СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ РЕЙСОВ

Д.О. Якупова, *магистрант*
Научный руководитель: *Е.Н. Зайцев, д-р техн. наук, профессор*
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени главного маршала авиации А.А. Новикова
(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-132-136

Аннотация. *В статье рассматривается проблема оптимизации процессов наземного обслуживания в гражданской авиации. Анализируются существующие подходы к управлению и выявляются их ключевые недостатки, связанные с реактивным характером принятия решений и фрагментацией информационных систем. В качестве решения предлагается концептуальная многомасштабная предиктивная модель управления наземным обслуживанием, основанная на интеграции данных и применении технологий искусственного интеллекта. Научная новизна работы заключается в разработке трехуровневой структуры управления (стратегической, тактической, оперативной), способной в проактивном режиме прогнозировать и предотвращать сбои в технологических процессах. Принципы применения модели демонстрируются на примере деятельности Международного аэропорта «Казань».*

Ключевые слова: *наземное обслуживание, система управления, оборот воздушного судна, оперативное планирование, автоматизация, диспетчеризация, безопасность полетов, Международный аэропорт «Казань».*

Функционирование современной гражданской авиации происходит в условиях обостряющейся конкуренции, ужесточения требований к безопасности полетов и необходимости строгой оптимизации эксплуатационных расходов. В данных обстоятельствах наземное обслуживание (НО), включающее комплекс операций по взаимодействию аэропортовых служб и воздушного судна (ВС) на перроне, приобретает стратегическое значение. Эффективность и слаженность наземных процессов напрямую влияют на регулярность полетов и, как следствие, на репутацию авиакомпаний и аэропортового комплекса.

Основной задачей системы управления наземным обслуживанием выступает минимизация времени оборота воздушного судна (Turnaround Time, TAT). Сокращение TAT позволяет повысить пропускную способность аэропорта без привлечения капитальных инвестиций в расширение инфраструктуры. Однако существующие подходы к управлению часто носят фрагментарный характер, что приводит к неэффективному использованию ресурсов и возникновению задержек при сбоях в технологических цепочках.

Целью настоящего исследования является разработка концептуальной модели управления наземным обслуживанием, направленной на повышение операционной эффективности и устойчивости к внешним возмущениям.

Научная новизна исследования заключается в предложении многомасштабной интегрированной модели, объединяющей стратегический, тактический и оперативный уровни управления на базе единой цифровой платформы с предиктивным аналитическим ядром. Предлагаемая модель представляет собой авторское предложение по совершенствованию объекта исследования, направленное на переход от реактивного к проактивному управлению процессами НО.

Наземное обслуживание представляет собой сложный технологический комплекс, охватывающий обслуживание пассажиров, обработку багажа и грузов, перронные операции, заправку топливом, а также техническое и бортовое обслуживание. Как отмечает С.А. Кропивенцева, организация авиаперевозок требует четкой регламентации и координации множества служб [1]. Любой сбой в указанной последовательности способен спровоцировать задержку рейса, что влечет за собой значительные экономические потери.

Центральным элементом существующей системы управления выступает оперативное

планирование, основанное на суточном плане полетов. В крупных аэропортах, таких как Международный аэропорт «Казань», функции координации и контроля возложены на Диспетчерский центр управления (ДЦУ). Деятельность ДЦУ направлена на принятие решений в реальном времени для ликвидации задержек и обеспечения последовательности технологических операций. В основе оперативной координации лежит принцип «точно в срок» (Just-in-Time), согласно которому спецтехника и персонал прибывают к ВС непосредственно к моменту начала операции и освобождают стоянку сразу после ее завершения. Для реализации данного принципа необходимы системы оперативного управления наземным транспортом [3].

Международный аэропорт «Казань» имени Габдуллы Тукая представляет собой сложный и динамично развивающийся объект авиатранспортной инфраструктуры, деятельность которого имеет ключевое значение для экономического и социального развития Республики Татарстан и всего Приволжского федерального округа. Исследование операционной среды аэропорта выявляет его функционирование как крупного регионального хаба, характеризующегося интенсивным ростом пассажирских и грузовых потоков, а также активной модернизацией наземных и терминальных мощностей.

Инфраструктурная составляющая аэропорта является результатом нескольких этапов масштабной модернизации, приуроченной к проведению крупных международных мероприятий, таких как Летняя Универсиада 2013 года и Чемпионат мира по футболу 2018 года. Аэровокзальный комплекс состоит из нескольких терминалов, включая современный терминал 1А, позволивший значительно увеличить пропускную способность. Аэродром располагает двумя взлетно-посадочными полосами, способными принимать большинство типов современных воздушных судов без ограничений. Несмотря на проведенные усовершенствования, наблюдаемый рост пассажиропотока приводит к возникновению пиковых нагрузок на инфраструктуру, в частности, на зоны регистрации и досмотра, что свидетельствует о необходимости дальнейшего расширения и оптимизации терминальных площадей.

Деятельность по наземному обслуживанию воздушных судов формирует ядро производственных процессов аэропорта. Она включает в себя полный цикл операций от встречи и буксировки самолета до его коммерческой загрузки и технической подготовки к вылету. Эффективность данных процессов напрямую влияет на время оборота воздушного судна – критический показатель для пропускной способности аэродрома. Рост интенсивности полетов ставит перед управлением аэропорта сложные задачи по оптимизации использования ограниченных ресурсов: мест стоянок, спецтехники и персонала. Возникающие периодически очереди и скопления пассажиров в терминалах указывают на то, что существующая система управления ресурсами работает на пределе своих возможностей, что актуализирует задачу внедрения более совершенных, интегрированных систем планирования и оперативного контроля.

В качестве ответа на существующие и прогнозируемые вызовы руководство аэропорта инициировало разработку долгосрочного мастер-плана развития, рассчитанного на период до 2050 года. Привлечение ведущей международной консалтинговой компании к данной работе свидетельствует о намерении применять передовые мировые практики в области планирования и проектирования аэропортов. Стратегия предполагает не только строительство нового пассажирского терминала для дальнейшего увеличения пропускной способности, но и качественное развитие маршрутной сети, включая возможное привлечение низкобюджетных перевозчиков.

Вместе с тем, деятельность аэропорта подвержена влиянию внешних факторов, включая геополитическую нестабильность, которая может приводить к временным ограничениям в использовании воздушного пространства и требовать внедрения дополнительных мер по обеспечению безопасности полетов. Успешная реализация намеченной стратегии будет зависеть от способности управленческой системы адаптироваться к изменяющимся условиям и эффективно интегрировать новые технологические и инфраструктурные решения в существующую операционную модель.

Важным компонентом являются системы отслеживания статуса рейса. Современные информационные решения, как подчеркивают

Н.Г. Моисеев и Ф.И. Сафин, в автоматизированном режиме контролируют статус выполнения каждой операции НО для формирования отчетов [2]. Получаемые данные критически важны для принятия решений о корректировке плана полетов и перераспределении ресурсов, таких как спецтехника и персонал. Однако разрозненность информационных систем и преобладание человеческого фактора при принятии решений в нештатных ситуациях снижают общую эффективность и не позволяют предотвращать сбои заблаговременно.

Для преодоления ограничений, свойственных существующим децентрализованным системам управления наземным обслуживанием, предлагается концептуальная модель многомасштабной структуры управления (рис. 1). Данная модель базируется на принципах системной интеграции трех иерархических уровней принятия решений – стратегического, тактического и оперативного – и использовании технологий предиктивного анализа для обеспечения упреждающего контроля. Подобный подход позволяет комплексно обрабатывать управленческие задачи с различными временными горизонтами, обеспечивая высокую адаптивность и устойчивость всей производственной системы аэропорта к внешним и внутренним возмущениям.

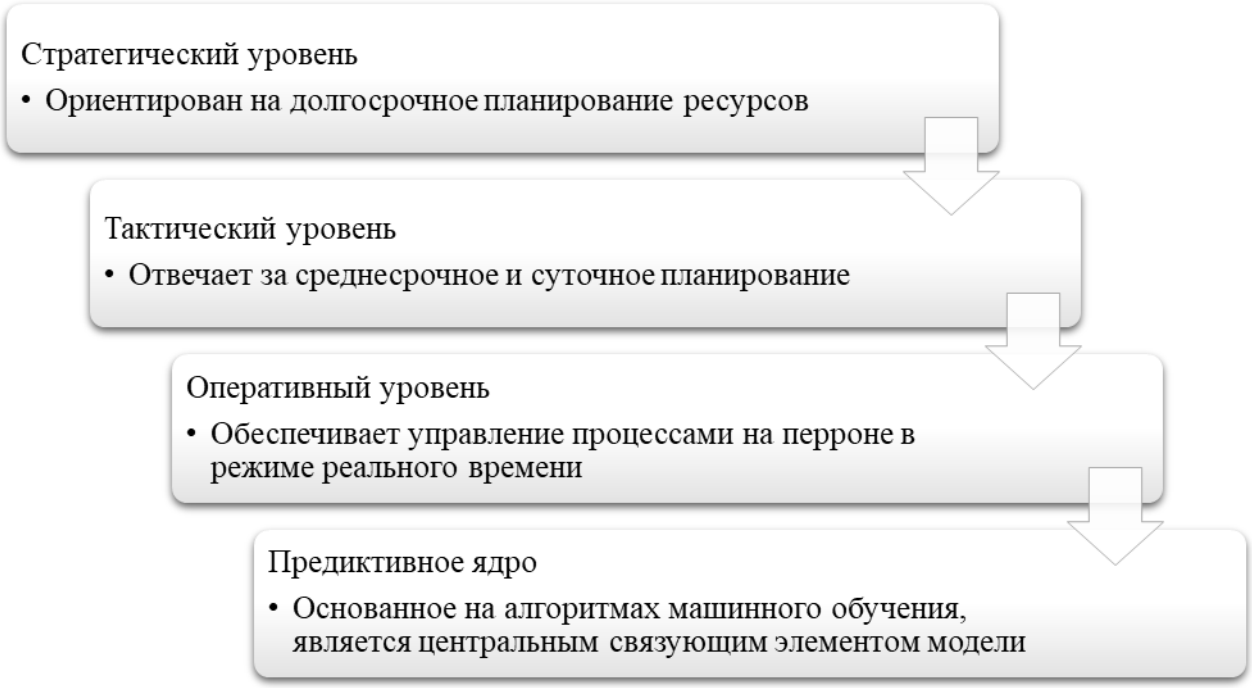

Рис. 1. Концептуальная модель многомасштабной структуры управления

Стратегический уровень модели формирует долгосрочную основу для эффективного функционирования служб наземного обслуживания. На данном уровне решаются задачи по прогнозированию и планированию ключевых ресурсов в горизонте от нескольких месяцев до нескольких лет. Путем анализа больших данных, включающих сезонные колебания, динамику пассажиропотока, долгосрочные планы развития авиакомпаний-партнеров и макроэкономические тенденции, определяются будущие потребности в специализированной технике и кадровом составе. Результатом функционирования стратегического контура является формирование научно обоснованной политики капитальных вложений, оптимизация структуры парка оборудования и разработка долгосрочных планов по найму и обучению персонала. Таким образом, закладывается фундамент для обеспечения достаточной пропускной способности и предотвращения системных ограничений в будущем.

На тактическом уровне осуществляется среднесрочное и суточное планирование, которое транслирует стратегические цели в конкретные производственные задания. Основная функция данного уровня заключается в оптимальном распределении имеющихся ресурсов – мест стоянок воздушных судов, единиц тех-

ники, рабочих бригад – в строгом соответствии с суточным планом полетов. С применением алгоритмов комбинаторной оптимизации автоматизированные системы сопоставляют технологические потребности каждого рейса с текущей доступностью ресурсов. В результате формируются сбалансированные технологические графики обслуживания, которые минимизируют вероятность возникновения ресурсных конфликтов и простоев, обеспечивая максимальную эффективность использования активов аэропорта.

Оперативный уровень модели представляет собой контур управления в режиме реального времени, обеспечивающий динамическое исполнение тактических планов. В данный контур непрерывно поступают высокочастотные потоки данных от геолокационных систем (GPS) на спецтехнике, датчиков Интернета вещей (IoT), контролирующих состояние оборудования, и мобильных приложений персонала, подтверждающих выполнение операций. Система осуществляет непрерывный мониторинг технологических процессов, фиксирует любые отклонения от утвержденного графика и, при помощи предиктивного аналитического ядра, предлагает диспетчеру наиболее эффективные корректирующие действия. Например, в случае незапланированной задержки прибытия воздушного судна система способна в автоматическом режиме произвести перераспределение задействованной техники и персонала на другие рейсы, чтобы локализовать сбой и минимизировать его каскадное распространение по всей сети расписания.

Центральным связующим элементом предложенной модели выступает предиктивное ядро, функционирующее на основе алгоритмов машинного обучения. Указанный компонент осуществляет непрерывный анализ исторических и текущих данных, поступающих со всех трех уровней управления, с целью выявления скрытых закономерностей и прогнозирования вероятности возникновения сбоев, задержек и «узких мест» в производственной цепи. Способность ядра к упреждающему обнаружению рисков позволяет управленческому персоналу переходить от парадигмы реагирования на уже случившиеся инциденты к проактивному предотвращению потенциальных проблем. Именно данная возможность составляет ключевое преимущество и научную новизну предлагаемой модели, открывая перспективы для построения высоконадежных и саморегулирующихся систем управления наземным обслуживанием.

Анализ деятельности Международного аэропорта «Казань» показывает наличие отдельных элементов предложенной модели. В аэропорту применяются автоматизированные системы для информационного обеспечения пассажиров, управления багажом и диспетчеризации. Однако для полноценной реализации модели необходима их глубокая интеграция в единую цифровую платформу. Дальнейшее совершенствование системы управления НО требует инвестиций в интегрированные решения, способные связывать воедино данные от момента регистрации пассажиров до заправки ВС.

Отдельным вызовом является обслуживание рейсов деловой авиации, требующее максимальной гибкости и скорости. В рамках предложенной модели такие рейсы могут обрабатываться как задачи с наивысшим приоритетом, для которых система динамически резервирует выделенные ресурсы, что согласуется с выводами В.К. Цуцкарёва об особенностях организации их обслуживания [4]. Успешное внедрение модели способно создать значительный стратегический потенциал для предприятия [5].

Реализация предлагаемой модели позволяет системно решать существующие проблемы, такие как влияние внешних факторов и неполная интеграция информационных систем. Системы поддержки принятия решений, встроенные в оперативный контур модели, помогут диспетчерам выбирать наиболее эффективные варианты распределения ресурсов в нештатных ситуациях. Перспективы развития связаны с концепцией «Умного аэропорта» (Smart Airport), где полная автоматизация перронных операций будет достигаться за счет многомасштабных архитектур управления [6].

Система управления наземным обслуживанием воздушных судов является высокотехнологичным комплексом, обеспечивающим бесперебойное функционирование воздушного транспорта. Ее эффективность определяется способностью минимизировать время оборота ВС. Предложенная в исследовании кон-

цептуальная многомасштабная модель управления представляет собой решение, позволяющее повысить эффективность за счет точного планирования, оперативной диспетчеризации и глубокой автоматизации.

Внедрение интегрированной, интеллектуальной системы управления, основанной на предложенной модели, является не просто вопросом операционного удобства, а стратегической необходимостью. Успех в управлении наземными процессами определяет конкурентоспособность аэропорта, его способность безопасно и регулярно обрабатывать растущие объемы перевозок. Дальнейшие исследования в области алгоритмической реализации предиктивного управления и создания цифровых двойников на основе многомасштабной архитектуры открывают путь к созданию полностью автоматизированных и саморегулируемых систем наземного обслуживания.

Библиографический список

1. Кропивенцева С.А. Организация и обслуживание пассажирских и грузовых авиаперевозок: учеб. пособие. – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 72 с.

2. Моисеев Н.Г., Сафин Ф.И. Система отслеживания статуса рейса и отчет о наземном обслуживании самолета // Поволжского государственного технологического университета. – 2018. – С. 93-97.

3. Федоров В.А. О возможностях оперативного управления наземным пассажирским транспортом в мегаполисах // Молодой ученый. – 2014. – № 10. – С. 276-279.

4. Цуцкарёв В.К. Особенности организации технологического процесса наземного обслуживания рейсов бизнес-авиации в Российской Федерации» // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – Вып. 3. – С. 44-54.

5. Цуцкарёв В.К. Стратегический потенциал предприятия по наземному обслуживанию рейсов бизнес-авиации // π-Economy. – 2022. – Т. 15, № 6. – С. 71-84. – DOI: https://doi.org/10.18721/JE.15605.

6. Alonso Tabares D., Mora-Camino F., Drouin A. A multi-time scale management structure for airport ground handling automation // Journal of Air Transport Management. – 2021. – Vol. 90. – P. 101959.

FLIGHT GROUND HANDLING MANAGEMENT SYSTEM

D.O. Yakupova, *Graduate Student*
Supervisor: *E.N. Zaitsev, Doctor of Technical Sciences, Professor*
St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov
(Russia, St. Petersburg)

Abstract. *The article discusses the problem of optimizing ground handling processes in civil aviation. The existing management approaches are analyzed and their key disadvantages related to the reactive nature of decision-making and fragmentation of information systems are identified. As a solution, a conceptual multiscale predictive ground service management model based on data integration and the use of artificial intelligence technologies is proposed. The scientific novelty of the work lies in the development of a three-level management structure (strategic, tactical, operational) capable of proactively predicting and preventing failures in technological processes. The principles of applying the model are demonstrated by the example of the Kazan International Airport.*

Keywords: *ground handling, control system, aircraft turnover, operational planning, automation, dispatching, flight safety, Kazan International Airport.*