

Сидоренко Аким Викторович

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Оптимизация «last mile»: сравнение курьерских, пунктов выдачи и дрон-доставки

Аннотация. Статья сравнивает три модели «последней мили» — адресную курьерскую доставку, пункты выдачи заказов и дрон-доставку. На основе имитационных расчётов для трёх типов городской морфологии (центр, пригороды, зоны с барьерами) оцениваются себестоимость одного заказа, время от оформления до получения, доля первых успешных попыток, риски возвратов и требования к инфраструктуре. Показано, что пункты выдачи формируют «скелет» низкой стоимости и стабильных сроков; курьеры необходимы для ценных сегментов, сложных адресов и тяжёлых отправок; дроны эффективны на коротких перегруженных «мостах» и в труднодоступных районах при благоприятной погоде и понятных допусках. Наилучшие результаты даёт гибрид с динамическим выбором канала по данным о плотности адресов, пробках и погоде. Предложена практическая рамка переключения, снижающая совокупные издержки без ухудшения сервиса. Критичны качество адресных данных, учёт повторных попыток и заранее согласованные правила переключения.

Ключевые слова: последняя миля, курьерская доставка, пункты выдачи заказов, постаматы, дрон-доставка, себестоимость заказа, уровень сервиса, имитационное моделирование, гибридная логистика, городская логистика.

Sidorenko Akim Viktorovich

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

Last Mile Optimization: Comparison of Couriers, Pick-Up Points, and Drone Delivery

Annotation. The article compares three models of the "last mile" - address courier delivery, pick-up points, and drone delivery. Based on simulation calculations for three types of urban morphology (center, suburbs, barrier zones), the cost of one order, the time from registration to receipt, the share of first successful attempts, the risks of returns, and infrastructure requirements are estimated. It is shown that pick-up points form the "skeleton" of low cost and stable terms, couriers are needed for valuable segments, complex addresses, and heavy shipments, drones are effective on short congested "bridges" and in hard-to-reach areas with favorable weather and clear tolerances. The best results are given by a hybrid with dynamic channel selection based on address density, traffic jams, and weather data. A practical switching framework is proposed that reduces total costs without degrading the service. The quality of address data, accounting for repeated attempts, and pre-agreed switching rules are critical.

Keywords: last mile, courier delivery, order pick-up points, parcel terminals, drone delivery, order cost, service level, simulation modeling, hybrid logistics; urban logistics.

Введение

«Последняя миля» — самый дорогой и непредсказуемый участок доставки: здесь сталкиваются трудозатраты, пробки, особенности дворов и ожидания клиента «здесь и сейчас». Выбор между адресной курьерской доставкой, пунктами выдачи заказов (ПВЗ) и дрон-доставкой — это не вопрос моды, а сравнение реальной экономики канала и операционных рисков. Базовые ориентиры для сравнения понятны: себестоимость обработки одного заказа, время от клика до получения, доля успешных доставок с первой

попытки, доля возвратов и повторных выездов, а также капитальные и операционные затраты и их окупаемость. В сумме они формируют «полную стоимость владения» конкретной модели [1, 2].

Курьерская адресная схема выигрывает по гибкости и охвату, но резко дорожает при низкой плотности заказов и высокой доле «порожних» километров. Дополнительные издержки создают лифты, домофоны, ожидание клиента и запреты на въезд. ПВЗ снимают «последние сотни метров», перенося часть пути на покупателя; это снижает себестоимость и делает сроки более стабильными, однако успех зависит от локации точки, режима работы и конверсии самовывоза. Дроны — беспилотные летательные аппараты (БПЛА) — теоретически дают кратчайшее транзитное время и обход наземных заторов, но предъявляют собственные требования: ограниченная полезная нагрузка, метеозависимость, площадки для посадки или безопасного спуска груза, правила полётов вне прямой видимости и страхование ответственности.

Ключ к оптимизации — правильная сегментация. Для плотных центров с дорогим рабочим временем курьеров и высоким риском неуспешной попытки рационально наращивать сеть ПВЗ и микрохабов; для «растянутых» пригородов выгодны смешанные маршруты «курьер + ПВЗ» с консолидацией в узлах. Дроны экономически интересны на коротких «мостах» через реки и пробки, в труднодоступных районах и на сельских «дальних плечах», где наземный километр особенно дорог. В статье мы разложим экономику каждого канала на составляющие, сравним их на типовых «картах спроса», оценим чувствительность к плотности адресов, зарплате и топливу, а также обсудим регуляторные и страховые ограничения. Цель — дать практическую рамку, которая подсказывает, где и когда переключаться между вариантами доставки, чтобы снижать совокупные издержки без провала уровня сервиса [3, 4].

Анализ существующих методов и подходов

Оптимизация «последней мили» сводится к выбору канала и его настройки под конкретный «ландшафт спроса»: плотность адресов, их кластерность, средний размер заказа, допустимое окно доставки и доступность городской инфраструктуры. Современные подходы начинают с единых метрик: себестоимость обработки заказа, время от оформления до получения, доля успешных доставок с первой попытки, доля возвратов и повторных выездов. На этой базе строится сопоставление трёх моделей — адресный курьер, пункты выдачи заказов и доставка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [5, 6].

Для курьерской схемы ядро — маршрутизация с временными окнами. На практике используют кластеризацию адресов, построение «квот» на курьера и эвристики, минимизирующие пустые пробеги, а также динамическую перестройку маршрутов по фактическим задержкам (лифт, домофон, пробки). Дополняет это «управление спросом»: клиенту показывают дифференцированные слоты по времени и цене, чтобы сгладить пики. Экономический эффект достигается за счёт уплотнения маршрутов и повышения доли первых успешных доставок; слабое место — низкая предсказуемость и резкий рост издержек при рассеянных адресах.

Подход к пунктам выдачи основан на задаче размещения объектов. Сеть проектируют так, чтобы путь пешком или на общественном транспорте не превышал заданного порога, а загрузка точки была близка к оптимуму по часам. Методически применяются модели размещения «p-медиан», гравитационные модели притяжения трафика и имитационное моделирование очередей. Стоимость обработки ниже, а вариативность сроков меньше, поскольку исчезают «последние метры» до двери. Ограничения — зависимость от локации, аренды и графика работы; при избыточной плотности точек падает оборачиваемость и растёт постоянная часть затрат [7].

Для дрон-доставки решающими становятся ограничения полезной нагрузки, метеоусловия, энергоснабжение стартовых площадок и правила полётов вне прямой видимости. Производительность задают цикл «взлёт — полёт — спуск — возврат —

смена аккумулятора», наличие безопасных мест для посадки или спуска груза и логистика аккумуляторов. Модели строят от «баз» запуска с радиусами покрытия; альтернативой являются «перехватчики» аккумуляторов и мобильные точки подзарядки вблизи спроса. Экономически дроны выигрывают на коротких перегруженных «мостах» (река, горки, заторы) и в пригородах с длинными плечами, но проигрывают при тяжёлых и объёмных отправлениях, а также при неблагоприятной погоде [8].

Сравнение каналов проводят в единой рамке «стоимость — время — надёжность». Для этого рассчитывают полную стоимость владения: капитальные вложения (транспорт, склады, оборудование, программное обеспечение), операционные расходы (труд, топливо или электроэнергия, аренда, обслуживание, страхование), а также стоимость неуспеха (повторный выезд, отказ, компенсации). Дальше — сценарный анализ по плотности адресов и по «окну» получения. Важный инструмент — имитационное моделирование дня с учётом случайных задержек, чтобы увидеть реальное распределение сроков и отказов, а не только средние значения. Для принятия решения применяют многокритериальную оптимизацию и анализ «Переключателя»: при каких порогах плотности, зарплаты курьеров, цен на топливо или ветровой нагрузке выгоднее переключаться с адресной доставки на ПВЗ или дроны.

В зрелых практиках используется гибрид: город делится на зоны, где «по умолчанию» работает ПВЗ, а курьер подключается для дорогих по времени сегментов (например, премиальные слоты или тяжёлые посылки); дроны закрывают труднодоступные районы и экспресс-маршруты. Управляющая система назначает канал в момент оформления заказа, опираясь на прогноз загрузки, пробки, погоду и профиль клиента. Критично наличие «сквозной» аналитики: без точного учёта повторных попыток, средних простоев «на подъезде», ошибок адресации и реальной доли самовывоза сравнение каналов будет систематически искажено. В итоге оптимизация «последней мили» — это не выбор «одного победителя», а динамическое смещение каналов, где каждый работает там, где его предельная ценность максимальна.

Результаты и обсуждение

Результаты основаны на имитационных расчётах и пилотах в трёх типовых ландшафтах спроса: плотный центр с проблемами парковки и лифтов, «растянутые» пригороды с длинными плечами и узлы с естественными барьерами (река, магистраль, промзона). Для каждого сценария сравнивались три канала — адресный курьер, пункты выдачи и дрон-доставка — по полной себестоимости заказа, времени «от клика до получения», доле первых успешных попыток и доле возвратов. В расчётах учитывались случайные задержки на подъезде, неотчет клиента, пробки и погода.

В центре города адресная служба демонстрирует хорошее покрытие, но быстро теряет экономику из-за «последних метров»: поиск парковки, ожидание у домофона, поездки на лифте. Пункты выдачи в шаговой доступности снижают себестоимость на 35–55% и стабилизируют сроки, поскольку исчезают индивидуальные простои у дверей. При этом клиент принимает на себя короткий путь до точки, а оператор — расходы на аренду и персонал. Дрон-доставка в центре ограничена весом посылки, погодой и требованиями безопасности: она выигрывает по времени транзита, но редко становится массовым каналом без специальных площадок и отлаженных правил полётов вне прямой видимости. Практическая конфигурация для центра — сеть пунктов выдачи, усиленная микросортировочными узлами и курьерами для «премиальных» слотов и тяжёлых отправок.

В пригородах и малоэтажной застройке у адресной модели растут «пустые километры», себестоимость чувствительна к зарплате и цене топлива. Пункты выдачи в торговых галереях у транспортных узлов дают экономию, но требуют правильного выбора локаций: при избыточной плотности падает оборачиваемость. Дроны оказываются экономически целесообразными на коротких связках «узел — квартал» и на удалённых улицах, где наземный километр особенно дорог: при массе до 2 кг и радиусе до 5–7 км

себестоимость ниже курьерской на 10–25%, а время предсказуемое, если доля пригодных погодных окон превышает 70%. Ключ к результату — грамотная наземная логистика: точки запуска, безопасные зоны сброса, быстрая смена аккумуляторов и предварительное согласование маршрутов.

В зонах с барьерами дроны дают наибольший выигрыш по времени и надёжности: пролёт «как по воздуху» снимает влияние пробок и объездов, среднее время доставки сокращается до 10–15 минут. Однако без площадок для посадки или безопасного спуска груза, а также без страхового и регуляторного контура масштабирование ограничено. Альтернативой служит пара пунктов выдачи по обе стороны барьера с повышенной частотой подвоза.

Чувствительность результатов подтверждает, что «одного победителя» нет. Рост зарплат и ужесточение правил въезда во дворы увеличивают относительное преимущество пунктов выдачи; рост цен на топливо сильнее бьёт по адресной доставке в пригородах; ухудшение погоды резко сужает доступность дронов, поэтому им требуется резервный канал на тот же слот. На уровне спроса решающее значение имеет поведение клиента: готовность пройти 5–10 минут до точки повышает эффективность сети, а требование «только до двери» возвращает систему к дорогим индивидуальным выездам.

Гибрид с динамическим выбором канала показал лучшие совокупные показатели. Назначение способа доставки происходит в момент оформления заказа на основе прогнозной загрузки, пробок, погоды и истории клиента. Если вероятность неуспеха у двери высока, система предлагает бесплатный перенос в ближайший пункт выдачи или доставку в окно, где ожидается уплотнение маршрутов. При наличии погодного окна дрон закрывает «мосты», иначе заказ автоматически переходит на наземный канал без срыва срока. В пилотах такая логика увеличивала долю первых успешных доставок на 6–9 п.п. и снижала себестоимость на 8–14% без заметного ухудшения времени получения для большинства клиентов.

Обсуждение результатов сводится к портфельному управлению каналами. Пункты выдачи — базовый «скелет» стоимости и предсказуемости; адресные курьеры — гибкий инструмент для ценных сегментов и тяжёлых отправок; дроны — ускоритель на коротких перегруженных маршрутах и на «дальних плечах», где наземная логистика системно дороже. Решающее условие — качественные данные по адресам, учёт всех неудачных попыток и прозрачные правила переключения канала. Там, где данные и процессы выстроены, «последняя миля» перестаёт быть зоной хронических перерасходов, а становится управляемым набором сценариев с минимальной совокупной стоимостью.

Заключение. Оптимизация «последней мили» — это не поиск универсального решения, а портфель каналов, настраиваемый под ландшафт спроса. Пункты выдачи формируют «скелет» низкой себестоимости и предсказуемых сроков; курьеры закрывают ценные сегменты, сложные адреса и тяжёлые отправления; дроны выигрывают на коротких «мостах» и в пригородах, где наземный километр особенно дорог. Наилучшие результаты даёт динамическое переключение между каналами с учётом плотности адресов, пробок, погоды и вероятности неуспеха у двери. Критично качество данных, корректная адресация, учёт повторных попыток и заранее согласованные правила. При такой дисциплине «последняя миля» становится управляемым процессом с минимальной совокупной стоимостью.

Список источников

1. Bowersox D.J. Supply chain logistics management / D.J. Bowersox, D.J. Closs, M.B. Cooper. - McGraw-Hill Education, 2008. - 480 с
2. Маклаков, Е. С. Вариант организации типовых моделей цифровых последних миль диспетчерского центра / Е. С. Маклаков, А. А. Гуламов // Техника и технологии: пути инновационного развития : Сборник научных трудов 7-й Международной научно-практической конференции, Курск, 29–30 июня 2018 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. – С. 193-196

3. Кудряшов, А. А. Проблемы формирования бизнес-модели в сфере аэрологистики последней мили / А. А. Кудряшов // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 199-200

4. Ивашов Н. Беспилотье в России: маркетплейс как драйвер отрасли // Технологии безопасности жизнедеятельности. - 2023. - № 2. - С. 72-74

5. Михайлюк, М. В. Интернет-торговля и логистика российского e-commerce в современной фазе развития рынка: экономика роста цифровых платформ в 2020-2025 гг / М. В. Михайлюк // Экономические науки. – 2021. – № 205. – С. 69-74.

6. Воблая И.Н., Деменко Д. А. Интернет-торговля как элемент цифровой экономики: отечественный и зарубежный опыт // Цифровая экономика: проблемы и современные тренды. Материалы всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией Е. Н. Сейфиевой. 2020. С. 365-370

7. Глаз Ю.А., Бережная О. В., Марцева Т. Г. Исследование влияния организации и технологии экспресс-доставки товаров на развитие современной Интернет-торговли // Экономические системы. 2021. Т. 14. № 2. С. 75-83

8. Жильцов, Д. А. Проблемы и тенденции организации логистики распределения в условиях платформенной экономики / Д. А. Жильцов // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17, № S1

Сведения об авторах

Сидоренко Аким Викторович, магистрант кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова" в г. Новочеркасске, Новочеркасск, Россия

Сведения о руководителе

Ланкин Антон Михайлович, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии ФГБОУ ВО "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова" в г. Новочеркасске, Новочеркасск, Россия

Information about the authors

Sidorenko Akim Viktorovich, Master's student of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Information about the supervisor

Lankin Anton Mikhailovich, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Systems and Technologies of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia