

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УЗЛОВОГО АЭРОПОРТА НА БАЗЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ С НЕЧЁТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

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

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

Аннотация. Рассмотрена проблема определения оптимальной численности технологических ресурсов функциональной подсистемы узлового аэропорта. В качестве инструмента оптимизации использована имитационная модель, включающая нечёткий регулятор, который отражает логику диспетчера аэропорта, управляющего процессом наземного обслуживания. Приведён модельный пример решения оптимизационной задачи, свидетельствующий о возможности и целесообразности использования нечёткого регулятора в качестве модели стратегии человека–оператора.

Ключевые слова: узловой аэропорт, имитационная модель, оптимизация, нечеткий регулятор.

Объектом исследования является производственное подразделение узлового аэропорта, предназначенное для выполнения определенной технологической операции. Для узловых аэропортов, с их интенсивными и испытывающими резкие колебания потоками самолетов и пассажиров и жёсткими требованиями к уровню наземного обслуживания, особенно актуальна проблема определения оптимальной по критерию экономичности численности 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 подсистемы служат примерами системы управления (СУ), в которой в роли объекта управления (ОУ) выступает группа однотипных технологических ресурсов, а функции управляющего устройства (УУ) осуществляет человек–оператор (диспетчер аэропорта). Ниже исследована подсистема регистрации пассажиров по порейсовой схеме. Особенности аэропортов рассматриваемой категории [1] делают имитационную компьютерную модель

наиболее предпочтительным инструментом решения обозначенной выше оптимизационной задачи.

Имитационная модель рассматриваемой СУ включает модель УУ, воспроизводящую действия человека. Для формализации используемых оператором эвристических правил управления используются методы нечёткой логики. Нечёткий логический регулятор (НР) является моделью стратегии оператора и служит моделью УУ. В настоящее время отсутствуют работы, где рассматривались бы вопросы нечёткого управления системами и процессами аэропортового наземного обслуживания. Исключение составляет работа [2], в которой авторами была поднята тема, развиваемая в настоящей статье.

Для формирования имитационной модели подсистемы порейсовой регистрации первоначальных пассажиров вводится ряд не противоречащих практике допущений. Благодаря известной цикличности расписания узловых аэропортов, позволяющей описывать потоки самолетов периодическими функциями времени с величиной периода T , равной суткам, имитационный эксперимент сводится к единственному прогону модели, охватывающему ряд модельных суток. Поток вылетающих самолетов принят пуассоновским с интенсивностью $\lambda^A(t)$, $t \in [0, T)$, изменяющейся по времени в течение модельных суток так, как это показано на рисунке 1, построенном в результате обработки расписания европейских региональных узловых аэропортов.

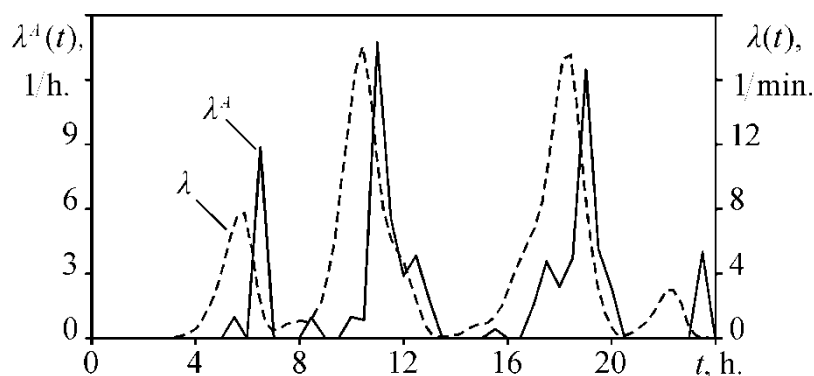


Рисунок 1 – Интенсивности потоков вылетающих самолетов и пассажиров.

Модельный поток пассажиров, поступающих на регистрацию, формируется на базе модельного потока отправляемых самолетов. Учитывается группо-

вой характер потока пассажиров и вероятностное распределение времени нахождения пассажиров аэровокзале. Полученная временная зависимость суммарной интенсивности $\lambda(t)$ потоков пассажиров всех рейсов на регистрацию для модельных суток приведена на рисунке 1.

Продолжительность регистрации группы пассажиров принята случайной величиной, распределенной по гамма-закону с параметрами, зависящими от численности группы и количества принадлежащих группе регистрируемых мест багажа. Принимаются заданными плановая продолжительность регистрации всех пассажиров одного самолета и плановый промежуток времени от момента окончания регистрации до вылета по расписанию.

Для моделирования логики управления процессом регистрации первоначальных пассажиров вводится ряд допущений. Предполагается, что задача оператора состоит в определении числа Z_i рабочих мест, выделяемых для регистрации пассажиров, вылетающих очередным (i -м) самолетом. Практика показывает, что наиболее весомыми факторами, влияющими на решение оператора, следует считать число N_i первоначальных пассажиров i -го самолета, число L_i мест багажа первоначальных пассажиров i -го самолета, общее число Z_i^{Σ} мест регистрации, занятых обслуживанием пассажиров к моменту принятия решения. Оператор принимает во внимание также ряд с трудом поддающихся формализации факторов, наличие которых делает факт выбора некоторого решения случайным. Для учета стохастичности выбора вводятся вероятности выделения одного, двух и трех мест для регистрации пассажиров i -го самолета – p_{1i} , p_{2i} и p_{3i} , соответственно, используемые имитационным алгоритмом для «розыгрыша» случайного числа мест Z_i .

Функции НР сводятся к определению вероятностей p_{1i} , p_{2i} и p_{3i} по заданным величинам N_i , L_i и Z_i^{Σ} . В модели НР реализован по типовой схеме [3] и включает следующие элементы: заданные функции принадлежности входных и выходных переменных; нечеткую базу правил, устанавливающих взаимосвязь

между входами и выходами; механизм нечеткого логического вывода; метод приведения к четкости выходных переменных (дефаззификации).

Будем различать измеряемые входные переменные N_i , L_i и Z_i^{Σ} , принимающие значения из множества целых неотрицательных чисел, и соответствующие им лингвистические переменные N_i^* , L_i^* и $Z_i^{\Sigma*}$, принимающие нечеткие значения из терм-множеств $\{\tilde{N}_i^B, \tilde{N}_i^M, \tilde{N}_i^L\}$, $\{\tilde{L}_i^B, \tilde{L}_i^L\}$ и $\{\tilde{Z}_i^{\Sigma B}, \tilde{Z}_i^{\Sigma M}, \tilde{Z}_i^{\Sigma L}\}$, соответственно. Для обозначения термов лингвистических переменных используем индексы: B – «большое число», M – «среднее число», L – «малое число». Аналогично, выходным переменным p_{1i} , p_{2i} и p_{3i} принимающим числовые значения на промежутке $[0,1]$, поставим в соответствие выходные лингвистические переменные p_{1i}^* , p_{2i}^* , p_{3i}^* со значениями из терм-множеств $\{\tilde{p}_{1i}^B, \tilde{p}_{1i}^M, \tilde{p}_{1i}^L\}$, $\{\tilde{p}_{2i}^B, \tilde{p}_{2i}^M, \tilde{p}_{2i}^L\}$, $\{\tilde{p}_{3i}^B, \tilde{p}_{3i}^M, \tilde{p}_{3i}^L\}$. Графики функций принадлежности термов входных лингвистических переменных, полученные с использованием результатов обработки статистических данных производственной информационной системы одного из крупных аэропортов и опроса специалистов соответствующих его служб, приведены на рис.2.

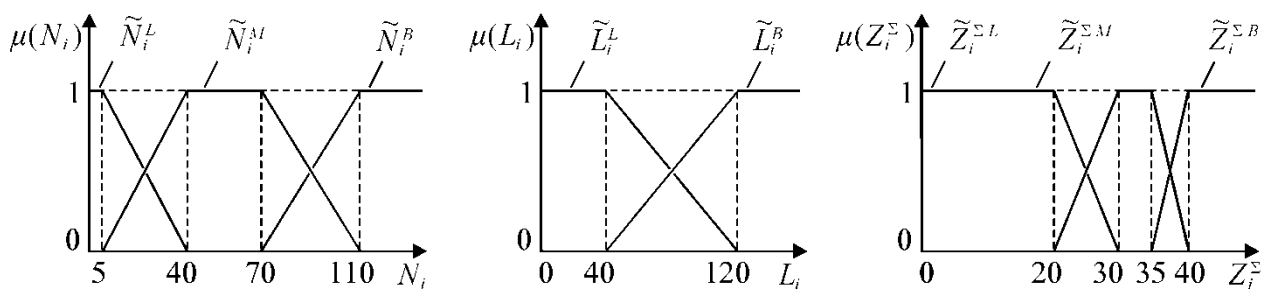


Рисунок 2 – Функции принадлежности термов входных переменных.

Нечёткая база правил для входных лингвистических переменных N_i^* , L_i^* , $Z_i^{\Sigma*}$ и выходных – p_{1i}^* , p_{2i}^* , p_{3i}^* представлена в форме табл. 1, где столбцы соответствуют отдельным нечетким логическим правилам.

Таблица 1 – Нечеткая база правил

N_i^*	B	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L	L
L_i^*	B	B	B	L	L	L	B	B	B	L	L	L	B	B	B	L	L	L
$Z_i^{\Sigma*}$	L	M	B	L	M	B	L	M	B	L	M	B	L	M	B	L	M	B

p_{1i}^*	L	M	M	L	M	M	L	L	M	M	M	B	B	B	B	B	B	B
p_{2i}^*	M	B	B	B	B	B	M	M	B	B	B	M	M	M	L	L	L	L
p_{3i}^*	B	B	M	M	M	L	B	M	L	M	L	L	L	L	L	L	L	L

Будем считать термы выходных лингвистических переменных синглтонными нечеткими множествами, присвоив им значения:

$$\tilde{p}_{1i}^L = \tilde{p}_{2i}^L = \tilde{p}_{3i}^L = p_i^L = 0, \quad \tilde{p}_{1i}^M = \tilde{p}_{2i}^M = \tilde{p}_{3i}^M = p_i^M = 0.5, \quad \tilde{p}_{1i}^B = \tilde{p}_{2i}^B = \tilde{p}_{3i}^B = p_i^B = 1.$$

Раздельно для каждой из трех выходных переменных реализуется алгоритм нечеткого вывода по синглтонной базе правил, который может рассматриваться как частный случай алгоритма Мамдани [4]. Результатами являются нечеткие вероятности \tilde{p}_{1i} , \tilde{p}_{2i} , \tilde{p}_{3i} , имеющие дискретные функции принадлежности. Дефаззификация величин \tilde{p}_{1i} , \tilde{p}_{2i} , \tilde{p}_{3i} , выполняемая методом центроида [3], обеспечивает получение искомым вероятностей p_{1i} , p_{2i} и p_{3i} .

Итак, на интервале $[0, T)$ требуется определить зависимость от времени оптимального числа $z_{opt}(t)$ однотипных ресурсов в системе обслуживания при использовании рассмотренного нечеткого управления. Под оптимальным понимается минимальное число мест регистрации, достаточное для обеспечения аэропортом своевременного начала выполнения этой операции с заданной надежностью P при условии, что регистрация на i -й самолет начинается только при наличии определенных диспетчером Z_i свободных мест.

Сформулированная оптимизационная задача решена с использованием имитационной модели, программно реализованной на базе системы имитационного моделирования AnyLogic 6 University. Часть результатов оптимизации представлена на рисунке 3. Главным итогом явилось получение временной зависимости оптимального числа ресурсов $z_{opt}(t)$ на уровне надежности $P = 0.95$. Максимальное за сутки число ресурсов составило 58 единиц, однако близкая к этому уровню численность требуется в течение всего около 2 ч. Приведенная на рисунке 3 временная зависимость среднего числа $\bar{Z}(t)$ мест регистрации, занятых обслуживанием, дает возможность представить степень разброса случайно-

го процесса $Z(t)$. Оценить уровень качества обслуживания пассажиров позволяет среднее время $\bar{T}_w(t)$ ожидания в очереди на регистрацию пассажиров, прибывших в аэровокзал в момент $t \in [0, T)$. В течение продолжительных промежутков времени эта величина остается на довольно высоком уровне, что служит основанием для пересмотра подхода к управлению процессом регистрации, либо к переходу аэропорта от порейсовой к другим, более прогрессивным, схемам регистрации пассажиров. Результаты включают временную зависимость $N_w^{0.99}(t)$, $t \in [0, T)$, 0.99–квантиля числа пассажиров в очереди и на обслуживании в зоне регистрации. Согласно данным, приводимым на рисунке 3, необходимая с надежностью 0.99 вместимость зоны регистрации аэропорта составляет около 400 пас.

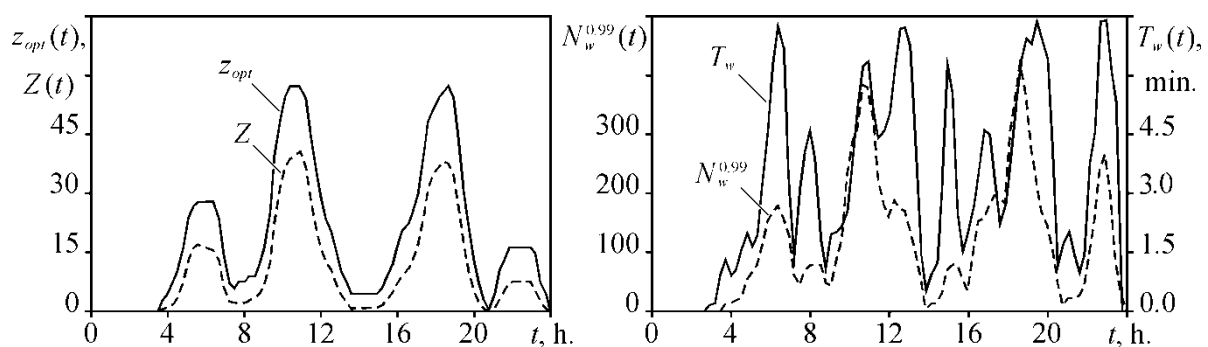


Рисунок 3 – Результаты оптимизации

Имитационное моделирование позволяет сформировать детальный стохастический портрет функциональных подсистем аэропортов, в том числе относящихся к такой перспективной категории, как узловые аэропорты. Использование ИМ для моделирования поведения диспетчера, управляющего аэропортовыми процессами, дает возможность повысить адекватность и точность имитационных моделей.

Список литературы:

1. Романенко В.А. Моделирование производственных процессов узловых аэропортов: монография. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 286 с.

2. 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

3. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление. 2-е изд., пер. с англ. М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

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

**HUB AIRPORT PARAMETER OPTIMIZATION
BASED ON A SIMULATION MODEL WITH A FUZZY REGULATOR**

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

Samara University, Samara, Russian Federation

Abstract. The problem of determining the optimal number of technological resources of the hub airport functional subsystem is considered. As an optimization tool, a simulation model was used that includes a fuzzy controller, which reflects the logic of the airport dispatcher controlling the ground handling process. The paper describes a model example of solving an optimization problem indicating the possibility and feasibility of using a fuzzy controller as a model for the strategy of a human operator.

Keywords: hub airport, simulation model, optimization, fuzzy controller.