

УДК 622

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЭРОПОРТА

Апухтин Р.В. студент гр. ИСт-191, III курс
Кузнецов А.А., студент гр. ИСт-191, III курс
Веригина И.Ю., студент гр. ИСт-191, III курс
Научный руководитель: Кузнецов И.С.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

С самого начала статьи, мы бы хотели объяснить, почему выбрали именно ТМО (теория массового обслуживания). В нашем мире очереди есть везде и очереди влияют на комфорт нахождения в обществе. Расчёты, которые помогут сделать очереди оптимальными, делают жизнь лучше. Никто не любит долго стоять в очереди и ТМО экономит нервы и силы людей.

Аэропорты функционируют уже множество десятков лет, начиная свою работу ещё в далеком 1910 году. За это время система, как и все в этом мире, менялась и развивалась. Но в системе аэропорта изменения происходили существенно, ведь необходимо было оптимизировать обслуживание посетителей, пассажиров и рабочих, при этом не забывать о безопасности не только в небе, но и в самом здании аэропорта.

Рассматривать в нашей работе мы будем современную систему аэропорта, конечно, взглянуть и показать всю систему, учтя все нюансы, будет сложно, долго и даже не будет иметь особого значения для каждого человека, потому что для этого существуют разные отрасли профессий, на которых они занимаются конкретной частью какого-либо процесса или этапа. А расскажем мы вам про систему очередей пассажиров на посадку на рейс в аэропорту, где будем рассматривать конкретный вариант аэропорта. Рассматривая эту систему, мы хотели как можно сильнее реорганизовать систему очереди, потому что каждому человеку не нравятся очереди и этому пассажиру хотелось бы по максимуму избавить себя от этой траты времени, потому что каждый считает, что время можно провести с большей пользой.

В нашей системе имеется несколько этапов, которые являются обязательными для каждого пассажира, чтобы были соблюдены все правила очереди и безопасности. Эти этапы идут в следующем порядке:

На входе в аэропорт пассажиры, которые готовятся к полету, проходят контроль безопасности, где происходит проверка вещей, находящихся на человеке, через металлоискатель, и проверку багажа, через рентген. Далее они входят (проходят) в терминал (зал ожидания самолёта), включающий в себя кассы, где пассажиры ожидают прибытия самолёта. После прибытия самолета в аэропорт, пассажиры проходят регистрацию и сдают багаж. После регистрации пассажиры очередной раз проходят контроль безопасности, через металлоискатель и пускают багаж через проверочную ленту с рентгеном. После этого им необходимо пройти паспортный контроль (есть зеленый и красный коридор). После этого пассажиры попадают в зал ожидания посадки

на самолет. Далее пассажиры направляются на посадку, где они садятся на автобус и доезжают до самолета, а после поднимаются и заходят в него и занимают свои места согласно тем, что указаны в билетах.

Общее время всего этого процесса в целом занимает 12 000 секунд. Но этот процесс состоит из нескольких сегментов (этапов), который занимает определенное время, но при этом имеются погрешности, которые бывает сложно предугадать:

- 1) Контроль безопасности + Лента с рентгеном (1200 сек)
- 2) Касса (2400 сек)
- 3) Регистрация (1200 сек)
- 4) Контроль безопасности (900 сек)
- 5) Паспортный контроль (1500 сек)
- 6) Ожидание посадки + Посадка (3800 сек)

По мимо времени имеется ограничение в приборах обслуживания, которые должны иметь свой логический минимум и логический максимум, который мы нашли благодаря данным по самому маленькому и самому большому аэропорту из доступных:

Таблица 1 – выбор вида СМО

Номер сегмента	Символика Кендалла-Башарина	Ограничения
1	M/M/m	$2 < m < 10$
2	M/M/m	$3 < m < 18$;
3	M/M/m	$3 < m < 44$;
4	M/M/m	$2 < m < 15$;
5	M/M/m	$2 < m < 8$;
6	M/M/m/N	$1 < m < 5$; $107 < N < 800$

где m – число приборов обслуживания;
 N – число заявок в очереди.

Мы взяли для нашей системы ограничения m и N для сегментов:

Таблица 2 - Ограничение числа приборов обслуживания

Номер сегмента	Ограничения
1	$m=5$;
2	$m=5$;
3	$m=10$;
4	$m=5$;
5	$m=2$;
6	$m=1$; $N=295$

Для нашего примера мы нарисовали схему аэропорта, в котором учтены все этапы и поставлены критерии приборов и очереди.

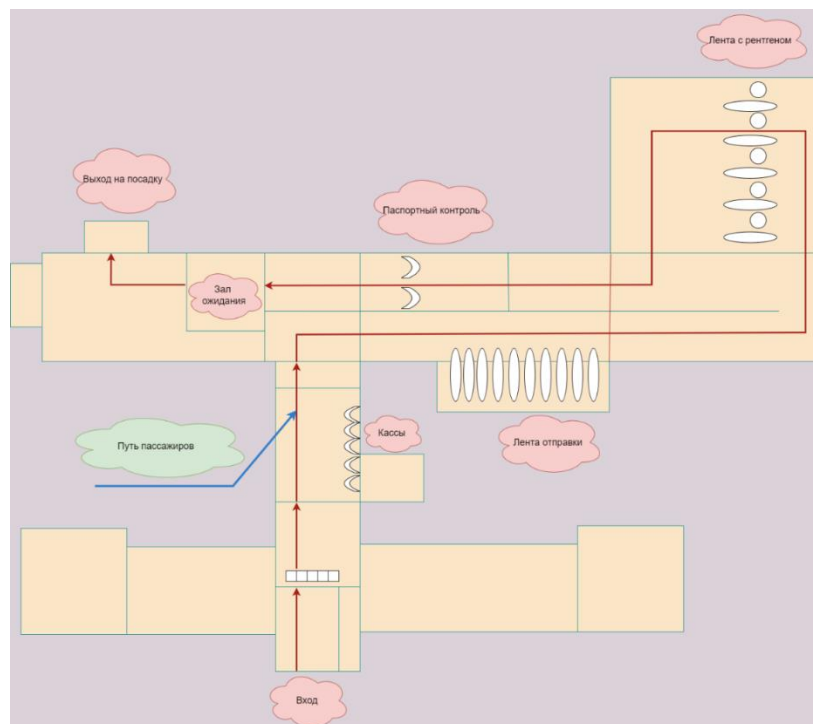


Рис. 1 – Схема аэропорта

1 – вход, 2 – кассы, 3 – лента отправки, 4 – лента с рентгеном, 5 – паспортный контроль, 6 – зал ожидания, 7 – выход на посадку, 8 – путь пассажиров при посадке на самолет

Для наглядности была создана схема того, как поступают, обрабатываются и выводятся заявки (пассажиры):

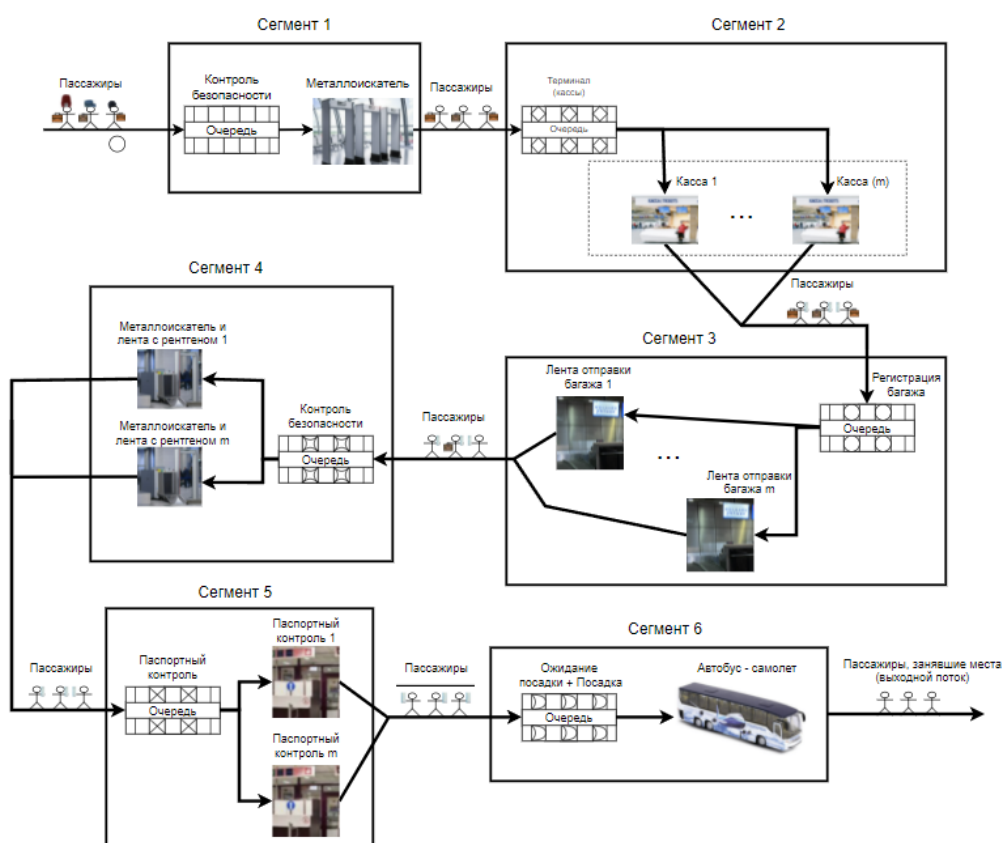


Рис. 2 – Схема очередности обработки заявок

Для расчета 6-го сегмента использовали следующие формулы:

Коэффициент загрузки системы:

$$U = \frac{\lambda}{\mu} \quad (1)$$

где λ – интенсивность поступления заявок;

μ – интенсивность обслуживания заявок.

Среднее число требований в системе:

$$M(q) = \frac{U^{q_{max}+1}(q_{max}U - q_{max} - 1) + U}{(U^{q_{max}+1} - 1)(U - 1)} \quad (2)$$

где q – число требований в системе (в очереди и приборе);

q_{max} – максимальное число требований в системе (в очереди и приборе).

Вероятность того, что система свободна:

$$p_0 = \frac{U - 1}{U^{q_{max}+1} - 1} \quad (3)$$

Среднее число требований в приборе:

$$M(j) = 1 - p_0 \quad (4)$$

где j – число требований в приборе.

Среднее число требований в очереди:

$$M(v) = M(q) - M(j) = \frac{U^{q_{max}+1}(q_{max}U - q_{max} - U) + U^2}{(U^{q_{max}+1} - 1)(U - 1)} \quad (5)$$

где v – число требований в очереди.

Среднее число свободных приборов:

$$M(p) = 1 - M(j) = 1 - (1 - p_0) = p_0 \quad (6)$$

где $v - p$ – число не занятых приборов.

Вероятность отказа:

$$p_{отк} = p_{q_{max}} = U^{q_{max}} p_0 \quad (7)$$

Среднее время ожидания в очереди требованием обслуживания:

$$M(t_v) = \frac{M(v)}{\lambda} \quad (8)$$

где t – время.

Среднее время пребывания требования в системе:

$$M(t_q) = \frac{M(q)}{\lambda} \quad (9)$$

Для остальных сегментов проведены аналогичные расчеты.

Таблица 3 – Результаты расчета

№ сегмента	Доп. Характеристики
6	1) $U = 0,935$ 2) $M(q) = 14,5$ 3) $p_0 = 0,065$ 4) $M(j) = 0,935$ 5) $M(v) = 13,56$ 6) $M(p) = 0,065$ 7) $p_{отк} = 1,72 * 10^{-10}$ 8) $M(t_v) = 0,234$ 9) $M(t_q) = 0,25$

Таблица 4 – Зависимость коэффициента загрузки системы (U) от количества приборов обслуживания (m)

m	1	2	3	4	5
U	0.935	0.468	0.312	0.234	0.187

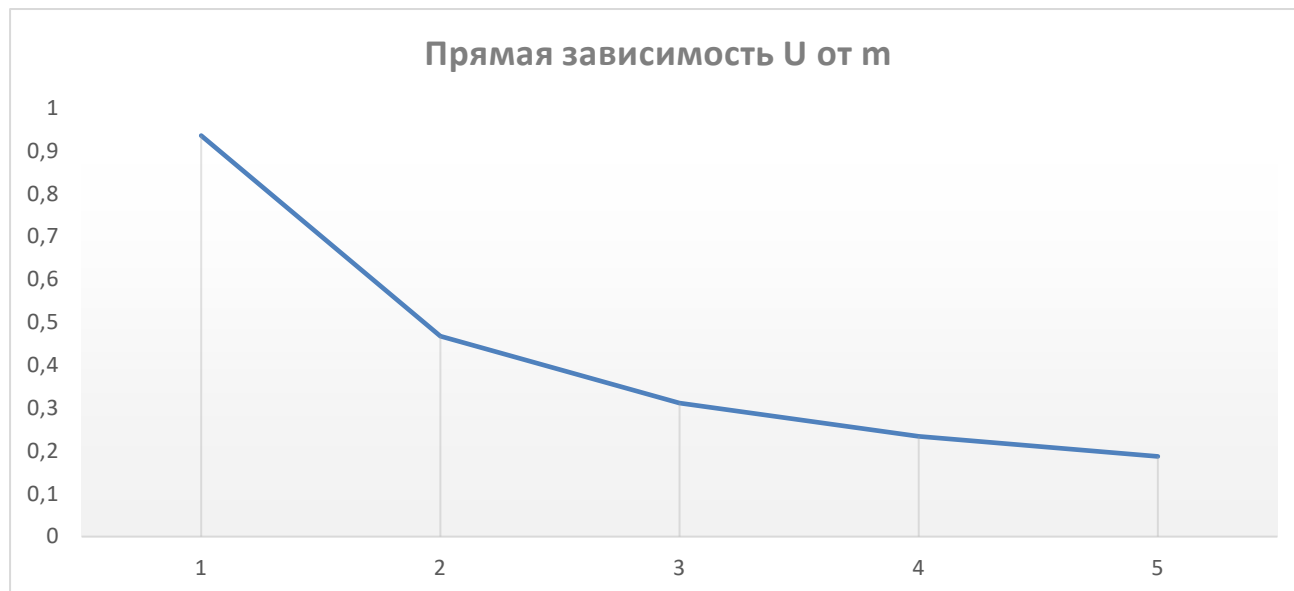


График 1 - Прямая зависимость коэффициента загрузки системы (U) от количества приборов обслуживания (m)

Таким образом, исходя из нашего исследования, мы можем сказать, что наши расчёты показывают то, что система не перегружена и имеет некоторый запас в нагрузке. Это полностью соответствует нашим целям и это то, что мы преследовали в данной работе и выяснилось, что система обладает резервом во времени по отношению к нагрузке. Мы рассмотрели данный объект исследования для того, чтобы можно было рационализировать затраты денег, время, которое уходит на очереди и на ожидание, расход материалов, а также для лучшего понимания работы и структуры аэропорта.

Список литературы:

1. «Стальная птица» Путешествия на самолётах. Пример аэропорта [электронный ресурс] - URL: <https://birdsbb.ru/aeroporty/utapao-aeroport-gde-nahoditsya.html> пример Аэропорта (28.02.22)
2. «ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ»/(В. В. Зиновьев А. Н. Стародубов)// - Кемерово: КузГТУ, 2011г. – ст. 8-18
3. Моделирование процессов и систем: учебное пособие : для студентов направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев ; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, Кафедра информационных и автоматизированных производственных систем Кемерово : КузГТУ, 2016, 146 с.

4. Математика и математическое моделирование (В.И. Сердюков, Н.А. Сердюкова, Шишкина С.И.) пример математической модели [электронный ресурс] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-odnopolzovatel'skoy-kompyuternoy-igry-vosproizvodyaschey-duelnyy-boy-tankov/viewer> (04.03.22)
5. Т.И. Алиев ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ. (информация которая помогла лучше понять как реализовать наш проект)[учебное пособие]-URL: <http://window.edu.ru/resource/176/63176/files/itmo354.pdf> (16.03.22)
6. «Законы распределения случайных величин - определение и вычисление с примерами решения» (Анна Евкова) (сайт помогавший с расчётами) [электронный ресурс] - URL: <https://www.evkova.org/zakonyi-raspredeleniya-sluchajnyih-velichin> (16.03.22)
7. Сайт туроператора «BSI Group» [электронный ресурс] - URL: https://www.bsigroup.ru/country/gbr/info/ed_airport/ менеджмент и план аэропорта (пример) (24.03.22)