Производительность робота: распределение заданий и параллельная сборка

Кто мы и как устроен процесс

Наш клиент доставляет продукты и товары повседневного спроса из даркстор-складов в Алматы и Астане. Заказ собирается под слот доставки (шесть слотов в сутки с 07:00 до 24:00) и должен быть готов не позднее 40 минут после закрытия слота. На двух складах часть ассортимента вынесена в роботизированную зону: мобильный робот с манипулятором подъезжает к стеллажу, берёт товар из бокса хранения, кладёт в клиентский бокс и отвозит его на выдачу, где сборщик добавляет бокс к остальной части заказа.

Задания роботу выдаёт связка двух систем: наша система управления заказами роботов (ROM, сторона нашего клиента) и система управления парком вендора (RCU). Помимо клиентских заказов роботы выполняют выкладку (пополнение боксов), инвентаризацию, возврат пустых боксов и зарядку.

В чём проблема

Один робот собирает слишком мало. В новогодний пик мы хотим собирать роботами 15 000 строк в сутки на одном складе при норме 700 строк на робота. Сегодня робот собирает около 140 строк в сутки (расчёт) - в пять раз меньше. Нарастить объём числом роботов нельзя: на складе не более 50 роботов, а на текущей площади зоны дополнительные роботы создают заторы - поэтому в работе 14-18 роботов на одном складе и 18-25 на другом, хотя готовых больше.

Показатель (22-23.11.2026)	Склад в Алматы	Склад в Астане	Цель
Заказов за сутки (день + ночь)	1 021 + 297	1 056 + 329	-
Секунд на строку, день / ночь	254 / 142	216 / 159	100-120
Секунд на заказ, день / ночь	381 / 206	321 / 236	< 200
Строк в заказе	1,5	1,5	-
Доля времени роботов в работе, день / ночь (расчёт)	71 % / 18 %	45 % / 14 %	85 % и выше
Роботов в сменном отчёте	14	18	-

Почему так происходит - наш взгляд

- **Один рейс - один заказ:** робот везёт один клиентский бокс. При 1,5 строки в заказе большая часть времени уходит на дорогу к стеллажу и на выдачу, а не на отбор.
- **Простая логика назначения:** заказ отдаётся свободному роботу без учёта того, где робот находится, какие ячейки нужны и что рядом уже едут другие роботы.
- **Неравномерная загрузка суток:** днём робот ждёт задание от 2 до 4 часов из 12, ночью - 9-10 часов. Ночью разрешено собирать заказы четырёх ближайших слотов, но заказов на роботизированный ассортимент не хватает.

- **Жёсткий приоритет:** выкладку и инвентаризацию робот берёт только когда нет заказа. Днём пополнение отстаёт, боксы пустеют, заказы уходят сборщикам-людям.
- **Заторы:** зона проектировалась под меньший парк, есть односторонние проезды и узкие места у выдачи. Каждый робот сверх 18-25 снижает общую скорость.
- **Выдача как стоп-фактор:** когда все места выдачи заняты, роботы стоят с собранными боксами.

Что это значит для бизнеса

Заказы дневных слотов, которые роботы не успевают собрать, передаются сборщикам - склад держит резерв людей «на всякий случай», и экономический смысл роботизации размывается. Критерий готовности зоны к полноценной работе (заказ быстрее 200 секунд и загрузка роботов выше 70 %) не выполнен ни в одной смене. Без кратного роста производительности цель новогоднего пика недостижима: при текущей выработке на 15 000 строк потребовалось бы около 100 роботов.

Что уже пробовали

Перенастраивали геозоны (от 14 до 32 и обратно к 5), ввели режим уникальных SKU, расширили окно слотов, запустили гравитационные стеллажи на выдаче и сборку силами сборщиков на выдаче. Параллельная сборка (до 4 заказов за один рейс, ожидаемый эффект - втрое больше отборов на робото-час) запланирована, но срок первого этапа перенесён с 10.11 на 10.12.2026, критерии приёмки не описаны.

Что мы ждём от решения и что готовы дать

- **Ждём:** алгоритм пакетирования заказов, назначения их роботам и построения маршрутов с учётом трафика, зарядки, выкладки и инвентаризации; оценку эффекта на наших данных до внедрения.
- **Ограничения:** интеграция через существующий API ROM и RCU; слоты и срок 40 минут после закрытия слота неизменны; не более 50 роботов на склад; планировка зоны в ближайшие месяцы меняется ограниченно.
- **Даём:** телеметрию роботов с 05.11.2026 (задания, действия, состояние каждые 5 секунд), профиль поступления заказов с шагом 10 минут, карту зоны, имитационную модель сектора для проверки гипотез.

Как мы видим пилот

Задача ведётся пилотом и не требует остановки зоны. Основная часть проверки проходит на имитационной модели, затем алгоритм работает в теневом режиме — формирует решения параллельно действующей логике, не исполняя их, — и только после этого включается на одном складе, на ограниченном секторе и части парка. Возврат к текущей логике назначения возможен на любом шаге. Сроки указаны ориентировочно и уточняются с исполнителем.

Этап	Объект и объём	Срок	Критерий перехода
0. Измерения и аудит интеграций	Оба склада. Фиксация определений показателей, инструментальный замер базового уровня по телеметрии, аудит возможностей API ROM и RCU, карта прав принятия решений между ними.	1–2 недели	Определения показателей утверждены и реализованы в едином расчётном контуре. Базовый уровень измерен, а не рассчитан; расхождение с текущими расчётными значениями объяснено. Выдано заключение, допускают ли существующие API многозаказный рейс и управление порядком обхода.
1. Имитационная модель зоны	Наша модель сектора, расширяемая до модели зоны, по обоим складам. Калибровка на телеметрии, построение зависимости пропускной способности от числа работающих роботов.	1–2 недели	Модель воспроизводит выработку на робото-час с отклонением не более 10 % и долю времени в работе — не более 15 %. Качественно воспроизводится падение общей скорости при превышении 18–25 роботов.
2. Алгоритмы и оценка эффекта	Имитационная модель, исторический и пиковый профили спроса. Пакетирование, назначение, маршрутизация, планирование выкладки, инвентаризации и зарядки.	2–3 недели	Рост выработки на робото-час не менее чем втрое к измеренному базовому уровню при сохранении 100 % готовности заказов к сроку и численности парка не выше 25 роботов. Представлена декомпозиция эффекта: что даёт пакетирование, что — рост загрузки, что требует изменений процесса или планировки.
3. Теневой режим	Склад в Алматы, полный поток заданий. Алгоритм формирует решения параллельно действующей логике, решения не исполняются.	2 недели	Не менее 99 % заданий получают исполнимое решение в отведённое время. Систематическое смещение прогноза времени завершения рейса — не более 15 %. Прогнозируемых нарушений срока готовности нет.
4. Пилот и тиражирование	Один склад: ограниченный сектор и часть парка, с постепенным расширением доли управляемых рейсов. Затем перенос на второй склад.	1–2 недели, далее согласуется	700 строк на робота в сутки. Доля заказов, готовых к сроку, — не ниже 99 %. Доля времени роботов в работе — не ниже 85 %. Подтверждён мгновенный откат к прежней логике назначения.

Этап 0 является развилкой: если существующие API не позволяют передать рейс из нескольких заказов или задать порядок обхода ячеек, пакетирование и управляемая маршрутизация силами исполнителя нереализуемы, и объём работ сводится к формулировке требований для вендора парка. По этой же причине мы считаем имитационную модель обязательной, а не желательной: заторы порождаются теми же решениями, которые оптимизируются, поэтому проверка алгоритма повторным проигрыванием исторической телеметрии систематически завышает эффект.

Отдельно отмечаем: показатель «секунд на заказ» не может служить критерием приёмки после внедрения пакетирования. Заказ в составе рейса ожидает формирования пакета, поэтому решение, корректно повышающее выработку зоны, этот показатель ухудшит. Критерии выше сформулированы в выработке на робото-час и доле заказов, готовых к сроку; «секунд на заказ» и «секунд на строку» остаются информационными. Там же приводим к единой базе действующие цели: 100–120 секунд на строку при 1,5 строки в заказе соответствуют 150–180 секундам на заказ, а не заявленным «менее 200».

Источники данных, системы и доступы

Программное обеспечение работает с четырьмя нашими системами и с системой управления парком вендора. Все обмены выполняются внутри нашего контура, выгрузка данных во внешние сервисы не предусматривается.

Система или данные	Что содержит	Способ интеграции	Кто предоставляет доступ
ROM — управление заказами роботов	Клиентские задания, состав заказов, привязка к слотам, очередь заданий зоны	REST API: получение заданий, возврат сформированных рейсов синхронным вызовом	Заказчик: документация API, тестовый контур, учётные записи
RCU — управление парком	Состояние роботов (положение, заряд, текущее задание), выдача заданий, занятость мест выдачи	API вендора. Состав методов и ограничения уточняются на этапе 0	Вендор парка через Заказчика: документация и тестовый доступ
Телеметрия роботов	Задания, действия, состояние каждые 5 секунд, с 05.11.2026	Файловая выгрузка (Parquet или CSV) в объектное хранилище	Заказчик
Профиль поступления заказов	Число заказов и строк с шагом 10 минут, по слотам и складам	Файловая выгрузка за исторический период	Заказчик
Складская платформа	Сетка слотов и сроки готовности, факт передачи заказов сборщикам-людям	REST API либо периодическая файловая выгрузка	Заказчик
Мастер-данные ассортимента и ячеек	Состав роботизированного ассортимента, привязка SKU к ячейкам хранения	REST API либо выгрузка, периодическая синхронизация	Заказчик
Карта роботизированной зоны	Геометрия, схема проездов, расположение ячеек и мест выдачи	Файлы: чертёж и машиночитаемое описание	Заказчик
Имитационная модель сектора	Существующая модель для проверки гипотез	Передача файлами; формат и среда исполнения уточняются на этапе 0	Заказчик
Мониторинг	Показатели работы зоны и расхождения теневого режима	Передача метрик в Grafana через Prometheus-совместимый endpoint	Заказчик

- **Сроки предоставления:** доступ к тестовому контуру ROM, к выгрузкам телеметрии и профилей, к карте зоны и имитационной модели предоставляется в первую неделю работ. Документацию и тестовый доступ к API RCU мы запрашиваем у вендора парка; возможные задержки на его стороне учитываются в плане этапа 0.

- **Сквозной идентификатор:** для сопоставления решения алгоритма с фактическим исполнением нужен единый идентификатор рейса, общий для ROM, RCU и телеметрии. Если в текущем виде он отсутствует, его введение входит в объём этапа 0.
- **Доработки систем:** изменения в ROM выполняет наша команда по спецификации исполнителя, изменения в RCU — вендор парка. Исполнитель формулирует требования и принимает результат, но сам в эти системы изменения не вносит.
- **Устойчивость:** недоступность сервиса планирования не останавливает зону — ROM по таймауту возвращается к действующей логике назначения. Это требование проверяется на этапе 3.
- **Данные работников:** в сервис планирования передаются обезличенные идентификаторы сборщиков и приёмщиков; персональные данные не передаются.