

УДК 519.248:656.71

## НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МНОГОФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БАГАЖА АЭРОПОРТА

Скороход М. А., Романенко В. А.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Операции по обработке багажа – одни из наиболее трудоемких в процессе наземного обслуживания пассажиров, что служит причиной необходимости внедрения в структуру аэропорта целого комплекса систем автоматизации этих операций (системы обработки багажа). Чтобы соответствовать современным требованиям авиационной безопасности и высоким стандартам обслуживания пассажиров, СОБ должны быть максимально надежными, автоматизированными. Внедрение и эксплуатация таких систем приводит к дополнительным расходам. Поэтому еще на этапе стратегического планирования развития аэропорта руководству необходимо выбрать СОБ с экономически целесообразным набором характеристик, которые обеспечивали бы надежную бесперебойную работу аэропорта. Инструментом предварительной оценки затрат на внедрение и эксплуатацию СОБ может служить ее технико-экономическая модель, которая отражает связь между экономическими характеристиками и техническими параметрами системы.

Для формирования регрессионной модели обработки данные 35 проектов СОБ, реализованных в ряде аэропортов мира. Все СОБ разделены по типу используемой технологии сортировки на системы, использующие ленточные транспортеры и опрокидывающиеся поддоны. Для них в работе [1] построены детерминированные многофакторные технико-экономические модели, которые определяются следующим уравнением регрессии:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (1)$$

где  $Y$  - зависимая переменная, общая стоимость СОБ (млн. долларов США);  $x_i$  - независимая переменная, число единиц структурных компонентов каждого вида, для СОБ первой группы  $n=4$  (стойки регистрации, интроскопы, карусели комплектования, карусели выдачи), для второй  $n=6$  (к факторам первой группы добавляются трансферные линии и места хранения раннего багажа);  $b_i$  - коэффициенты (параметры) модели, физический смысл которых заключается в величине затрат, требуемых на внедрение единицы структурного компонента каждой подсистемы СОБ (млн. долларов США).

Недостаток классической линейной модели – излишняя «жесткость» в описании реальной системы, которая не учитывает неопределенность некоторых параметров. Наличие нечеткости объясняется отклонениями от возможных прогнозируемых значений, неизбежно возникающими в финансово-экономической среде вследствие таких причин, как колебание курса валют, выбор различных поставщиков и т.п. Более гибко описывать объекты в условиях неопределенности позволяет использование теории нечетких множеств [2].

В работе используется методика, предполагающая формирование нечеткой регрессионной модели на базе предварительно построенной четкой статистической модели линейной регрессии, представленной уравнением (1). Предполагается, что искомые коэффициенты представлены в виде нечетких чисел треугольного несимметричного типа, поэтому в итоге и зависимая переменная будет нечетким числом такого же вида. Уравнение (1) запишется следующим образом:

$$\tilde{Y} = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^n \tilde{b}_i x_i,$$

где нечеткие величины задаются значениями левой ( $L$ ) и правой ( $R$ ) границы и модальным значением ( $M$ ):  $\tilde{b}_i = (b_i^L, b_i^M, b_i^R)$ ,  $\tilde{Y} = (Y^L, Y^M, Y^R)$ .

Таким образом, четкое уравнение регрессии (1) уточняется коридором достоверности. Путем решения задачи линейного программирования, имеющей цель - минимизировать ширину нечеткого коридора по всем наблюдениям  $\sum_{j=1}^m (y_j^R - y_j^L) \rightarrow \min$  определяются функции, располагающиеся, соответственно, не выше и не ниже любого из наблюдаемых значений  $Y_j$ , и определяющие нижнюю и верхнюю границы интервальных оценок:

$$Y^L = b_0^L + \sum_{i=1}^n b_i^L x_i ; Y^R = b_0^R + \sum_{i=1}^n b_i^R x_i .$$

В результате получены два уравнения нечеткой регрессии для СОБ I и II группы:

$$\tilde{Y}^I = (0,010;0,065;0,075) + (0,010;0,050;0,060) x_1 + (0,290;0,300;0,310) x_2 + \\ + (0,428;0,871;1,011) x_3 + (0,218;0,318;0,418) x_4 ;$$

$$\tilde{Y}^{II} = (0,100;0,500;0,900) + (0,020;0,045;0,055) x_1 + (0,227;0,301;0,581) x_2 + \\ + (0,914;1,038;1,048) x_3 + (0,390;0,400;0,410) x_4 + (0,005;0,010;0,015) x_5 + \\ + (0,724;1,088;1,188) x_6 .$$

Для правильной интерпретации полученных оценок следует помнить, что увеличение на единицу численности того или иного оборудования означает расширение СОБ на определенную структурную единицу, включающую помимо собственно рассматриваемого оборудования целый ряд других устройств. Таким образом, затраты на единицу оборудования следует понимать, как затраты, приходящиеся на структурную единицу, включающую рассматриваемое устройство. При таком понимании полученные величины оценок вполне соответствуют действительности. Затраты на оборудование аналогичных типов для СОБ группы II в среднем выше, что объясняется необходимостью использования более производительного и технически совершенного оборудования в системах данной группы по сравнению с СОБ группы I, что также согласуется с практикой.

#### Библиографический список

1. Скороход, М. А. Многофакторная технико-экономическая модель системы обработки багажа аэропорта [Текст]// Молодежь. Наука. Технологии: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции студентов и молодых ученых. ЧЗ. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2017. – с. 98-101.
2. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей [Текст]: примеры использования/ А. Н. Борисов, А. Н. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184с.
3. Вишнякова, Е. В. Нечеткая линейная регрессия в задачах оценки [Электронный ресурс]/ Е. В. Вишнякова, Ю. А. Колодяжина// Научные записки молодых исследователей – 2015. – №5. – с.14-29.
4. Бирюков, А. Н. Нечеткая регрессионная прогнозная многофакторная модель для решения экономической прикладной задачи [Электронный ресурс]// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2010. - № 2.