

НЕЧЁТКИЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

Романенко В.А., Гужа Е.Д., Скороход М.А., Хвостова Т.В.

*Российская Федерация, г. Самара,
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева*

Аннотация. Представлены компьютерные модели, разработанные для решения комплекса взаимосвязанных задач проектирования оптимальных систем наземного обслуживания перевозок в узловых аэропортах (хабах). Моделями учитывается влияние трудноформализуемых факторов, для описания которых использованы методы теории нечетких множеств. С целью учета влияния управления, осуществляемого человеком-оператором (диспетчером аэропорта), в состав моделей включены блоки, реализующие нечеткие алгоритмы управления. Описаны задачи, для решения которых разработаны представленные модели.

Ключевые слова: воздушный транспорт, оптимизация, имитационная модель, нечеткое управление, узловой аэропорт.

Решение задач проектирования оптимальных по критерию экономической эффективности систем и комплексов наземного обслуживания перевозок в авиатранспортной отрасли требует разработки и применения математических и компьютерных моделей, позволяющих оперировать с неопределенностями различной природы. Наряду с имитационными моделями, отражающими влияние неопределенных факторов, которые могут быть описаны статистическими методами, необходимы модели, позволяющие учитывать факторы, трудно формализуемые в терминах теории вероятностей, неопределенность которых обусловлена недостатком знаний о системе, невозможностью накопления статистики, необходимостью использования субъективных экспертных оценок и другими причинами. Для оперирования с такого рода неопределенностями используются модели теории нечетких множеств.

В настоящее время вопросам применения моделей систем воздушного транспорта, учитывающих нечеткость, уделяется, на наш взгляд, незаслуженно слабое внимание. Как русскоязычные, так и иностранные публикации по данной тематике крайне малочисленны. При этом на кафедре организации и управления перевозками на транспорте Самарского университета сформулирован и решен

комплекс актуальных задач, связанных с учетом нечеткости в моделировании производственных процессов предприятий воздушного транспорта.

Первая группа задач состоит в поиске оптимальных параметров систем обслуживания перевозок аэропорта с учетом влияния управляющих воздействий со стороны человека-оператора. Объектом исследования является производственное подразделение аэропорта, как правило, узлового (хаба), предназначенное для выполнения определенной технологической операции наземного обслуживания. Для узловых аэропортов, с их интенсивными и нестационарными потоками самолетов и пассажиров и жесткими требованиями к уровню наземного обслуживания, особенно актуальна проблема определения оптимальной по критерию экономичности численности технологических ресурсов. При этом, наряду с определением величины максимальной численности ресурсов, необходимой в моменты пиковой загрузки, требуется построение временной зависимости потребной численности ресурсов на больших промежутках времени. Рассматриваемые системы служат примерами системы управления, в которой в роли объекта управления выступают технологические ресурсы, а функции управляющего устройства осуществляет человек–оператор (диспетчер аэропорта). Особенности узловых аэропортов делают имитационную компьютерную модель наиболее предпочтительным инструментом решения описанной оптимизационной задачи. В состав имитационной модели рассматриваемой системы управления включена модель стратегии диспетчера, представляющая собой нечеткий алгоритм регулирования, воспроизводящий действия человека при управлении процессами наземного обслуживания в аэропорту. Для формализации используемых оператором эвристических правил управления используются методы нечеткой логики.

В рамках решения задач первой группы построены имитационные модели с нечеткими управляющими алгоритмами для следующих систем, описание которых удобно представить с использованием терминологии теории массового обслуживания:

1) система с неоднородными потоками заявок на обслуживание, взаимопомощью каналов и частично универсальными обслуживающими каналами [1].

Пример системы: комплекс заправки авиатопливом в аэропорту, обслуживающий воздушные суда (ВС) различных классов с использованием топливозаправщиков нескольких типов. Предполагается, что однотипные заправщики могут использоваться для обслуживания ВС разных классов, однако обслуживание ВС тех классов, на которые заправщики не рассчитаны, выполняется ими с меньшей производительностью. Задача оператора, управляющего обслуживанием, состоит в выборе типа топливозаправщика, который направляется для обслуживания очередного ВС. Входными данными для нечеткого алгоритма управления являются численности ВС, обслуживаемых и ожидающих обслуживания, и численности ВС, поступление которых ожидается в ближайшее время;

2) неполнодоступная система с однородным потоком заявок на обслуживание [2]. Пример: операция регистрации вылетающих пассажиров по порейсовому методу в аэровокзале аэропорта. Модельный поток пассажиров формируется на базе заданного потока отправляемых самолетов. Учитывается групповой характер потока пассажиров и вероятностное распределение времени нахождения пассажиров в аэровокзале. Продолжительность регистрации группы пассажиров принята случайной величиной, параметры распределения которой зависят от численности группы и количества регистрируемых мест багажа. Принимаются заданными плановая продолжительность регистрации всех пассажиров одного самолета и плановый промежуток времени от момента окончания регистрации до вылета по расписанию. Предполагается, что задача оператора состоит в определении числа рабочих мест, выделяемых для регистрации пассажиров, вылетающих очередным самолетом. Входными данными для нечеткого алгоритма являются число первоначальных пассажиров самолета, число мест багажа первоначальных пассажиров и общее число мест регистрации, занятых обслуживанием пассажиров к моменту принятия диспетчером решения.

3) полнодоступная система с однородным потоком. Пример: операция регистрации вылетающих пассажиров по свободному методу в аэровокзале аэропорта. Система близка к описанной в предыдущем пункте. Основное отличие состоит в возможности обслуживания пассажира на любом месте регистрации.

Оператором периодически принимается решение об увеличении или сокращении числа выделенных для обслуживания пассажиров всех рейсов мест регистрации;

4) система с приоритетами. Примеры таких систем разнообразны, это - комплексы аэропорта, предназначенные для выполнения технологических операций наземного обслуживания ВС. Задача диспетчера состоит в отборе из множества ВС, ожидающих обслуживания, того ВС, для которого промедление с началом обслуживания может стать причиной опоздания с вылетом. Входные данные для нечеткого вывода - экспертно прогнозируемые отклонения времени начала и окончания операции от плана и штрафы за опоздание. В результате нечеткого вывода определяется приоритет в обслуживании каждого ВС.

Задачи второй группы сформированы в результате декомпозиции проблемы оптимального проектирования сложной технической системы, предназначенной для наземного обслуживания воздушных перевозок в узловом аэропорту. Пример такой системы - автоматизированная или автоматическая система обработки багажа (АСОБ) вылетающих пассажиров, конструкция которой учитывает значительную долю багажа трансферных пассажиров в узловом аэропорту. Разработан комплекс моделей, предназначенный для проектирования оптимальной по критерию минимума суммарных затрат на создание, внедрение и обслуживание АСОБ, включающий следующие компоненты:

1) «техническую» модель АСОБ, представляющую собой имитационную статистическую дискретно-событийную модель, предназначенную для определения широкого ряда вероятностно-временных показателей функционирования системы в специфических условиях работы узлового аэропорта. Поскольку АСОБ предназначена для обеспечения выполнения ряда технологических аэропортовых операций, основной из которых является регистрация вылетающих пассажиров и оформление их багажа, то для учета воздействий диспетчера, управляющего процессом регистрации, «техническая» модель АСОБ дополнена нечетким управляющим алгоритмом, описанным под п.3 приведенного выше списка;

2) нечеткую технико-экономическую модель АСОБ, предназначенную для оценки затрат на ее приобретение, монтаж и ввод в эксплуатацию в зависимости от технических характеристик в условиях неполной и заданной экспертно информации. Модель базируется на предложенной в работе [3] двухэтапной методике построения нечеткой регрессии.

Третья группа задач связана с оптимизацией параметров трансферной системы авиаперевозок, основными элементами которой являются узловой аэропорт (хаб), играющий роль концентратора потоков пассажиров и обеспечивающий их массовые пересадки между рейсами, и одна или несколько хабообразующих авиакомпаний, осуществляющие продвижение пассажиропотоков через хаб. Конкурентное преимущество конкретного хаба состоит в его способности предложить трансферному пассажиру «комфортное» время пребывания в хабе с целью пересадки. Для обеспечения такой способности организаторами трансферной системы должны быть решены две взаимосвязанные задачи, первая из которых состоит в формировании рационального расписания движения самолетов в хабе, вторая - в определении необходимой численности и производительности технологических ресурсов хаба. Решение обеих задач связано с наличием неопределенности в исходных данных. Причем часть параметров характеризуются статистической неопределенностью, это, главным образом, характеристики операций наземного обслуживания в аэропорту, а другая часть - неопределенностью субъективной, в первую очередь, это степень привлекательности времени пребывания в хабе с точки зрения пересаживающегося пассажира. Для решения указанных задач в различных вариантах их постановок разработаны следующие модели:

1) модель решения задачи оптимизации параметров расписания хаба по критерию максимума доходов хабообразующей авиакомпании от перевозки трансферных пассажиров в течение одной волны прилетов-вылетов ВС в хабе [4]. В модели скомбинированы нечетко-множественный подход к обработке нечетких величин и методы численного вероятностного анализа для операций со статистическими распределениями. Задача оптимизации расписания сведена к

задаче нечеткого математического программирования, решение которой при высоких затратах машинного времени имеет точность, сравнимую с точностью, обеспечиваемой с помощью имитационного моделирования;

2) модель решения названной выше задачи при использовании исходных данных, представленных исключительно в нечетком виде. Отказ от использования статистических распределений обеспечивает дальнейшее сокращение временных затрат при приемлемом сокращении точности решения;

3) модель решения задачи совместной оптимизация расписания и численности технологических ресурсов узлового аэропорта при нечеткой исходной информации [5], как задачи нечеткого математического программирования.

Таким образом, разработанный к настоящему времени комплекс компьютерных моделей обеспечивает решение ряда взаимосвязанных задач по проектированию оптимальных систем наземного обслуживания воздушных перевозок с учетом управления в условиях неопределенности исходных данных. Сравнительный анализ результатов позволяет сделать вывод о существенном влиянии управления, реализуемого человеком-оператором, на показатели функционирования рассматриваемых систем и, как следствие, необходимости учета управления при их моделировании. В большинстве случаев объектами моделирования являются производственные подсистемы и комплексы такого перспективного класса предприятий авиатранспортной отрасли, как узловые аэропорты.

Список литературы

1. Васильева И.А., Романенко В.А., Сорокина Т.В. Оптимизация параметров системы наземного обслуживания воздушных судов узлового аэропорта на базе имитационной модели с нечётким регулятором // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16. № 1. С. 7 - 19.

2. Guzha E.D., Khvostova T.V., Romanenko V.A., Skorokhod M.A. Parameter optimization of the not fully accessible system of the hub airport service based on a simulation model with a fuzzy regulator // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537. Issue 4.

3. Романенко В.А., Скороход М.А. Нечеткая технико-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта // Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических меха-

низмов. Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: сб. ст. XI Всерос. науч.-практ. конф. Вып. 11 / под ред. Д. А. Новикова – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017. - С. 118 - 123.

4. Romanenko V.A. Optimization of transfer air transportation system parameters considering fuzzy and stochastic uncertainties // Automation and Remote Control 2015. Vol. 76. Issue 8. P. 1500 - 1514.

5. Гужа Е.Д., Романенко В.А., Скороход М.А. Нечёткая оценка эффективности трансферной системы авиаперевозок // Управление большими системами: сборник трудов. 2019. Вып. 77. С. 219 - 260.

FUZZY MODELS IN THE TASKS OF OPTIMAL DESIGN IN AIR TRANSPORT

V.A. Romanenko, E.D. Guzha, T.V. Khvostova, M.A. Skorokhod

*Samara National Research University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. Computer models developed to solve a complex of interrelated tasks of designing optimal ground handling systems for transportation at hubs are presented. The models take into account the influence of hard-to-formalize factors, for the description of which the methods of fuzzy sets theory are used. For the purpose of the account of influence of the control carried out by the man-operator (the dispatcher of the airport), the blocks realizing fuzzy control algorithms are included in the structure of models. The tasks for the solution of which the presented models are developed are described.

Keywords: air transport, optimization, simulation model, fuzzy control, hub airport.