

МОДЕЛИ С НЕЧЕТКИМ УПРАВЛЕНИЕМ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СИСТЕМ АВИАТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Романенко В.А.

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

Аннотация. Рассматривается задача проектирования оптимальной по экономическому критерию системы обслуживания пассажиров в аэровокзале узлового аэропорта. Предлагается включить в состав имитационной модели, применяемой при проектировании, нечеткий алгоритм, моделирующий стратегию человека-оператора, управляющего процессом предполетного обслуживания пассажиров и обработки багажа. Описан алгоритм нечеткого вывода по сингтонной базе правил как частный случай алгоритма Мамдани. Приведены результаты решения задач компьютерного статистического моделирования с использованием нечеткого управляющего алгоритма. Сделан вывод о необходимости учета управления наземными процессами для повышения адекватности и точности имитационных моделей.

Ключевые слова: нечеткое управление, имитационная модель, обслуживающая система, технико-экономическое проектирование.

Насыщенность современных аэропортов дорогостоящей перронной и аэровокзальной техникой, острота проблемы ее импортозамещения, необходимость модернизации системы аэропортов РФ – вот основные факторы, определяющие актуальность задачи установления связей между эксплуатационными, техническими и стоимостными характеристиками систем обслуживания перевозок в аэропортах. На этапе проектирования таких систем необходимы модели, позволяющие решать задачи их структурно-параметрической оптимизации по критерию экономического характера с учетом ограничений по качеству обслуживания перевозок и наличия управления, осуществляемого человеком-оператором. В состав оптимизационной модели в качестве компонентов должны входить, во-первых, технико-экономическая модель, позволяющая определять экономические характеристики системы по ее техническим

параметрам, и во-вторых, эксплуатационно-техническая модель, связывающая технические параметры системы с показателями уровня качества обслуживания перевозок. Ниже рассмотрены системы обслуживания пассажиров узловых аэропортов, использующие систему обработки багажа (СОБ), ориентированную на обслуживание интенсивных трансферных пассажиропотоков. СОБ служит примером системы управления (СУ), в которой в роли объекта управления (ОУ) выступают технические средства обработки багажа и обслуживающий персонал, а функции управляющего устройства (УУ) осуществляет человек-оператор (диспетчер аэропорта). Разработанные ранее технико-экономические модели рассматриваемых систем описаны в ряде работ [1-6] и реализованы в виде программного обеспечения [7]. Предлагается включать в состав имитационной эксплуатационно-технической модели СОБ нечеткий алгоритм в качестве модели стратегии оператора с формализацией методами нечеткой логики эвристических правил управления, используемых человеком [8]. К настоящему времени практически отсутствуют публикации, в которых бы рассматривались вопросы нечеткого управления при моделировании процессов обслуживания пассажиров и обработки багажа.

Рассматривается система, обеспечивающая прием и оформление багажа вылетающих пассажиров, ввод в систему трансферного багажа, двухэтапный досмотр, автоматическую сортировку вертикальными отклоняющимися конвейерами («пругами»), комплектование по рейсам багажа. Поток багажа с нескольких мест регистрации попадает на конвейерную линию, перемещающую его к месту досмотра. Первый этап досмотра осуществляется с использованием рентгено-телевизионных аппаратов (интроскопов). Багаж, признанный «подозрительным», направляется на повторный досмотр. Необходимая для конкретного аэропорта производительность системы обеспечивается подбором

соответствующего числа линий досмотра начального и трансферного багажа. Каждая линия представляет собой последовательность конвейеров, обеспечивающих работу интроскопа. После досмотра багаж перемещаются на сортировочный конвейер и распределяется «плугами» по накопителям, закрепленным за рейсами. Диспетчер аэропорта управляет процессом регистрации, «открывая» и «закрывая» те или иные стойки. Управлением обеспечивается экономия ресурсов аэропорта, возможность маневрирования персоналом и техническими средствами с целью снижения непроизводительных затрат времени на наземное обслуживание и повышения его качества.

Моделируется принятие диспетчером решения относительно числа z стоек регистрации вылетающих пассажиров, которые должны быть задействованы на ближайший промежуток времени Δt . При имитационном моделировании число z определяется через фиксированные промежутки Δt как

$$z = \left[\text{def} \left[\sum_{i=1}^n \tilde{z}_i \right] \right],$$

где n - число ВС, регистрация на которые будет производиться в момент модельного времени $t + \Delta t$; \tilde{z}_i - число стоек, которые предполагается задействовать при регистрации пассажиров i -го ВС ($i=1, \dots, n$), оцениваемое с учетом знаний, опыта, интуиции диспетчера, а значит, нечеткое; def - операция дефаззификации (приведения к четкой форме); $\lceil \cdot \rceil$ - округление до целого в большую сторону.

Примем, что наиболее значимыми факторами, влияющими на \tilde{z}_i , являются: 1) число N_i вылетающих пассажиров i -го ВС; 2) промежуток времени $\tau_i = t_i^d - t$ между моментом принятия решения t и моментом отправления t_i^d ВС i по расписанию, от величины которого зависит вероятность прибытия на регистрацию пассажира, вылетающего рейсом

i -го ВС; 3) число z^b мест регистрации, уже занятых обслуживанием пассажиров к моменту принятия решения t . Для определения \tilde{z}_i по заданным N_i , τ_i , z^b в имитационной модели реализован алгоритм нечеткого вывода [8], включающий следующие элементы: заданные функции принадлежности входных и выходных переменных; нечеткую базу правил, устанавливающих взаимосвязь между входами и выходами; механизм нечеткого логического вывода.

Будем различать измеряемые входные переменные N_i , τ_i , z^b , принимающие числовые значения, и соответствующие им лингвистические переменные N_i^* , τ_i^* , z^{b*} , принимающие нечеткие значения из терм-множеств $\{\tilde{N}_i^j\} = \{L, M, B\}$, $\{\tau_i^k\} = \{VL, L, LM, M, BM, B, VB\}$ и $\{z^{b'l}\} = \{L, B\}$, соответственно. Для обозначения термов лингвистических переменных N_i^* и z^{b*} использованы индексы, имеющие следующий смысл: L – «малое число», M – «среднее число», B – «большое число». Смысл индексов термов лингвистической переменной τ_i^* : VB – «очень раннее (т.е. задолго до вылета) время прибытия пассажира», B – «раннее время», BM – «предпиковое время», M – «пиковое время», LM – «послепиковое время», L – «позднее время», VL – «очень позднее время». Графики функций принадлежности термов входных лингвистических переменных N_i^* и z^{b*} , полученные с использованием результатов обработки статистических данных производственной информационной системы одного из крупных региональных аэропортов и опроса специалистов соответствующих его служб, приведены на рисунке 1. Значения опорных точек $z^{(1)}$ и $z^{(2)}$ приняты равными, соответственно, числу мест регистрации одной из линий досмотра начального багажа и общему числу мест регистрации.

Функции принадлежности термов лингвистической переменной τ_i^* , приводимые на рисунке 2, построены на основе распределения случайного промежутка времени τ от момента прибытия пассажира на регистрацию до отправления ВС по расписанию, подчиняющегося, как показал анализ статистики [9], трехпараметрическому гамма-закону. График плотности $f(\tau)$ вероятностного распределения τ также отображен на рисунке 2.

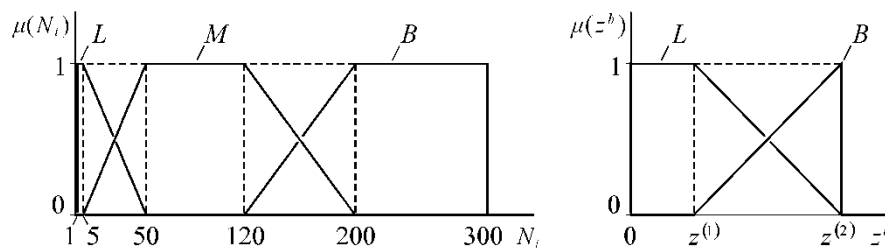


Рисунок 1. Функции принадлежности термов входных лингвистических переменных N_i^* и z^{b*}

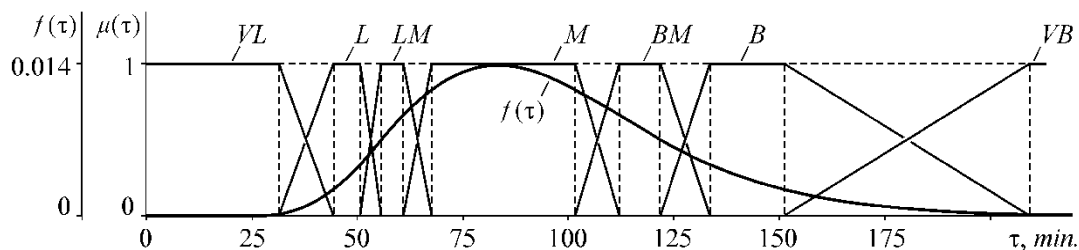


Рисунок 2. Функции принадлежности термов входной лингвистической переменной τ_i^*

Пусть выделяемое для регистрации пассажиров одного рейса число мест не превышает трех, тогда выходная переменная \tilde{z}_i является дискретным нечетким множеством, заданным на множестве целых чисел $\{0, 1, 2, 3\}$. Следовательно, термами соответствующей \tilde{z}_i лингвистической переменной \tilde{z}_i^* будут четыре синглтонных нечетких множества с носителями, состоящими из целого числа: 1, 2, 3 или 4.

Для лингвистических входных переменных N_i^* , τ_i^* , z^{b*} и выходной \tilde{z}_i^* реализуется алгоритм нечеткого вывода по синглтонной базе правил

[10], включающей 42 правила, который может рассматриваться как частный случай алгоритма Мамдани [11]. Процедура нечеткого вывода повторяется для определения каждого \tilde{z}_i ($i=1, \dots, n$). Дефаззификация нечеткой суммы всех \tilde{z}_i выполняется методом высот [8].

Оценка степени влияния управления процессом регистрации пассажиров на показатели работы СОБ производилась с использованием имитационной модели, программно реализованной на базе системы имитационного моделирования AnyLogic University.

Моделировался режим работы, характерный для узлового аэропорта [12], при котором в течение относительно непродолжительных регулярно повторяющихся промежутков времени воздушные суда (ВС) массово прилетают в аэропорт. После прохождения обслуживания и пересадки пассажиров, следует массовый разлет ВС из аэропорта. Предполагалось, что в общем пассажиропотоке аэропорта доля трансферных и транзитных пассажиров достаточно весома и составляет около 15%. Модельный поток пассажиров, поступающих на регистрацию, формировался на базе модельного потока отправляемых ВС, при этом использовалось распределение случайного промежутка времени τ . «Всплески» интенсивности пассажиропотока регулярно повторяются через 4 часа, при этом в «пиковые» моменты достигаются максимумы, составляющие около 12 пас./мин., в паузах между «пиками» интенсивность пассажиропотока снижается примерно в два раза. Предполагалось, что пассажиры прибывают в аэровокзал как поодиночке, так и небольшими группами: семьями, туристическими группами и т.п. Время обслуживания группы пассажиров местом регистрации принято случайной величиной, подчиненной гамма-распределению, параметры которого зависят от численности группы и количества мест багажа, оформляемых группой к перевозке. Случайное число пассажиров в группе и количество их мест

багажа моделировалось с использованием распределения Пуассона. Все характеристики используемых вероятностных распределений были получены по результатам обработки статистических данных одного из крупных региональных аэропортов России [13]. Источниками данных по техническим и технологическим характеристикам СОБ явились натурные наблюдения в аэропортах и материалы официальных Интернет-сайтов производителей СОБ [14, 15]. Приняты заданными эмпирическое распределение времени первого этапа досмотра багажа со средним около 17 с. и скорость движения конвейерных лент, равная 0.25 м/с.

Приводимы ниже результаты моделирования касаются двух вариантов конструкции СОБ, первый из которых включает три линии досмотра первоначального багажа с шестью местами регистрации каждая, второй, более высокопроизводительный и дорогостоящий, - четыре линии досмотра по пять мест регистрации. Оба варианта обеспечивают обслуживание заданного потока пассажиров с багажом без неограниченного накопления очереди, однако, если среднее время ожидания пассажиром регистрации в очереди для второй системы составляет всего 20 секунд, то для первой оно превышает 3 минуты, что может сделать невозможным использование такой системы при жестких нормах качества обслуживания, установленных в аэропорту. Вполне ожидаемо второй вариант характеризуется меньшей загрузкой оборудования по времени, - все 20 мест регистрации задействованы в обслуживании только 21% всего модельного времени. В первой системе все ее 18 мест регистрации функционируют в течение 34% всего модельного времени. Учет нечеткого управления приводит к определенному сокращению загрузки системы при некотором снижении качества обслуживания пассажиров.

Итак, учет управления процессами наземного обслуживания пассажирских и багажных перевозок заметно влияет на результаты

имитационного моделирования работы СОБ аэропортов, в том числе относящихся к такой перспективной категории, как узловые аэропорты. Использование нечеткого управляющего алгоритма для моделирования поведения диспетчера, управляющего аэропортовыми процессами, дает возможность повысить адекватность и точность имитационной модели багажной системы, предназначенной для решения задач технико-экономического анализа и синтеза систем аэропортового обслуживания воздушных перевозок.

Список литературы

1. Романенко В.А., Скороход М.А. Техничко-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта // В сборнике: Проблемы экономики современных промышленных комплексов. Финансирование и кредитование в экономике России: методологические и практические аспекты. Сборник научных статей X Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Зибарева, Д.А. Новикова. 2015. С. 53-64.

2. Романенко В.А., Скороход М.А. Нечеткая технико-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта // В сборнике: Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов. Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С.118-123.

3. Романенко В.А., Скороход М.А., Гужа Е.Д. Нечеткая многомерная регрессионная технико-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта // Системы управления и информационные технологии. 2017. № 2 (68). С. 66-70.

4. Скороход М.А., Романенко В.А. Нечетко-множественная многофакторная регрессионная модель системы обработки багажа аэропорта // В сборнике: XIV Королёвские чтения. Международная молодежная научная конференция, посвящённая 110-летию со дня рождения академика С. П. Королёва, 75-летию КуАИ-СГАУ-СамГУ-Самарского университета и 60-летию со дня запуска первого искусственного спутника Земли: в 2 томах. 2017. С. 330-331.

5. Романенко В.А. Математическая модель автоматической системы обработки багажа аэропорта со значительными трансферными пассажиропотоками // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. т.13, №6. С. 126-133.

6. Guzha E.D., Khvostova T.V., Romanenko V.A., Skorokhod M.A. Fuzzy multiple regression technical and economic model of airport terminal passenger handling system // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 12113.

7. Романенко В.А., Скороход М.А. Программа BHS Project технико-экономического моделирования системы обработки багажа аэропорта с учетом неопределенности исходных данных // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021615407, 07.04.2021. Заявка № 2021614225 от 29.03.2021.

8. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

9. Романенко В.А. Математические модели функционирования аэропортов в условиях современного авиатранспортного рынка. Самара: АсГард, 2010. 244 с.

10. Mendel J.M. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions. Springer, 2017. 696 p.

11. Mamdani E.H. Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant // J. Proceedings of IEEE. 1974. 121(12). P.1585-1588.

12. Burghouwt G., de Wit J. Temporal configurations of European airline networks // J. Air Transport Management. 2005. 11(3). P.185-198.

13. Guzha E.D., Romanenko V.A., Skorokhod M.A. Optimization model of the hub airport schedule under uncertainty // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 450.

14. Vanderlande Industries BV. Официальный сайт. URL: www.vanderlande.com (дата обращения: 20.11.2023 г.).

15. Baggage Handling Systems. Daifuku Co., Ltd. Официальный сайт. URL: <https://www.daifukuatec.com/airport-technologies/baggage-handling-systems/> (дата обращения: 1.10.2023).

**MODELS WITH FUZZY CONTROL IN THE TASKS
OF TECHNICAL AND ECONOMIC DESIGN
OF AIR TRANSPORT INDUSTRY SERVICE SYSTEMS**

V.A. Romanenko

*Samara National Research University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. The problem of designing an economic criterion-optimal passenger service system in the terminal of a hub airport is considered. It is proposed to include in the simulation model used in the design a fuzzy algorithm modeling the strategy of a human operator controlling the process of pre-flight passenger service and baggage handling. The algorithm of fuzzy inference on singleton rule base as a special case of Mamdani algorithm is described. The results of solving problems of computer statistical modeling with the use of fuzzy control algorithm are

given. It is concluded that it is necessary to take into account the control of ground processes to improve the adequacy and accuracy of simulation models.

Keywords: fuzzy control, simulation model, servicing system, technical and economic design.