

## LXX Молодёжная научная конференция

для определения времени ожидания при различных комбинациях интенсивности потоков требований [3].

На следующем этапе исследования имитационная модель была доработана до многоканальной системы обслуживания. В рамках данной работы рассматривается модель грузового склада отправления для трех каналов обслуживания.

С целью проверки адекватности построенной модели проведен сравнительный анализ имитационной и аналитической моделей грузового склада аэропорта. Для расчетов была выбрана модель системы массового обслуживания с ожиданием и приоритетными потоками, предложенная в книге И.Я. Русинова «Организация воздушных перевозок».

В результате сравнительного анализа, можно сказать, что модель системы массового обслуживания, разработанная И.Я. Русиновым, приводит к ошибке в 55,6 %. На практике при проектировании грузовых комплексов крупных аэропортов предпочтительней использовать имитационный метод проектирования грузовых систем.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русинов И.Я. Организация воздушных перевозок / И.Я. Русинов, В.П. Инюшин, Л.А. Цеханович, В.А. Подшипков, Г.А. Букин, А.В. Башкирова. - М.: Изд-во «ТРАНСПОРТ», 1976. 180 с.

2. Боев В.Д. Моделирование в AnyLogic / В.Д. Боев, Д.И. Кирик. - СПб.: ВАС, 2016. 412 с.

3. Пахомова Д.В. Имитационная модель грузового комплекса аэропорта / Д.В. Пахомова, В.А. Романенко // Транспортный бизнес и логистика: актуальные аспекты развития: сб. тезисов I Всерос. науч.-практ. конф. (17-19 февраля 2020 г.). – Самара: Изд-во Самарского университета, 2020. – 168 с.

УДК 519.6

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ**

В. С. Пелевин<sup>1</sup>

Научный руководитель: Е. С. Хнырева, ассистент

Ключевые слова: система управления, нечеткий регулятор, малый космический аппарат

Работа посвящена актуальной проблеме авиакосмической отрасли - проблеме управления движением космического аппарата. В работе рассмотрены типы регуляторов систем управления, а также проведено

---

<sup>1</sup> Владислав Сергеевич Пелевин, студент группы 2113-240305D,  
email: pelevin\_01@list.ru

## LXX Молодёжная научная конференция

моделирование работы нечеткого регулятора на примере системы управления малого космического аппарата Аист-2Д.

Система управления – это совокупность элементов, которые образуют иерархию контуров циркуляции и преобразования информации при реализации концепции управления, и которая направлена на обеспечение соответствия действий установленному плану организации.

Системы управления могут быть двух типов: открытые и закрытые. Основное различие между этими видами систем заключается в том, что в закрытой системе блоком управления является составная часть той системы, которой он управляет, а в открытой - нет. В закрытых системах, как правило, присутствует обратная связь.

Для моделирования был выбран малый космический аппарат (МКА) "Аист-2Д". Он предназначен для проведения научных экспериментов, а также для отработки и сертификации целевой аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечивающей аппаратуры и их программного обеспечения для дальнейшего использования в перспективных разработках РКЦ "Прогресс". Система управления движением (СУД) от МКА «АИСТ-2Д» является закрытой и представляет собой законченную автономную систему с минимальным количеством внешних информационно-управляющих связей. На рисунке 1 изображена структура управления выбранного объекта,  $O$  - объект управления,  $P$  - регулятор,  $D$  - датчики,  $u$  - входной сигнал системы,  $y$  - выходной сигнал,  $e$  - сигнал ошибки (рассогласования), поступающий на вход регулятора,  $x$  - выходной сигнал регулятора.

В рассматриваемой системе регулятор вырабатывает управляющий сигнал  $x$  в соответствии с выбранным алгоритмом регулирования, например, пропорционально сигналу ошибки, либо её интегралу и т.п.

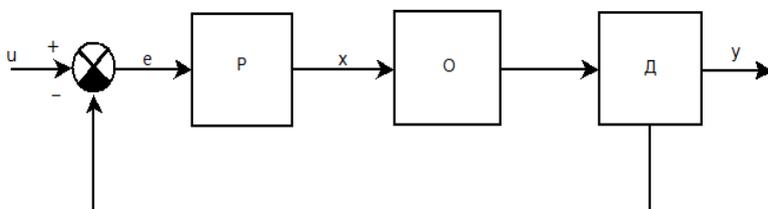


Рисунок 1 - Структура системы управления МКА «АИСТ-2Д»

Функции регулятора в системе управления МКА «АИСТ-2Д» выполняет комплекс исполнительных и чувствительных элементов «Грифон» в совокупности с управляющей многофункциональной вычислительной системой, при этом аналоговый сигнал  $e$  ограничен диапазоном  $[-1;1]$  и преобразуется в цифровую форму аналогово-

## LXX Молодёжная научная конференция

цифровым преобразователем (АЦП) с дискретностью 0,25, а выходной сигнал регулятора  $x$  формируется с помощью цифро-аналогового преобразователя и имеет всего 5 уровней: -1; -0,5; 0; 0,5; 1.

Введем лингвистические переменные для вышеперечисленных уровней:

$A_1$ : Большой положительный.

$A_2$ : Малый положительный.

$A_3$ : Нулевой.

$A_4$ : Малый отрицательный.

$A_5$ : Большой отрицательный.

На дискретном множестве возможных значений сигнала рассогласования  $e$  определим функции принадлежности так, как это приведено в таблице 1.

При проектировании подобных ("нечетких") регуляторов основным этапом является задание набора нечетких правил. Функционирование регулятора будет определяться следующими правилами, содержащими две предпосылки и один логический вывод:

$P_1$ : если  $e = A_3$  и  $\Delta e = A_3$ , то  $x = 0$ .

$P_2$ : если  $e = A_2$  и  $\Delta e = A_2$ , то  $x = -0,5$ .

$P_3$ : если  $e = A_4$  и  $\Delta e = A_4$ , то  $x = 1$ .

$P_4$ : если  $e = A_1$  и  $\Delta e = A_1$ , то  $x = -1$ .

где  $\Delta e$  - первая разность сигнала ошибки в текущий дискретный момент времени.

Таблица 1 - Значения функций принадлежности

	-1	-0,75	-0,5	-0,25	0	0,25	0,5	0,75	1
$A_1(e)$	0	0	0	0	0	0	0,3	0,7	1
$A_2(e)$	0	0	0	0	0,3	0,7	1	0,7	0,3
$A_3(e)$	0	0	0,3	0,7	1	0,7	0,3	0	0
$A_4(e)$	0,3	0,7	1	0,7	0,3	0	0	0	0
$A_5(e)$	1	0,7	0,3	0	0	0	0	0	0

В качестве основного вывода следует отметить удобство и наглядность решения поставленной задачи моделирования работы нечёткого регулятора системы управления движением МКА «АИСТ-2Д». Построенная нечёткая модель позволяет определить значения функций принадлежности переменной выхода с целью оптимизации управления движением космического аппарата, что будет продемонстрировано в дальнейшем исследовании.