



быть возможно только при замене инструмента (замена фишки — инструмента в позиции МВСП).

**Вывод.** В статье предложен механизм горизонтальной синхронизации в МВСП, позволяющий выполнять имитационное моделирование связанных процессов, протекающих параллельно в производственной системе (например, обработка деталей и износ инструмента, расход дополнительных материалов). Применение этого механизма увеличивает уровень детализации и повышает точность имитационного моделирования производственных систем.

### Литература

- 1 Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10.
- 2 Negahban A., Smith J. S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis //Journal of Manufacturing Systems. – 2014. – Т. 33. – №. 2. – С. 241-261.
- 3 Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. — М.: Мир, 984. — 264 с, ил.
- 4 Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объектной структурой. – Научный мир, 2004.

Н.К. Кусюмов, В.В. Мокшин

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОВ КАЗАНСКОГО АЭРОПОРТА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

(КНИТУ-КАИ имени А.Н. Туполева)

Каждый человек сталкивался с долгой и изнуряющей подготовкой к вылету: прохождение металло детекторов, регистрация на рейс, сдача багажа, прохождение паспортного контроля, ожидание вылета и непосредственно сама посадка на самолет. Все эта подготовка к вылету выматывает нас, однако каждый этап очень важен в работе аэропорта, ведь он обеспечивает комфортность и безопасность полетов.

Каждый человек старается не тратить свое время попусту, а очереди и сам процесс прохождения какого-то этапа занимает огромное количество времени. Поэтому хотелось бы чтобы очереди занимали меньше времени у людей, готовящихся к полету. Именно такие места я постарался взять к рассмотрению и их оптимизации в системе имитационного моделирования Anylogic.

Целью данной работы является нахождения оптимального количества ресурсов, используемых в аэропортах. Эта работа нацелена на минимизацию времени нахождения людей в очередях и на этапах подготовки к вылету. Методика и методы анализа подобных сложных систем представлены в работах.



Использование средств имитационного моделирования для оптимизации систем позволяет снизить затраты на расчет вариантов оптимизации и выбор оптимального варианта.

В представленной работе рассматривается оптимизация количества затрачиваемых ресурсов в Казанском аэропорту средствами среды имитационного моделирования AnyLogic.

Описание системы работы аэропорта. В данной модели случайным образом генерируются рейсы и количество людей которые поедут данным рейсом. Также создаются события готовности автомобиля к посадке пассажиров. Всего генерируется три типа транспортных средств: автомобиль, такси и электричка. Пассажиры садятся в транспорт и едут в аэропорт. Приехав в аэропорт, автомобиль уезжает, а пассажиры встают в очередь службы безопасности, в которой их и их чемоданы проверяются на наличие запрещенных предметов. Дойдя до самой процедуры досмотра, человек ставит свой багаж на ленту досмотра, а сам проходит металло детекторы. В данной модели предусмотрен случай, когда человек может не пройти досмотр, тогда он вынужден будет пройти эту процедуру заново. Также учитывается тот факт, чтобы каждый пассажир забрал свой багаж. После они ожидают начала регистрации на рейс, во время ожидания они могут упаковать свои чемоданы при необходимости на специальных столах. При прохождении пункта регистрации на рейс пассажир сдает свой багаж и регистрируется на рейс. Далее пассажиры проходят на паспортный контроль, в котором проверяется их личность и выясняется разрешен ли вылет данному пассажиру. После паспортного контроля пассажира ожидает служба безопасности, похожая на ту которая стояла на выходе. После чего они ожидают посадки на рейс, при этом в имитационной модели у пассажиров есть возможность посетить некоторые сервисы, которые есть в модели данного аэропорта: магазины, закусочные и туалет. Затем пассажиры организуют очередь для посадки на рейс, подтверждают свою регистрацию на данный рейс, происходит посадка на самолет и вылет.

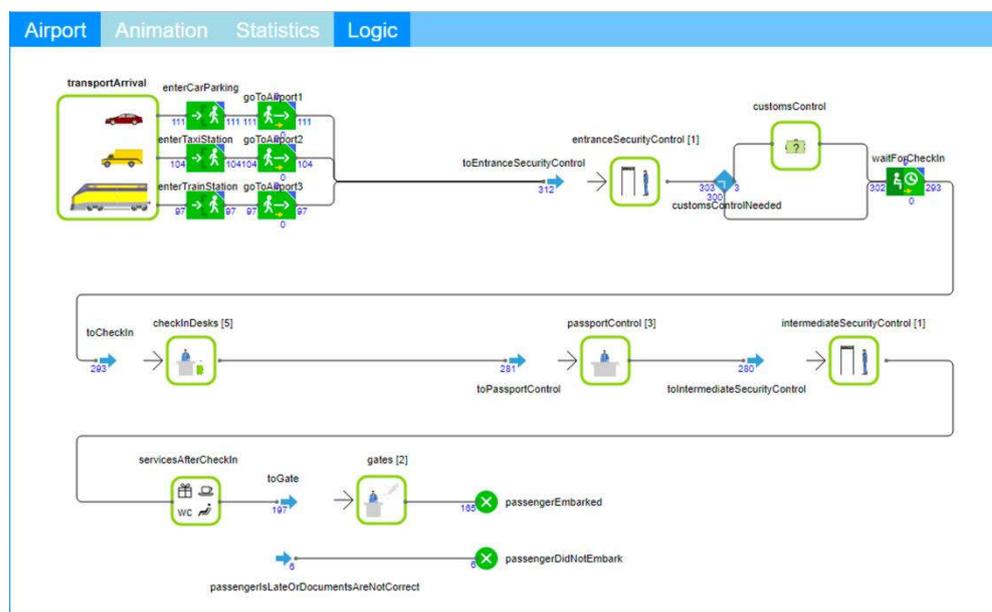




Рис. 1. Логическая модель аэропорта в системе AnyLogic

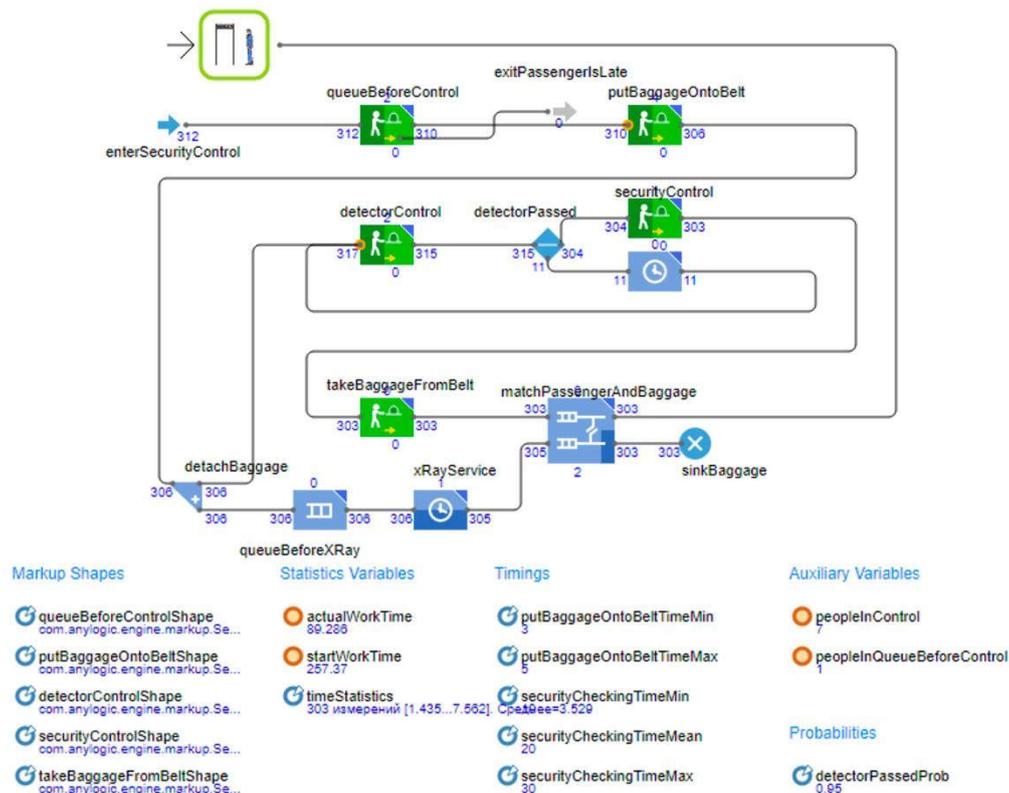


Рис. 2. Декомпозиция блока досмотра пассажира в системе AnyLogic

Время моделирования модели составляет 1 день. Также имеется возможность декомпозиции блоков. Результаты оптимизации представлены на рисунке 3 (Рис. 3). Проводилась оптимизация количества ресурсов при максимально возможной эффективности ресурсов и минимальному времени пребывания пассажиров в аэропорту. В результате такой оптимизации количество используемых ресурсов будет следующим:

- Количество служб безопасности на входе: 2
- Количество регистрационных столов: 2
- Количество паспортных столов: 3
- Количество внутренних служб безопасности: 2
- Количество посадочных стоек: 1

Время пребывания человека в аэропорту. В результате оптимизации удалось уменьшить время пребывания людей в аэропорту с 24 минут до 8, без учета ожидания начала регистрации на рейс и посадки.



### KazanAirport : Optimization

	Текущее	Лучшее
Итерация:	270	126
Функционал: ↓	9.046	8.024
<b>Параметры</b>		<b>Copy best</b>
Time from check in opening to departure	120	120
Time from check in closure to departure	45	45
Time from boarding start to departure	50	50
Time from boarding finish to departure	25	25
Mean security control time	20	20
Intermediate security control time mean	20	20
Detector passed probability	0.95	0.95
Probability of customs control	0.01	0.01
Mean declaration filling time	10	10
Check in time mean	45	45
Mean passport control time	40	40
Probability of passport to be valid	0.999	0.999
Mean gate control time	2	2
entranceSecurityControlsQuantityP	3	2
checkInDesksQuantityP	5	2
passportControlsQuantityP	2	3
intermediateSecurityControlsQuantityP <sup>2</sup>		2
gatesQuantityP	1	1



Рис. 3. Оптимизация исходной модели по времени пребывания пассажира в очередях Казанского аэропорта в системе AnyLogic

### Выводы

В процессе моделирования была осуществлена разработка одного дня работы модели Казанского аэропорта.

Проведена оптимизация имитационной модели и её оптимизация. Предложенный алгоритм оптимизации позволяет эффективно использовать ресурсы аэропорта, сократив время пребывания пассажиров в очередях аэропорта. Данная оптимизация может так же применяться и в других аэропортах.

### Литература

1. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 352-357.
2. Мокшин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
3. Мокшин В.В., Сайфудинов, И.Р., Кирпичников А.П. Рекурсивный алгоритм построения регрессионных моделей сложных вероятностных объектов / Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 112-116.
4. Мокшин В.В. Параллельный генетический алгоритм отбора значимых факторов, влияющих на эволюцию сложной системы / Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 3. С. 89-93.



5. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В., Яхина З.Т. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования по модели М/М/5 // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 16. С. 113-119.

6. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Трусуфус М.В., Мокшин В.В. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования ANYLOGIC, EXTENDSIM, SIMULINK / Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 15. С. 118-122.

Х. Лу<sup>1,2</sup>, Ю.М. Заболотнов<sup>1</sup>, А. Ли<sup>2</sup>

## СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ

(<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет, г.Самара, РФ,  
<sup>2</sup>Северо-западный политехнический университет, г.Сиань, КНР)

**Аннотация.** Рассматривается задача формирования вращающейся космической тросовой системы в процессе ее развертывания с использованием двигателей малой тяги как вспомогательного средства. Предлагается способ перевода системы во вращение, которая использует естественно возникающие силы инерции в подвижной орбитальной системе координат и малую тягу двигателей. Предполагается, что в исходном состоянии два малых космических аппарата совершают совместный полет по орбите и имеют некоторую угловую скорость вращения относительно общего центра масс. Для перевода системы во вращение предлагается закон управления, который основан на контроле силы натяжения троса и релейной программе изменения тяги двигателей. Результаты моделирования подтверждает эффективность предложенной схемы формирования вращающейся космической тросовой системы.

**Введение.** Вращающаяся тросовая система (ВТС) считается перспективным средством решением многих задач на орбите благодаря своей естественной устойчивости при вращении и возможностям, включая создание искусственной гравитации, транспортным операциям, таким как доставку полезного груза на поверхность Земли, запуск малых космических аппаратов (КА) на более высокую орбиту и др. [1,2]. По сравнению с обычными тросовыми системами, формирование вращающихся систем имеет свои особенности [1]. При этом возможны разные подходы к решению этой задачи. Например, на первом этапе тросовая система может развертываться в конечное положение равновесия [3], близкое к вертикали, а потом система при постоянной длине троса переводится во вращение с помощью двигателей малой тяги. Развертывание в конечное положение равновесия тросовой системы является достаточно отработанной технологией, что ведет к повышению безопасности при реализации миссии. Однако такой процесс формирования ВТС требует дополнительного времени и затрат энергии. В настоящей работе предлагается соединить эти два