот.

Рассмотрим представленную структуру. Главным лицом, принимающим решение является заместитель главного врача региона по лечебной части. Его служба определяет потоки медикаментов (номенклатуру, объемы, динамику поставок). Его фактические управленческие решения распространяются на формирование задач по отгрузке для фармацевтического склада региона, контроль работы (в первую очередь динамики движения медикаментов и сопутствующих товаров) центрального склада СМП региона, формирование нормативных актов и инструкций для подстанций СМП и их складов.

Фактически тесная связь присутствует только между ЛПР о номенклатуре и объеме отгрузки центрального фармацевтического склада региона, ЛПР о приходе и отгрузке товара центрального склада СМП региона, службой заместителя главного врача СМП по лечебной части и ЛПР об обороте медикаментов и сопутствующих товаров подстанции СМП. Данные участники связаны единой информационной системой, имеющей связь с государственными информационными медицинскими системами по контролю медикаментов.

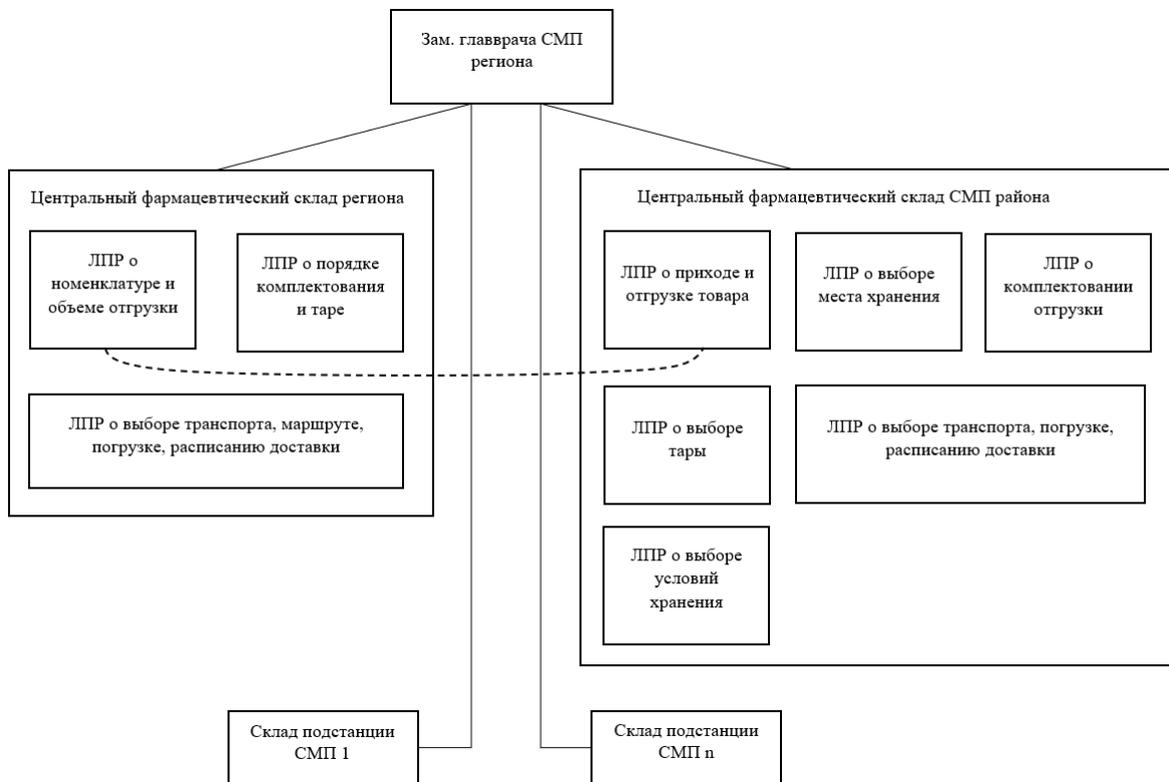


Рисунок 1 – Существующая структура макроуправления логистикой СМП региона  
 Figure 1 – The existing structure of macro-management of logistics of the EMS region

При этом остальные ЛПП фактически не связаны друг с другом. Их деятельность регулируется нормативными документами и инструкциями, которые описывают только базовые процедуры логистики СМП.

Рассмотрим важные проблемы вследствие организации существующей системы управления. ЛПП о порядке комплектования и таре может не взаимодействовать с ЛПП о выборе транспорта, маршрута, погрузке и расписании доставки. Также обычно отсутствует взаимодействие между указанными лицами центрального фармацевтического склада региона и центральным складом СМП региона. Это порождает ряд значительных логистических проблем: возникают ошибки, пересортица, увеличиваются затраты и сроки.

Однако основным источником проблем в представленной структуре является организация центрального склада СМП региона. Сейчас все процессы обращения и хранения препаратов реализуются вручную. Это определяет ряд существенных недостатков процесса. К основным из них следует отнести следующие: необходимость задействовать дополнительный персонал, многомиллионные убытки вследствие ошибок с партиями и сроками годности, медленная реализация процессов, сложность управления складскими запасами, включая учет сезонных колебаний, низкая масштабируемость склада и другие. Многие недостатки, связанные с неэффективной логистикой медикаментов для СМП, показаны в качестве крупной проблемы как в отечественной [1], так и иностранной [2] литературе. Однако в указанных источниках нет законченного решения для их устранения.

Рассмотрим текущую организацию центрального склада СМП региона. ЛПП о приходе и отгрузке товара руководствуется данными из единой системы управления товарооборотом. Его действия строго определены не только инструкциями, но и системой. Данное ЛПП отвечает за приход корректных позиций. Однако за выбор места и условий хранения отвечает другое ЛПП, действия которого частично регламентируются неоднозначными нормативными документами. Формирование перечня отгрузки осуществляется тем же ЛПП, что ответственно за приход. Однако выбор конкретных позиций для отгрузки осуществляется другим ЛПП, причем по факту отгрузка осуществляется по принципу «отгружаем вперед, что удобно ЛПП», а не исходя из эффективности работы СМП (сроки годности, оптимальное использование складского товара, партийность и т. д.). Тара для отгрузки выбирается по аналогичному принципу, при этом она является одноразовой невозвратной, что оказывает значимое влияние на затраты на логистические процессы.

Действия всех указанных ЛПП обычно не синхронизированы по причине отсутствия соответствующих инструментов. Также необходимо добавить отдельное ЛПП, отвечающее за логистику между центральным складом СМП региона и подстанциями СМП, которое также принимает решение единолично, не учитывая единые бизнес-процессы и потоки товаров логистической системы СМП.

По результатам анализа следует отметить, что решение крупной системной проблемы логистики СМП необходимо начинать с автоматизации центрального склада СМП региона. Необходимо автоматизировать процессы таким образом, чтобы минимизировать влияние человеческого фактора. Это возможно посредством внедрения специализированного автоматического склада с многоуровневой программной системой управления.

## Материалы и методы

**Описание автоматизируемого объекта и выполняемых им задач.** Решение должно быть направлено на ликвидацию изложенных выше недостатков. Оно

реализуется в виде программно-аппаратного комплекса с робототехническим решением, автоматизирующего склад СМП с перспективой перехода на полностью автоматическое функционирование. Данный комплекс включает робот, реализующий хранение, загрузку, комплектование и отгрузку наборов, а также программный комплекс для управления автоматическим складом и реализации логистических процессов, представленных выше.

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

- объем поставляемых/выдаваемых в день медикаментов: до 5000 финальных упаковок;

- объем хранимого запаса: от 35000 финальных упаковок;

- площадь: до 100 кв. м.

- Необходимо автоматизировать склад посредством достижения следующей функциональности:

- полная автоматизация процесса загрузки;

- полная автоматизация хранения и комплектования;

- полная автоматизация выгрузки;

- обращение с медикаментами, упаковка которых относится к основным массогабаритным типам;

- расширенные способы управления складскими запасами, включая предиктивный модуль сезонных и других колебаний расхода;

- реализация связи с едиными государственными информационными системами, регулирующими оборот медикаментов;

Необходимо выбрать готовое или в случае его отсутствия разработать оригинальное решение, отвечающее поставленным задачам.

**Анализ существующих решений.** Рассмотрим известные робототехнические решения для автоматизации складов медикаментов. Известные иностранные комплексные решения [3–4], в том числе использующие концепцию интернета вещей [5], имеют ряд существенных недостатков. Основной из них – значительная разница логистических процессов между отечественной и иностранной СМП. Поэтому нами предлагается рассмотреть создание собственной программно-аппаратной системы, в основе которой находится специализированный складской робот.

Существует 2 категории средств автоматизации в данной области: роботизированные розничные аптеки [6–7], актуальность которых показана в источнике [8] и автоматизированные склады для работы с большими объемами товара (обычно направленные на оптовые поставки) [9–10], включая решения с оригинальным размещением продукции [11]. Данный вариант незначительно отличается от классического роботизированного склада, примером которого является широко известное решение компании Amazon [12].

Оценим применимость рассмотренных средств автоматизации к поставленной задаче. При ее предварительной оценке возникают предложения адаптировать решения, типичные для розничной автоматизированной аптеки.

Однако специфика розничной автоматизированной аптеки заключается в небольшом объеме оборота медикаментов и ограниченном хранимом запасе. В рамках поставленной задачи это приведет к следующим недостаткам: ограниченная скорость комплектования, выгрузки и других операций, значительные ограничения автоматизации загрузки (обычно выполняется вручную), неоптимальное использование складского пространства, ограничения на форматы и размеры финальных упаковок.

Устранение данных недостатков без полной переработки концепции робототехнических решений невозможно. В частности, организация склада по типу розничной автоматизированной аптеки повлечет требование значительно увеличить площадь склада СМП, что невозможно в реальных условиях. Попытка значительно увеличить скорости перемещения (выполнения типовых операций) для приводов манипуляторов приведет к необходимости многократно увеличить мощность и жесткость конструкции, что невозможно для технико-экономически обоснованного изделия. Также следует отметить крайне сложно разрешимые проблемы с ограниченной номенклатурой и автоматизацией загрузки.

Рассмотрим крупный автоматизированный склад медикаментов. В данном случае он в первую очередь предназначен для обработки крупных упаковок, содержащих десятки/сотни финальных упаковок медикаментов. Однако специфика поставленной задачи требует работу с финальными упаковками. Поэтому применение решений из данной области в нашем случае неэффективно.

Анализ литературных источников не позволил найти не только решение для заимствования, но и прототип, который мог бы быть изменен для достижения поставленных целей. Исходя из этого, мы делаем вывод о том, что адаптация существующих решений в рамках поставленной задачи невозможна или нецелесообразна. Необходима разработка собственного аппаратно-программного робототехнического комплекса.

**Постановка задачи.** С учетом невозможности использовать существующие решения нам необходимо разработать методику и решения системной автоматизации типового склада СМП. Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) разработать улучшенную структуру макроуправления логистикой СМП региона с использованием автоматического центрального склада;
- 2) определить архитектуру программно-аппаратного комплекса для автоматизации склада СМП с формированием привязки существующих бизнес-процессов к предложенному решению;
- 3) определить методы реализации аппаратной части, удовлетворяющие требованиям к автоматизируемому объекту;
- 4) разработать математический аппарат, описывающий основные параметры элементов аппаратной части автоматизируемого склада;
- 5) верифицировать предложенное решение, определить допустимость его практического применения.

**Предлагаемая структура макроуправления СМП региона.** Для устранения отмеченных недостатков существующей системы макроуправления нами предложена структура, показанная на Рисунке 2.

Ее особенность заключается в реализации структуры вокруг автоматического центрального склада СМП региона. Главным ЛПР также является заместитель главного врача по лечебной работе СМП региона. Однако основные управленческие воздействия ориентированы только на центральный склад СМП региона. Взаимодействие с центральным фармацевтическим складом региона и складами подстанций СМП реализуется на уровне базовых нормативных документов и процедур контроля.

Структура центрального склада СМП региона значительно меняется. В нем остается единственное ЛПР, которое ответственно за все бизнес-процессы склада. Оно участвует в автоматизированном товарообороте, документообороте, работе с внешними информационно-медицинскими системами и формировании логистических процедур отгрузки товаров на подстанции СМП. Нагрузка на ЛПР не увеличивается вследствие программной автоматизации. При этом при наличии только одного ЛПР пропадает

рассинхронизация процессов и повышается ответственность. Автоматизация позволяет осуществить совместную привязку процессов и их контроль. Большинство процессов могут быть реализованы без участия человека.

При этом процедуры, относящиеся к хранению, загрузке, комплектованию и управлению климатом полностью автоматизированы и не требуют участия человека. В процессе автоматизации используется многоразовая универсальная тара, которая не только позволяет сократить расходы на упаковку, но и автоматизировать логистические процессы, не рассмотренные в данной статье.

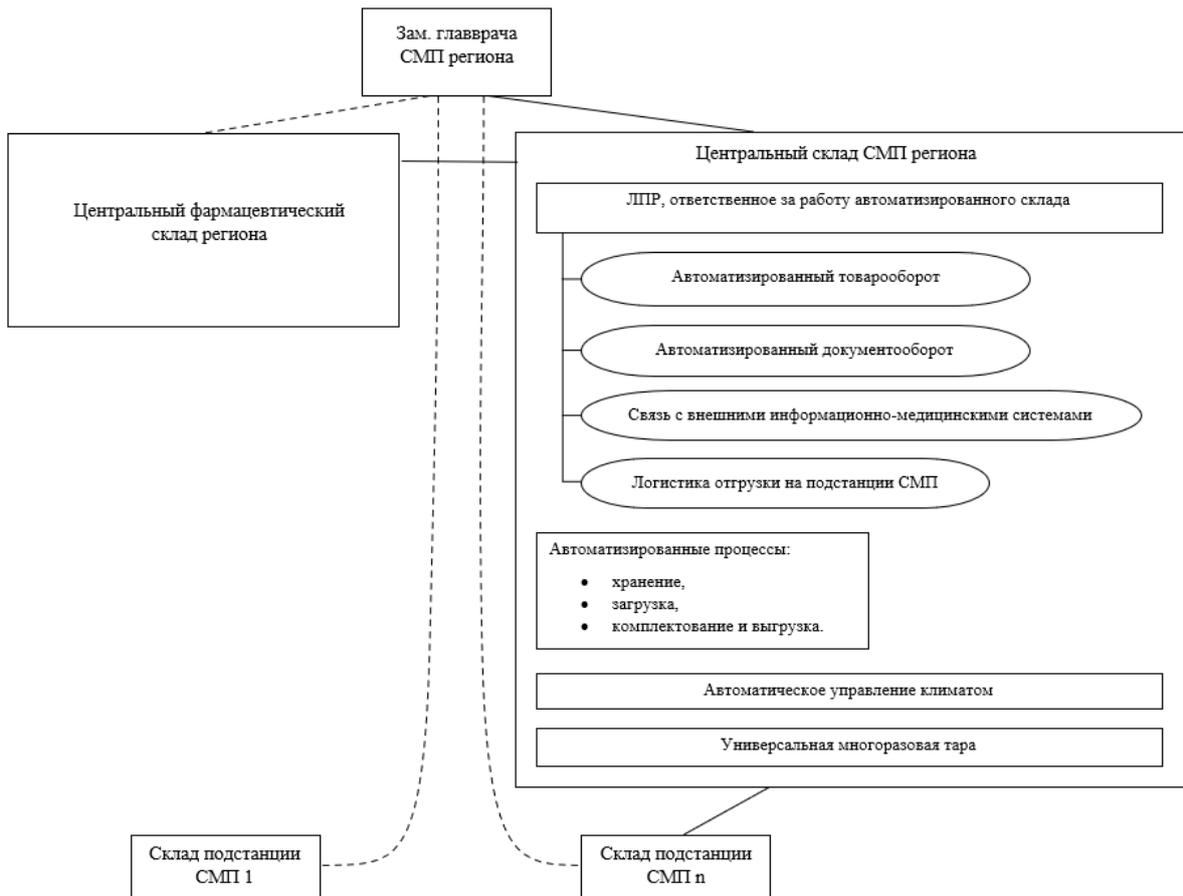


Рисунок 2 – Предложенная структура макроуправления логистикой СМП региона  
 Figure 2 – The proposed structure of macro-management of logistics of the EMS region

В предложенной структуре отмечена связь между центральным складом СМП региона и подстанциями СМП. Она показывает, что аналитика выполняется информационной системой центрального склада и автоматически участвует в формировании заказов центральному фармацевтическому складу региона. Служба заместителя главного врача СМП по лечебной части региона при этом выполняет лишь контрольно-нормирующую функцию.

**Архитектура предлагаемого автоматического центрального склада СМП региона.** Предлагается многоуровневая архитектура. Верхний уровень является программным, нижний – аппаратно-программным. Рассмотрим предлагаемую архитектуру с распределением бизнес-процессов склада СМП по уровням в структурной схеме, представленной на Рисунке 3.

Верхний уровень реализуется на сервере. В дальнейшем в ходе проектирования системы он будет разбит на подуровни и модули. В текущей структурной схеме он

представлен перечнем реализуемых бизнес-процессов. Рассмотрим наиболее значимые из них.

Предиктивная аналитика необходима для динамического управления складскими запасами с учетом сезонного (и других вариантов) изменения расхода. Она позволяет поддерживать необходимый запас без превышения объема хранения в зависимости от внешних условий.

Процедуры заказа, закупки, приемки, отгрузки и так далее реализуются стандартные организационные процессы, принятые в отрасли. Сюда также относятся различные отчеты, включая передачу данных во внешние медицинские информационные системы.



Рисунок 3 – Структурная схема  
Figure 3 – Structure scheme

Формирование оптимальной карты хранения, определение оптимальных последовательностей операций при загрузке и выгрузке, а также реализация процедуры оптимизации складского пространства (карты хранения) – важные элементы для управления автоматическим складом. С учетом высоких требований к автоматизируемому объекту необходимо обеспечить эффективную схему хранения, обеспечивающую минимизацию времени выполнения стандартных операций при максимизации плотности хранения товаров.

Для этого необходимо реализовать математический аппарат, алгоритмы и программные решения, обеспечивающие оптимальные складские процессы. Данный

вопрос выходит за рамки текущей работы. Однако базовый математический аппарат, описывающий представление физического уровня решения, будет рассмотрен ниже.

Нижний уровень представлен аппаратно-программным комплексом, включающим робототехническое решение. Автоматическая зона приемки и сортировки товара использует принципы управления на базе машинного зрения и современных интеллектуальных автоматизируемых систем. Автоматическая зона хранения является самым важным элементом нижнего уровня. От ее реализации зависят основные характеристики склада. Зона выгрузки, система управления микроклиматом и вспомогательные системы на текущем этапе работ являются сравнительно простыми системами и не обладают значимой научно-технической новизной.

**Реализация методики хранения и аппаратного обеспечения решения.** На Рисунке 4 представлен схематичный вид стеллажей. Они содержат расположенные в регулярном порядке выдвигающиеся пеналы для медикаментов. Высота и ширина пенала значительно меньше глубины. Пеналы имеют несколько типоразмеров, чтобы эффективно (по занимаемому объему) располагать объекты.

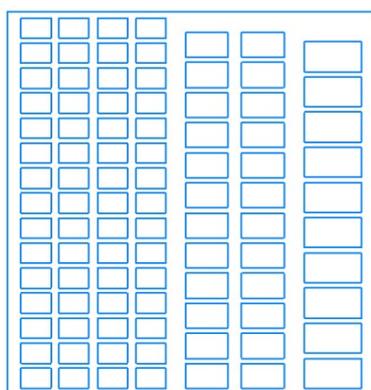


Рисунок 4 – Стеллаж склада  
 Figure 4 – Warehouse shelving

Хранение осуществляется в ячейках пеналов определенного размера с расположением торца с QR-кодом вверх или на передней поверхности. Конструкция пенала схожа концептуально с конструкцией полки для CD-дисков: ячейки располагаются в один ряд друг за другом в глубину стеллажа. Для фиксации финальной упаковки в каждой ячейке предусмотрены две подпружиненные ламели. Извлечение и размещение упаковки выполняется манипулятором через верх при выдвинутой позиции пенала.

Основные рабочие алгоритмы предлагаемого решения представлены на Рисунке 5. Загрузка пеналов осуществляется в отдельной зоне, расположенной на одном из торцов стеллажной группы. Предполагается одновременная загрузка нескольких пеналов.

Зона выгрузки представлена конвейером с расположенными на нем контейнерами отгрузки. На единой ленте располагаются пустые и заполненные контейнеры. Зона выгрузки находится непосредственно под зоной загрузки.

Устройство также имеет опциональную процедуру оптимизации пространства. Она заключается в перемещении медикаментов в другие пеналы во время, не занятое основными процедурами комплекса, таким образом, чтобы максимально ускорить и упростить последовательности процедур загрузки и комплектования отгрузки.

## Результаты

Для автоматизации процесса проектирования оптимального склада и реализации процедур управления робототехническим решением необходимо разработать математический аппарат, описывающий движение исполнительных механизмов и размещение медикаментов в стеллажной группе, а также базовые алгоритмы.

Основная часть склада представлена стеллажной группой с манипулятором. Ее основными задачами являются автоматическая загрузка и выгрузка. Данные процессы алгоритмизированы и представлены на Рисунках 5 и 6 соответственно.



Рисунок 5 – Алгоритм автоматической загрузки  
 Figure 5 – Automatic loading algorithm



Рисунок 6 – Алгоритм автоматической выгрузки  
 Figure 6 – Automatic unloading algorithm

Позиционирование механизмов реализуется посредством датчиков и системы обратной связи электроприводов манипулятора, считывание QR-кода с помощью специализированного сканера. Определение карты хранения медикаментов, заполнения склада и порядка перемещений определяется информационной системой решения на программном уровне.

Рассмотрим модель расчета затрат времени в процессе комплектования произвольного объема и номенклатуры медикаментов.

Стеллажная группа описывается матрицей  $M$ , в которой манипулятор осуществляет движение по 3 осям:

$$M = \begin{bmatrix} y_1 & z_1 & x_1 & r_1 \\ y_2 & z_2 & x_2 & r_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ y_n & z_n & x_n & r_n \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $y_n$  – координаты по горизонтальной оси;  $z_n$  – координаты по вертикальной оси;  $x_n$  – координаты оси выдвигания пенала;  $r_n \in \{0, 1\}$  – левый или правый ряд стеллажа.

Общее время выполнения операции:

$$T_{total} = \sum_{k=1}^N (t_{pos}(p_k) + 2t_{pull}(p_k)), \quad (2)$$

где  $t_{pos}$  – время позиционирования манипулятора;  $t_{pull}$  – время извлечения/возвращения пенала;  $p_k$  – текущий пенал.

$$t_{pos} = \max(t_y, t_z, t_\delta), \quad (3)$$

где  $t_y$  – время движения по горизонтальной оси;  $t_z$  – время движения по вертикальной оси;  $t_\delta$  – время, затрачиваемое на изменение рабочего ряда.

$$t_\delta = (r_k, r_{k+1})t_{switch}, \quad (4)$$

$$\delta = (r_k, r_{k+1}) = 1, \text{ если } r_{k+1} = r_k, \text{ иначе } 0, \quad (5)$$

$$t_\alpha(p_k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2S_\alpha}{a_\alpha}}, & \text{если } S_\alpha \leq \frac{v_\alpha^2}{a_\alpha} \\ \frac{v_\alpha}{a_\alpha} + \frac{S_\alpha - \frac{v_\alpha^2}{a_\alpha}}{v_\alpha}, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $t_\alpha(p_k)$  – время движения манипулятора по оси  $\alpha$  для извлечения пенала  $p_k$ ;  $S_\alpha$  – дистанция по оси  $\alpha$ ;  $v_\alpha$  – скорость по оси  $\alpha$ ;  $a_\alpha$  – ускорение по оси  $\alpha$ .

Размещение медикаментов в стеллажной группе представлено следующей моделью. Для каждого типа товара с размером упаковки  $l_m, w_m, h_m$  (длина, ширина, высота соответственно) существует пенал  $p_j$  [ $j = 1, 2, \dots, J$ ] (тип пенала) с размерами  $d_j, w_j, h_j$  (глубина, ширина, высота соответственно), так что:

$$\begin{cases} l_m \leq d_j - \Delta \leq k_{lj} l_m \\ w_m \leq w_j - \Delta \leq k_{wj} w_m, \\ h_m \leq h_j \leq k_{hj} h_m \end{cases} \quad (7)$$

где  $k_{lj}, k_{wj}, k_{hj}$  – коэффициенты разницы размеров товаров по длине, ширине, высоте, соответственно для стеллажа  $j$ , подбираются эмпирически. Допускается единый набор коэффициентов  $k_l = 3,2, k_w = 1,65, k_h = 1,85$ .  $\Delta$  – размер сепаратора пенала.

Общая ширина стеллажа  $W_j$  совпадает у всех стеллажей типа  $j$ .

$$W_j = n_j(w_j + g) + g, \quad (8)$$

где  $n_j$  – число пеналов  $p_j$  в горизонтальном ряду:

$$n_j = \left\lfloor \frac{W_j^{max} - g}{w_j + g} \right\rfloor, \quad (9)$$

где  $W_j^{max}$  – максимально допустимая ширина стеллажа  $j$ ;  $g$  – размер конструкции сепаратора стеллажа.

Количество рядов с пеналами  $p_j$  для каждого стеллажа:

$$f_j = \left\lfloor \frac{H - g}{h_j + g} \right\rfloor, \quad (10)$$

где  $H$  – общая высота для всех стеллажей  $J$  (одинакова для всех типов).

Количество ячеек в пенале  $p_j$ :

$$c_j = \left\lfloor \frac{D - \Delta - 2g}{d_j + \Delta} \right\rfloor, \quad (11)$$

где  $D$  – общая глубина стеллажей  $J$  (одинакова для всех типов).

Общее количество ячеек для товаров

$$N = \sum_{j=1}^J I_j \cdot n_j \cdot f_j \cdot c_j,$$

где  $I_j$  – количество стеллажей типа  $j$ .

$$N = \sum_{j=1}^J I_j \cdot \left\lfloor \frac{W_j^{max} - g}{w_j + g} \right\rfloor \left\lfloor \frac{H - g}{h_j + g} \right\rfloor \left\lfloor \frac{D - \Delta - 2g}{d_j + \Delta} \right\rfloor.$$

$$H \in [H_{min}, H_{max}], D \in [D_{min}, D_{max}], \quad (12)$$

где  $H_{min}$  – минимальная высота стеллажной группы;  $H_{max}$  – максимальная высота стеллажной группы;  $D_{min}$  – минимальная глубина стеллажной группы;  $D_{max}$  – максимальная глубина стеллажной группы.

Для эффективного заполнения склада задачей является максимизация количества хранимых упаковок  $N \rightarrow \max$ .

### Заключение

Предложенная структура макроуправления логистической системой СМП региона Российской Федерации позволяет устранить ряд значительных недостатков, к основным из которых относятся потеря медикаментов в связи с истечением сроков годности, чрезмерная трудоемкость, неэффективное использование складского пространства, низкая функциональность, отсутствие гибких процедур товарооборота медикаментов и сопутствующих товаров. Структура базируется на использовании автоматического склада СМП региона в качестве основного элемента логистической системы.

Основное внимание в работе было уделено данному компоненту. Мы показали, что существующие автоматизированные склады не могут быть использованы в качестве заимствованного решения или прототипа. Поэтому было предложено оригинальное решение в виде аппаратно-программного комплекса. Его структурная схема, учитывающая необходимые бизнес-процессы позволяет реализовать программную часть комплекса. Представленные для аппаратной части метод хранения, основные алгоритмы работы и описание позволили сформулировать математический аппарат для моделирования оптимальной структуры склада, а также расчета его основных параметров.

По результатам данной работы принято решение о переходе к следующей стадии – эскизному проекту для создания прототипа.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Белозерцева Н.П., Мажуга М.А. Оптимизация складской деятельности учреждений здравоохранения. *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2021;10(3):246–250. <https://doi.org/10.26140/anie-2021-1003-0056>  
Belozertseva N.P., Mazhuga M.A. Optimization of Warehouse Activities of Healthcare Institutions. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2021;10(3):246–250. (In Russ.). <https://doi.org/10.26140/anie-2021-1003-0056>
2. Leaven L., Ahmmad K., Peebles D. Inventory Management Applications for Healthcare Supply Chains. *International Journal of Supply Chain Management*. 2017;6(3):1–7.
3. Jebbor S., Chiheb R., El Afia A., Gallab M. Designing a Fully Automated and Integrated Inventory and Replenishment System for Hospitals. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2023;10(1). <https://doi.org/10.1080/23302674.2021.1962429>
4. Reuter-Oppermann M., van den Berg P.L., Vile J.L. Logistics for Emergency Medical Service Systems. *Health Systems*. 2017;6(3):187–208. <https://doi.org/10.1057/s41306-017-0023-x>
5. V G.D., Srinivasan A., S P., Mahindrakar R.P., Chandel S. Advanced IoT-Enabled Warehouse Air Quality Monitoring and Live Security System for Medical Applications. In: *2023 International Conference on Artificial Intelligence for Innovations in Healthcare Industries (ICAIIIH), 29–30 December 2023, Raipur, India*. IEEE; 2024. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIH57871.2023.10489747>
6. Phimmasorn B., Visitsattapongse S. The Pharmacy Automatically Machine. In: *ICBBT '19: Proceedings of the 2019 11<sup>th</sup> International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology, 29–31 May 2019, Stockholm, Sweden*. New York: Association for Computing Machinery; 2019. P. 137–141. <https://doi.org/10.1145/3340074.3340092>
7. Che H.L., Yun Ch., Zang J.Yu. Design and Implement on Automated Pharmacy System. In: *Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics, and Education: International Conference, CSEE 2011: Proceedings: Part I, 21–22 August 2011, Wuhan, China*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. P. 167–175. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23321-0\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23321-0_26)
8. Толмачева И.А., Старостина А.В. Аптечный робот как инновация коммерческой деятельности. *Наука и образование: проблемы и стратегии развития*. 2016;(1):238–241.
9. Федотов Н.О., Конюхова Г.П. Логистическое сопровождение и автоматизированные склады. В сборнике: *Актуальные проблемы международных экономических и финансовых отношений: сборник статей международной научно-практической конференции, приуроченной к дню финансиста, 08 сентября 2020 года, Москва, Россия*. Москва: Автономная некоммерческая организация Центральный научно-исследовательский институт русского жестового языка; 2020. С. 130–135.
10. Яковенко О. Сделано в России: автоматизированный интеллектуальный склад ТЗМ-800. *Технологии в электронной промышленности*. 2022;(1):60–61.
11. Вертикальный автоматический склад – новое слово в искусстве хранения от Modula. *Логистика*. 2018;(2):17.

12. Laber J., Thamma R., Kirby E.D. The Impact of Warehouse Automation in Amazon's Success. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2020;7(8):63–70.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Паринов Максим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, ООО «Я робот», Воронеж, Российская федерация. **Maxim V. Parinov**, Candidate of Engineering Science, Docent, Voronezh State Technical University, Ya Robot LLC, Voronezh, the Russian Federation.

*e-mail:* [parmax@mail.ru](mailto:parmax@mail.ru)

ORCID: [0000-0002-7427-5475](https://orcid.org/0000-0002-7427-5475)

**Паринова Евгения Викторовна**, магистрант, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская федерация. **Evgeniya V. Parinova**, Master's Degree student, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

*e-mail:* [ysahno86@gmail.com](mailto:ysahno86@gmail.com)

*Статья поступила в редакцию 30.04.2025; одобрена после рецензирования 09.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.*

*The article was submitted 30.04.2025; approved after reviewing 09.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.*