

УДК 629.73:510.644.4

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НАЗЕМНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В АЭРОПОРТУ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Хвостова Т. В., Романенко В. А.

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

Благодаря особенностям расписания, достаточно продолжительный промежуток времени функционирования узлового аэропорта может быть разбит на ряд временных интервалов, называемых «волнами» прилётов. Поскольку поток прибывающих в узловой аэропорт воздушных судов (ВС) может считаться пуассоновским [1], а операция случайного разделения пуассоновского потока даёт на выходе потоки [2] такого же типа, то потоки ВС различных категорий также считаются пуассоновскими с мгновенными интенсивностями  $\lambda_0(t)$  - периодическими функциями с периодом  $T$ .

При постановке задачи рассматривается одна из ключевых операций технологического графика наземного обслуживания ВС – заправка авиатопливом, выполняемая авиатопливозаправщиками (АТЗ). Допустим, что подсистема располагает технологическими ресурсами двух групп специализирующимися на обслуживании ВС определенной категории, при этом более ресурсы 1-й группы рассчитаны на обслуживание ВС более высокой категории I. Предположим, что ресурсы одной группы могут использоваться для обслуживания ВС разных категорий, однако обслуживание ВС категорий, на которые ресурсы не рассчитаны, выполняется с меньшей производительностью. Предполагается, что при обслуживании ВС категории I АТЗ 2-й группы всегда выделяется по два АТЗ. Во всех остальных случаях используется по одному АТЗ. Все исходные данные приняты нормальными и вполне согласуются с практикой.

В модели с нечетким регулятором (НР) использует четыре входные лингвистические переменные:

$\beta_1$  = «Число ожидаемых за интервал времени  $\Delta t^{nn}$  ВС категории I»,

$\beta_2$  = «Число ожидаемых за интервал времени  $\Delta t^{nn}$  ВС категории II»,

$\beta_3$  = «Число ВС, ожидающих заправки и заправляемых 1-й группой АТЗ»,

$\beta_4$  = «Число ВС, ожидающих заправки и заправляемых 2-й группой АТЗ»,

которым соответствуют четыре измеряемые входные переменные НР. Термы представлены простыми и широко используемыми нечёткими величинами с многоугольными функциями принадлежности, для которых выполняется условие разбиения единицы. Дефазификация результирующих нечётких чисел выполняется согласно расширенному методу центра тяжести [3].

Характеристики модельной волны прилётов ВС, полученные в результате обработки расписания одного из европейских хабов, представлены на рис. 1а. Основные результаты решения рассматриваемой задачи отображены на рис. 1б-1г. Как следует из графиков рис. 1а, моменты пиковых нагрузок на подсистему топливозаправки, связанные с поступлением ВС двух категорий, не совпадают: максимальный уровень интенсивности потока ВС категории I приблизительно на один час «опережает» максимум интенсивности потока ВС категории II. Эта особенность модельной волны даёт возможность управляющему алгоритму перераспределять потоки ВС между группами АТЗ с целью выравнивания нагрузки. Действительно, из рис.1б следует, что на начальной стадии модельной волны во время массового поступления ВС категории I до 35-38% их общего числа направляются на заправку к

АТЗ 2-й группы. При этом в остальное время указанная доля не превышает 20%. Напротив, в течение первых 1.5 ч. модельной волны, когда поток ВС категории II сравнительно слаб, а АТЗ 1-й группы загружены обслуживанием ВС категории I, вероятность направления к АТЗ ВС категории II в среднем составляет только около 0.1. Лишь к концу волны, по мере освобождения АТЗ 1-й группы, вероятность направления к ним ВС категории II существенно возрастает.

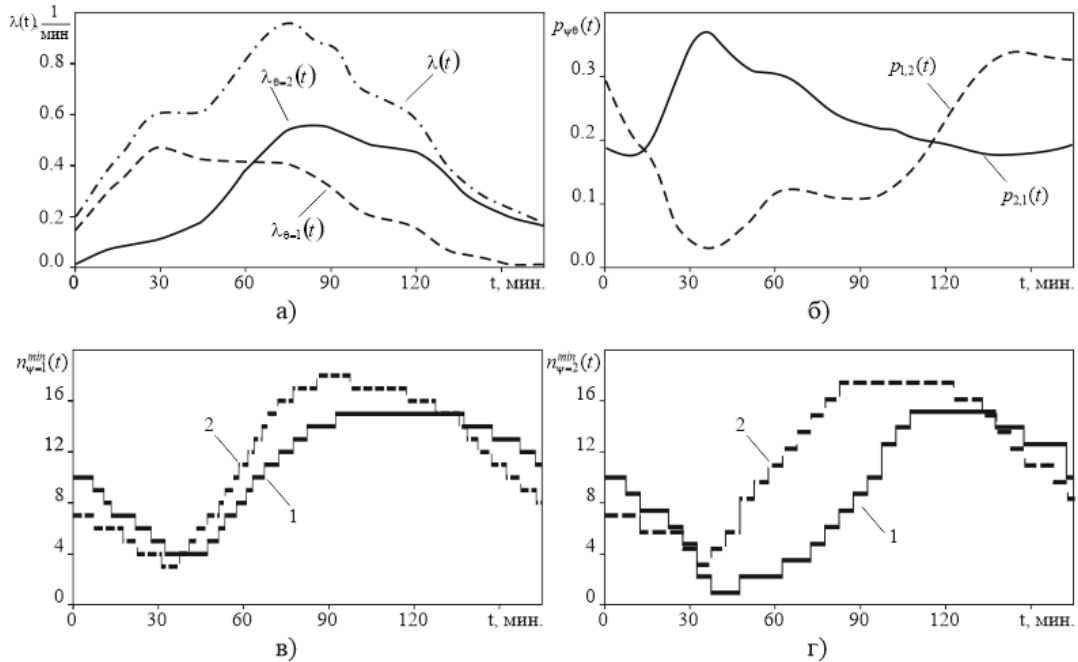


Рис.1. Исходные данные и результаты моделирования

Реализация управления, моделируемого НР, не только делает нагрузку на АТЗ более равномерной как по времени, так и по группам АТЗ, но также обеспечивает сокращение суммарной численности АТЗ, необходимой аэропорту. Суммарное минимально необходимое в аэропорту число АТЗ, достигнутое с использованием НР, составляющее  $n_{\psi=1}^{min} + n_{\psi=2}^{min} = 15 + 15 = 30$ , на две единицы меньше аналогичной величины, полученной без управления. Увеличение на одну единицу минимально необходимого числа АТЗ 2-й группы, вызванное реализацией нечёткого управления, компенсируется сокращением на три единицы минимально необходимого числа более затратных АТЗ 1-й группы. Результаты решения рассмотренной задачи свидетельствуют о возможности и целесообразности использования нечёткого регулятора в качестве модели стратегии человека-оператора, управляющего технологическими процессами аэропорта. Имитационным моделированием подтверждена необходимость реализуемого в аэропортовой практике управления потоками ВС в рамках подсистем наземного обслуживания, особенно актуальная для узловых аэропортов.

#### Библиографический список

1. Романенко В.А. Моделирование производственных процессов узловых аэропортов: монография // Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 286с.
2. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1987. 400 с.
3. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление /А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798с.