



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • [Электронная библиотека](#)

[Препринты ИПМ](#) • [Препринт № 17 за 2021 г.](#)



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Р.Л. Пономарёв, [В.А. Судаков](#)

Разработка имитационной
модели технического
обслуживания воздушных
судов на базе интернета
вещей

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Пономарёв Р.Л., Судаков В.А. Разработка имитационной модели технического обслуживания воздушных судов на базе интернета вещей // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2021. № 17. 19 с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2021-17>
<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2021-17>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

Р.Л.Пономарев, В.А.Судаков

**Разработка имитационной модели
технического обслуживания воздушных
судов на базе интернета вещей**

Москва — 2021

Пономарев Р.Л., Судаков В.А.

Разработка имитационной модели технического обслуживания воздушных судов на базе интернета вещей

Среди инновационных технологий, оказывающих наибольшее влияние на авиационную отрасль, стоит выделить технологии сферы интернета вещей и их комбинации с другими технологиями. Также стоит отметить, что использование технологий интернета вещей уменьшает количество контактов между представителями участвующего в обслуживании летательного аппарата персонала, что способствует снижению риска заражения вирусными заболеваниями. Исследованию эффективности применения данной технологии в оптимизации поставок комплектующих и запасных частей для технического обслуживания воздушных судов посвящена настоящая работа.

Для формирования вывода об эффективности применения данной технологии разрабатывается имитационная модель соответствующего процесса.

Ключевые слова: авиация, техническое обслуживание, имитационное моделирование, интернет вещей, IoT, вирусные заболевания

Ponomarev Roman Lvovich, Sudakov Vladimir Anatolievich

Development of a simulation model for aircraft maintenance based on the Internet of Things

Among the innovative technologies that have the greatest impact on the aviation industry, it is worth highlighting the technologies of the Internet of Things and its combinations with other technologies. In addition, it is worth noting that the use of Internet of Things technologies reduces the number of contacts between the personnel involved in the maintenance of the aircraft, which helps to reduce the risk of contracting viral diseases. This work is devoted to the study of the effectiveness of this technology application in optimizing the supply of components and spare parts for aircraft maintenance.

To conclude a conclusion about the effectiveness of the application of this technology, a simulation model of the corresponding process is being developed.

Key words: aviation, maintenance, simulation, internet of things, IoT, viral diseases

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и CNPq (Бразилия), Фонда содействия инновациям (Россия), DBT, DST (Индия), MOST, NSFC (Китай), SAMRC (ЮАР) в рамках научного проекта № 20-51-80002

Введение

Непрекращающееся развитие и появление новых информационных технологий, позволяющих эффективно обрабатывать и использовать имеющиеся данные, а также усовершенствование технических средств, увеличение их функционала, неизбежно ведёт человечество к наступлению четвертой промышленной революции [1]. В результате этого можно заметить, как сильно с каждым годом меняются все сферы деятельности человека: начиная от социального устройства общества, взаимодействия между людьми, заканчивая тяжелой гражданской и военной промышленностью. Несомненно, авиационная промышленность, как одна из самых глобальных, сложных в своем устройстве, а также обладающая огромной значимостью для общества отрасль, претерпевает в настоящее время кардинальные изменения, ставшие следствием технического прогресса последних лет.

Среди инновационных технологий последнего времени, оказывающих наибольшее влияние на авиационную отрасль, безусловно, в особом ключе стоит отметить технологии сферы интернета вещей и их комбинации с другими технологиями [2].

Стоит обратить внимание на такую немаловажную часть концепции интернета вещей, как RFID-метка. Применение данной метки на упаковке дорогого товара или ценной библиотечной книге помешает злоумышленнику незаметно вынести предмет из магазина или читального зала. Сканер, встроенный в RFID-ворота, подаст сигнал, когда метка попадет в область считывания — а продвинутые системы смогут самостоятельно заблокировать выход из здания, сфотографировать вора или отправить охраннику сообщение с описанием похищенного предмета [3].

Также QR-коды и штрихкоды позволяют роботам эффективнее сортировать почтовые отправления. Автоматические погрузчики ориентируются на складе благодаря наклеенным на коробки этикеткам с QR-кодами или RFID-метками.

Исследованию эффективности применения данной технологии в оптимизации поставок комплектующих и запасных частей для технического обслуживания воздушных судов посвящена настоящая работа.

Вывод об эффективности применения данной технологии делается на основе разработанной имитационной модели соответствующего процесса.

Интернет вещей в авиационной отрасли

Как упоминалось ранее, концепция интернета вещей в настоящее время нашла разнообразное применение в различных бытовых, производственных и социальных процессах. Данная технология также покрывает большой спектр задач разной направленности в рамках рассматриваемой в настоящей работе отрасли – авиационной [2, 3].

Так, применение технологии в рамках авиационной сферы относительно решаемых задач можно разделить на следующие группы:

1. Интернет вещей, применяемый в аэропортах для удобства пассажиров.
2. Диагностика состояния самолетов в полете с помощью технологий интернета вещей.
3. Построение оптимальных маршрутов перелетов.
4. Интернет вещей в авиастроении.
5. Интернет вещей в техническом обслуживании самолетов на земле.

Таким образом, можно сделать вывод, что Internet of Things действительно оказывает больше влияние на изменение даже такой большой индустрии, как авиационная. IoT максимизирует эффективность во всей отрасли: от организации инструментов до машин и людей. Можно с уверенностью сказать, что авиационная отрасль уже сейчас существенно отличается от того, что было всего 5 лет назад.

Интернет вещей в техническом обслуживании самолетов на земле

В рамках текущей работы применение технологий интернета вещей рассматривается сугубо в целях повышения эффективности поставок комплектующих и ремонтных комплектов для технического обслуживания воздушных судов.

Также важным является то, что технология интернета вещей применяется и непосредственно при техническом обслуживании самолетов и наиболее эффективном управлении доступными ресурсами.

Так, включение технологий Интернета вещей в отрасль технического обслуживания и ремонта привело к повышению операционной эффективности, производительности и прибыльности. Это также позволило оптимизировать время вывода продукта на рынок и доставки клиентам.

Ежегодный рост авиаперевозок способствует росту спроса на количество самолетов и оборудования, применяемого при обслуживании. Следствием этого становится повышенный интерес к внедрению инновационных технологий, среди которых в том числе концепция Интернета вещей [4].

Улучшение технического обслуживания, в свою очередь, повысит доступность, надежность и безопасность парка воздушных судов. Такой вид технического обслуживания в авиационной отрасли также предоставляет полезную информацию, позволяющую принимать более обоснованные решения по техническому обслуживанию.

Время нахождения самолета на земле является решающим фактором. Каждая секунда, проведенная самолетом не в полете, стоит авиакомпании больших денег. Использование данных IoT гарантирует, что ни один самолет не

будет в течение значительного периода времени находиться на земле в ожидании технического обслуживания.

Отечественные и зарубежные авиакомпании используют штрих-коды и RFID-метки в качестве носителей информации для создания общего решения технологии Интернета вещей с целью разработки цепочки поставок, управления и обеспечения качества авиационной продукции. Airbus определила технологию RFID как интеллектуальный инструмент для улучшения процессов цепочки формирования стоимости в рамках всего умного завода. Технология помогает обеспечивать качество продукции и приводит к снижению затрат. Так, например, Airbus использует RFID-метки для улучшения процесса отслеживания внутренних деталей, которые затем применяются в техническом обслуживании пригодных для ремонта частей самолета. По данным Airbus, RFID-метки способствуют лучшей наглядности цепочки создания продукции, безошибочной идентификации и эффективной экономии в жизненном цикле изделия, также данная технология предоставляет гибкое управление отслеживаемыми компонентами.

Самолет состоит из сотен тысяч деталей. В среднем в течение жизненного цикла самолета примерно 20 000 деталей подвергаются замене. Управление авиационной техникой имеет достаточно специфичный характер ввиду огромного количества деталей и устройств, их разнообразия, широкого распространения и множества изменений в течение жизненного цикла. К функциям управления оборудованием самолета относятся: закупка, ремонт, аренда (или заимствование), хранение, планирование, таможенное оформление и мониторинг деятельности поставщика ремонтного бизнеса и др. Крупные авиакомпании продолжают улучшать системы управления с помощью вовлечения подразделений и отделов, а также создания собственных систем управления (AMICOS) для контроля всех аспектов авиационных ресурсов и процессов.

Непрерывное развитие и внедрение IoT трансформирует отрасль технического контроля и обслуживания самолетов, обеспечивая доступ к некогда ограниченной информации, инновационным решениям и предоставляя содержательные данные по техническому обслуживанию, которые снижают эксплуатационные расходы, открывают новые потоки доходов и сокращают время, проведенное самолетом вне полета.

Разработка имитационной модели

Для исследования эффективности применения технологий интернета вещей в поставке комплектующих для технического обслуживания воздушных судов нужно разработать имитационную модель соответствующего процесса. Рассчитав параметры модели, соответствующие процессу, в котором применяются традиционные технологии работы со складами, а также параметры, соответствующие процессу, в котором применяются технологии

интернета вещей, а именно технологии RFID, можно будет сделать обоснованный вывод по проведенному исследованию [5, 6].

Изучение технологий инвентаризации, применяемых на складе, позволило составить сравнительную таблицу 1.

Таблица 1

Технологии инвентаризации

	Визуальное распознавание	Штрихкод	RFID
скорость	от 20 до 100 шт./мин	от 10 до 30 шт./мин	до 1024 шт./мин
точность	любая	от 85% до 99,5% (пропуски, двойные сканирования)	от 98% до 99,995%
ресурсы	Обычно от 2 человек (один считает, другой пишет)	от 1 до 10 чел. + от 1 до 10 ТСД.	1 чел. + 1 RFID-ТСД
время на пересчет 4000 позиций	От 2 часов до суток	от 30 мин до 4 часов	от 10 до 40 мин
дополнительные издержки	Оплата сверхурочных	Оплата сверхурочных, зарядка и ремонт ТСД	Маркировка RFID-метками

Пользуясь приведенными данными, можно сделать вывод о разности в средней скорости поиска нужной детали на складе.

Среднее время поиска деталей с помощью стандартных технологий составляет примерно 180 минут. Тогда как среднее время поиска деталей с помощью технологий IoT примерно равно 40 минутам. Выполнение данной задачи с помощью технологии RFID в среднем занимает время, в 4,5 раза меньшее, чем при использовании стандартных технологий с применением штрихкода.

Этот показатель применяется в модели для расчета времени поиска грузчиками деталей на складе в двух ситуациях: когда они пользуются стандартными технологиями и когда они применяют технологии интернета вещей.

Разработка данной модели производится на языке программирования высокого уровня Python [7]. Отличительным преимуществом данного языка является скорость разработки, небольшой объем программ и большое количество разработанных библиотек. Так, для программной реализации различного вида имитационных моделей на языке Python существует подходящая для этого библиотека SimPy. Задачу графического отображения построенной модели можно решить с помощью библиотеки PyGame.

SimPy – это платформа моделирования дискретных событий на основе процессов, основанная на стандартном Python.

Процессы в SimPy определяются функциями генератора Python и могут, например, использоваться для моделирования активных компонентов, таких как клиенты, транспортные средства или агенты.

Pygame – это набор модулей Python, предназначенных для написания видеоигр. Это позволяет создавать полнофункциональные игры и мультимедийные программы на языке python.

В модели самолеты прибывают в аэропорт в случайное время, после чего каждый из них проходит техническое обслуживание. Если самолет исправен, он сразу после технического обслуживания покидает аэропорт для того, чтобы продолжить выполнять рейсы. Во время обслуживания воздушному судну может потребоваться ремонт или замена деталей, в таком случае самолет проводит большее количество времени на станции обслуживания.

Если в ходе технического обслуживания самолета обнаруживается потребность в замене деталей, грузчики производят поиск необходимых запасных частей на складе аэропорта. После того как нужные детали найдены, их необходимо доставить к станции технического обслуживания. Далее происходит ремонт самолетов и дальнейшее отправление самолетов на рейсы.

В случае если нужных для ремонта деталей не оказалось на складе, необходимо организовать поставку запасных частей с производства, отправить грузовую машину и дожидаться ее возвращения. Только после возвращения машины грузчики могут перенести запасные части к станции технического обслуживания, чтобы механики могли произвести ремонт.

С точки зрения теории массового обслуживания, описанные процессы подчиняются определенным законам распределения случайных величин.

Анализ данных по техническому обслуживанию воздушных судов позволил определить, что поток прибывающих самолетов является случайным ординарным (вероятность одновременного появления двух и более событий равна нулю), стационарным. Также данный поток является потоком без последствия, так как вероятность появления случайного события не зависит от момента совершения предыдущих событий. Поток прибывающих в аэропорт самолетов относится к простейшему пуассоновскому потоку событий. Изучение статистических данных по техническому обслуживанию воздушных судов [4] позволило сделать предположение о временном интервале, которому принадлежит наступление случайного события, прибытия самолета на авиационно-техническую базу. Так,

прибытие самолета в рамках разработанной модели случайно и принадлежит временному интервалу от 3 до 7 часов.

Время технического обслуживания и время поиска детали на складе также подчиняется закону пуассоновского распределения. Время технического обслуживания самолета случайно и лежит в пределах временного интервала модели: от 1.2 до 2 часов. Время поиска детали случайно. Данный показатель принадлежит разным временным интервалам в зависимости от применяемых складских технологий. Так, при использовании стандартных технологий поиска детали на складе поиск одной детали занимает случайное время, принадлежащее интервалу: от 0.15 до 0.3 часов. При использовании же технологий интернета вещей (технологии RFID) поиск одной детали на складе принадлежит временному интервалу: от 0.033 до 0.067 часов.

Для построения данной модели применялся подход, в котором схема работы модели задается поведением отдельных агентов.

Модель содержит три отдельных вида агентов: Самолет (класс Airplane), который прибывает в аэропорт в случайное время, проходит техническое обслуживание и покидает аэропорт для продолжения выполнения рейсов (см. рис. 1).

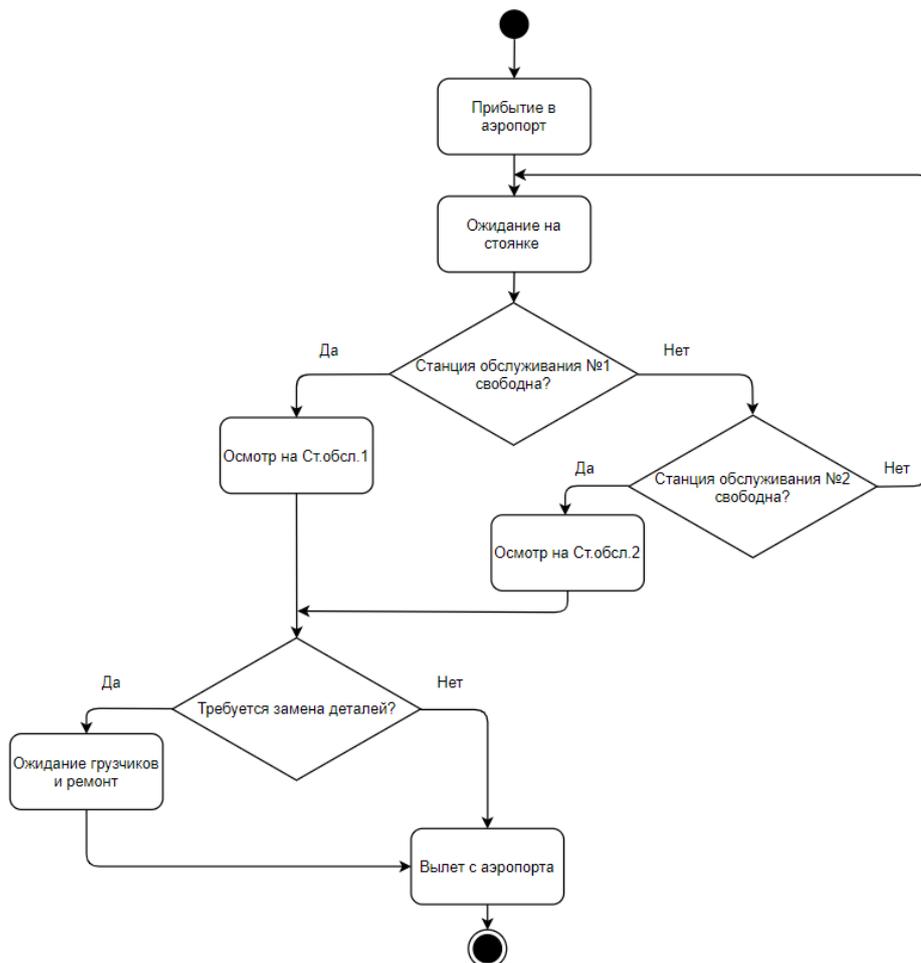


Рис. 1. Диаграмма активностей агента Airplane

Команды грузчиков (класс Loader) при необходимости производят поиск деталей на складе и переносят их к станции технического обслуживания либо информируют об отсутствии нужных запасных частей на складе для организации дальнейшей поставки (см. рис. 2).

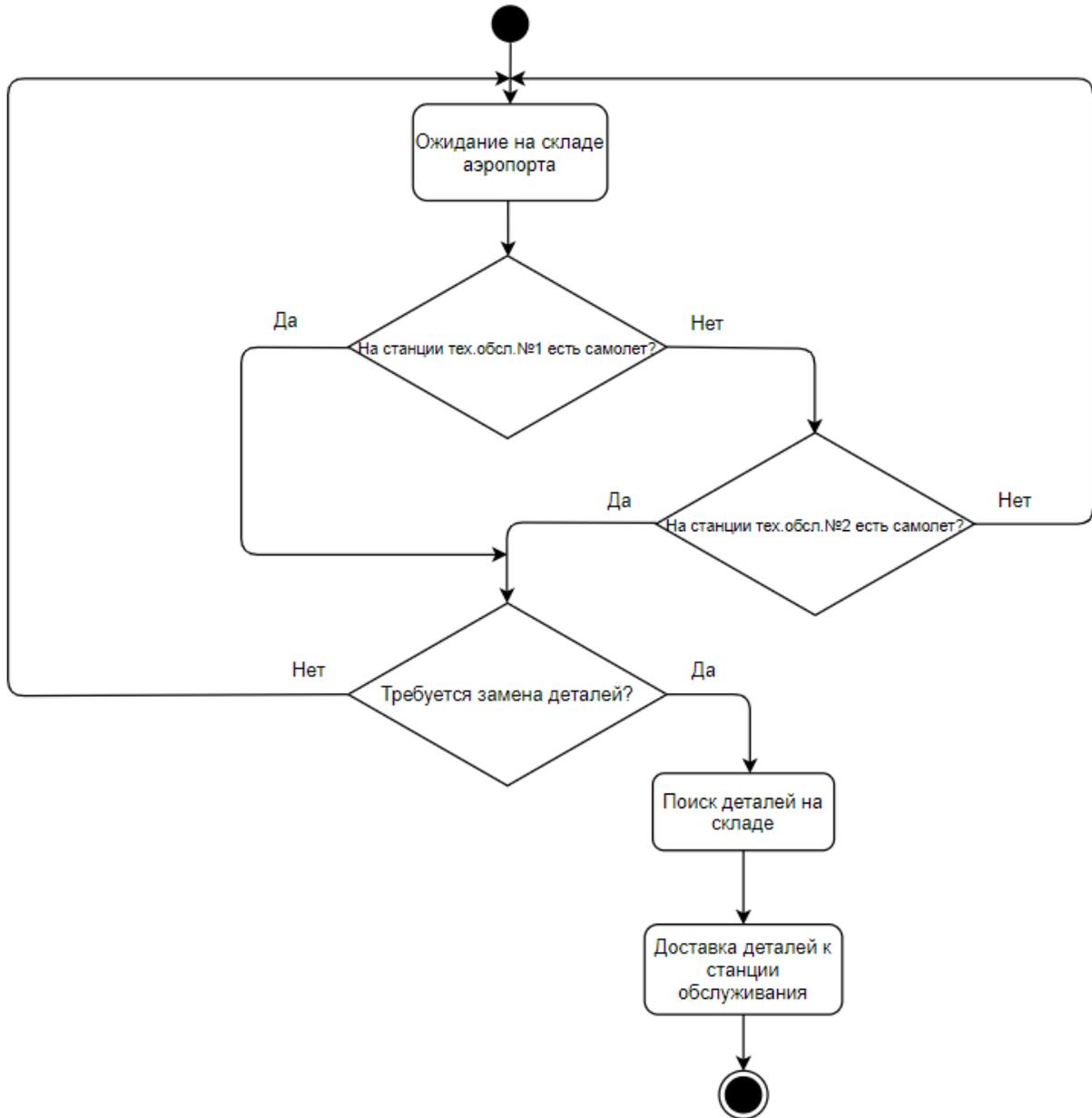


Рис. 2. Диаграмма активностей агента Loader

Грузовик (класс Truck), который при необходимости отправляется на производство, производит загрузку деталей, после чего возвращается в аэропорт и выгружает запасные детали на складе (рис. 3).

В моделях, созданных с применением мультиагентного подхода, есть свои преимущества. Так, у каждого типа агента независимая структура, свойства и поведение, которые описываются диаграммами активностей, набором параметров и действий. Несмотря на то что агенты одного типа имеют

одинаковую структуру, они независимы друг от друга. Благодаря этому существует возможность назначать агентам одного типа индивидуальные свойства.

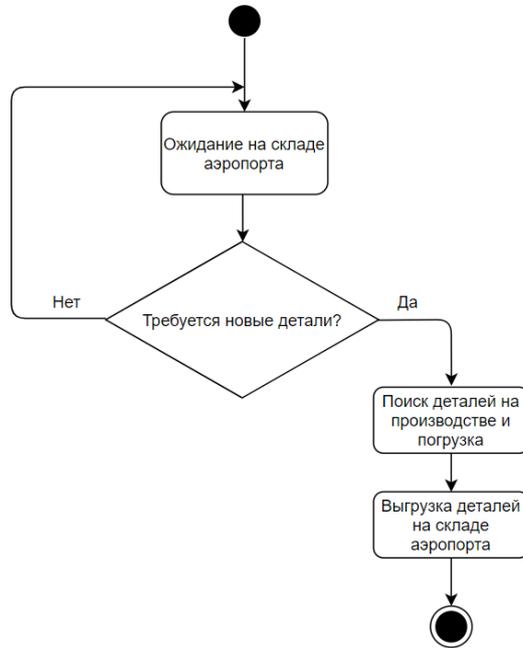


Рис. 3. Диаграмма активностей агента Truck

Так, например, модель можно усложнить, задав несколько видов самолетов. Каждый вид самолета может иметь несколько видов запчастей. В зависимости от детали, время ремонта будет варьироваться (рис. 4).

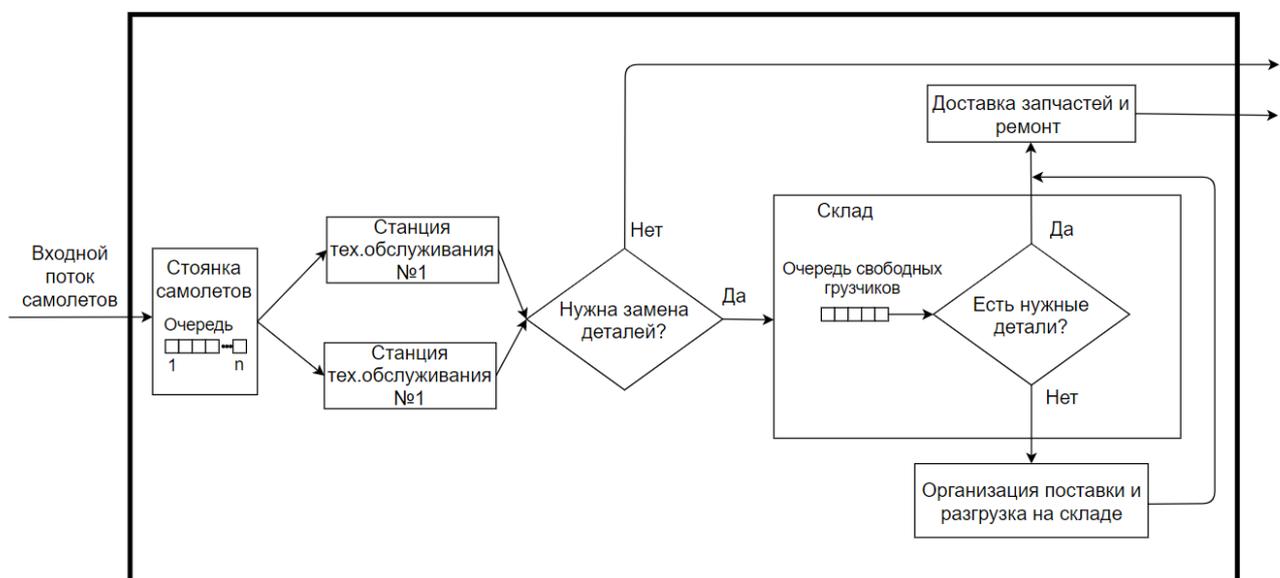


Рис. 4. Структурная схема модели

По отображению временной координаты процесса функционирования моделируемой системы проектируемая ИМ (имитационная модель) относится к классу динамических моделей. Динамические модели воспроизводят процесс функционирования моделируемой системы во времени.

По характеру представления процесса функционирования моделируемой системы во времени проектируемая ИМ относится к дискретным ИМ, поскольку отражает процесс функционирования моделируемой системы дискретно, по отдельно связанным между собой моментам модельного времени, в которые происходят значимые с точки зрения целей исследования изменения состояния системы [8].

По учету стохастических факторов проектируемая ИМ относится к стохастическим, поскольку моделируемая система функционирует в стохастических условиях. Вероятностный характер имеет, например, такой процесс, как вход заявки на обслуживание, то есть прибытие самолета на стоянку аэропорта.

Результаты моделирования

Чтобы сделать вывод об эффективности использования технологий интернета вещей при организации поставок комплектующих для технического обслуживания воздушных судов, произведено 500 прогонов имитационной модели, имитирующих использование стандартных технологий (штрихкод) и технологий IoT (RFID). В ходе прогонов фиксировалось время нахождения каждого из самолетов в аэропорту. После производилось усреднение результатов всех самолетов в рамках одного прогона. С помощью данного метода получен список возможных значений случайной величины x (среднее время пребывания самолета в аэропорту) в рамках текущих параметров модели.

Таким образом, получены данные, отображающие среднее время пребывания самолета в аэропорту при использовании различных параметров модели.

Среднее время нахождения самолета в аэропорту при использовании стандартных технологий равно 48.8482 ч.

Среднее время нахождения самолета в аэропорту при использовании технологий интернета вещей равно 42.3728 ч. В результате выигрыш составил 15%.

Для более наглядного отображения результатов проведенного исследования построены соответствующие гистограммы распределения случайной величины – среднего времени пребывания самолета в аэропорту при прохождении технического обслуживания.

Данный вид гистограммы показывает плотность распределения вероятности случайной величины. Так, по горизонтали графика отображаются равные между собой по длине отрезки, каждый из которых показывает интервал значений, принимаемых рассматриваемой случайной величиной. По вертикали графика отмечается частота данных отрезков (интервалов), то есть

данный показатель отмечает то, сколько раз случайная величина принимала значения, входящие в каждый из интервалов.

Для построения гистограммы распределения случайной величины необходимо определить “оптимальное” количество интервалов. Принято вычислять данный параметр, исходя из количества полученных значений случайной величины, пользуясь правилом Стёрджеса (1):

$$n = 1 + [\log_2 N]. \quad (1)$$

Так как в рамках одного вида параметров модели произведено 500 прогонов, количество интервалов гистограммы (рис. 5, 6, 7, 8) равно 9.

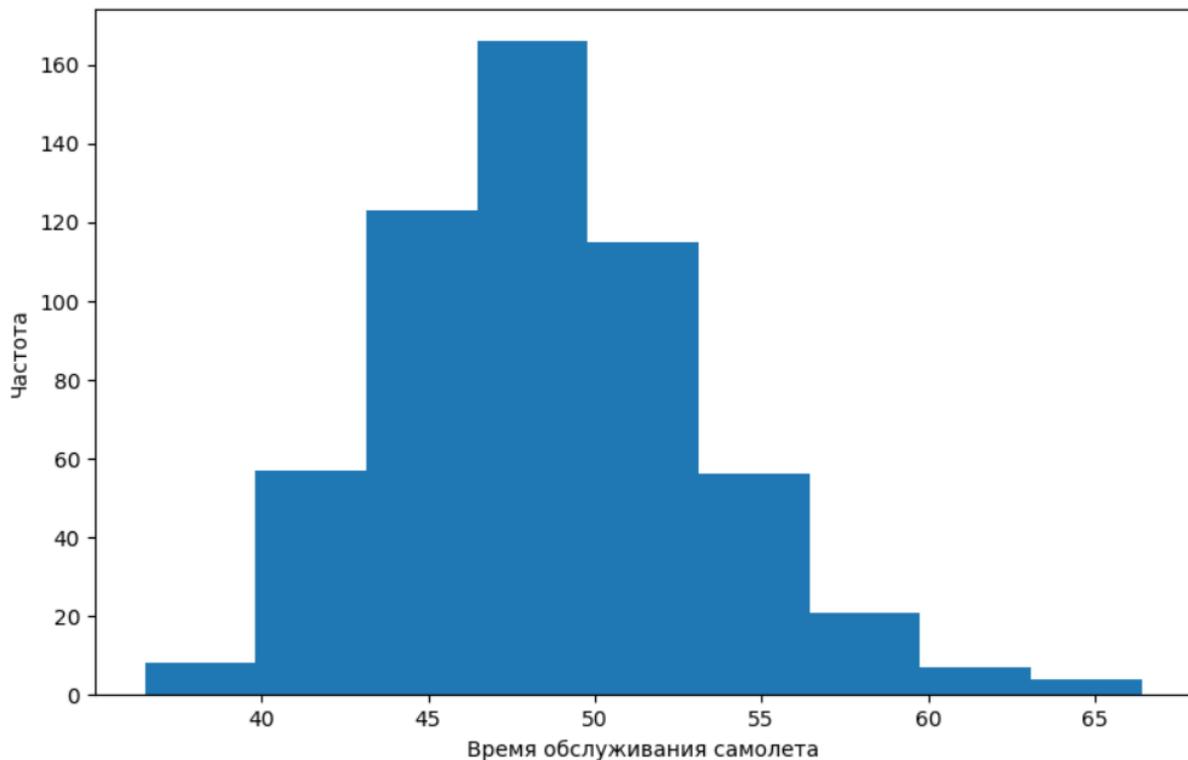


Рис. 5. Применение стандартных технологий

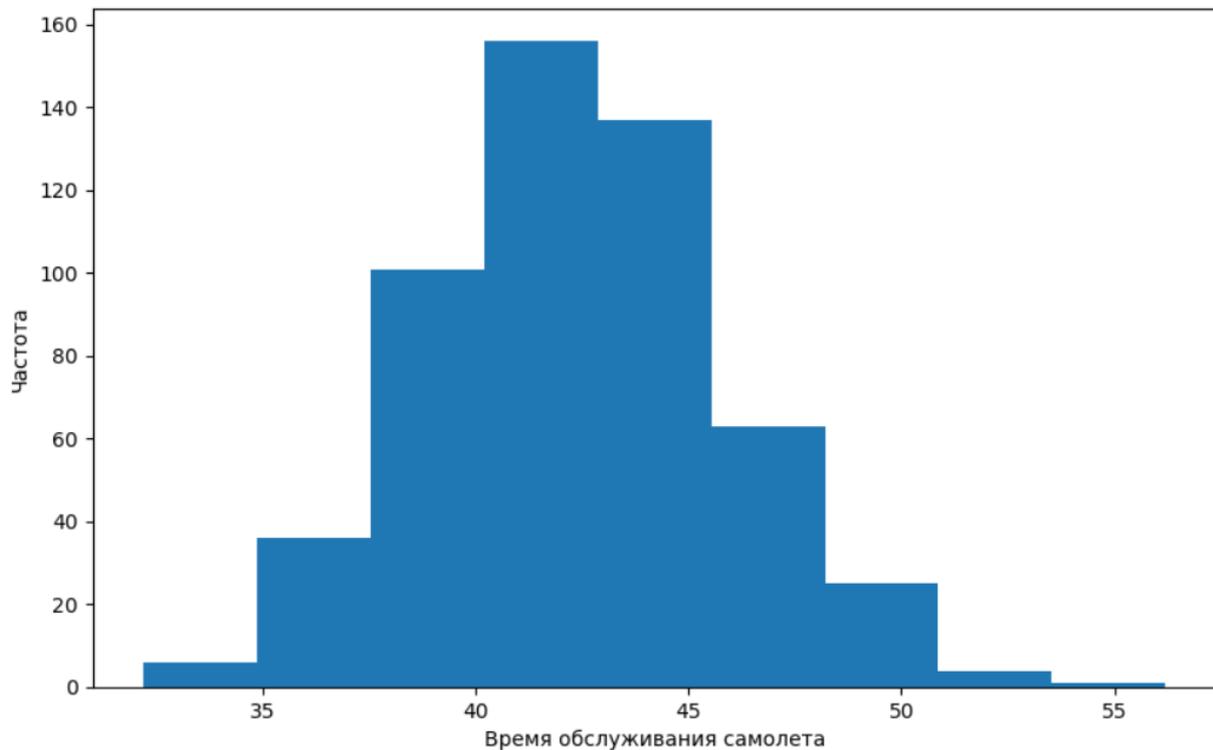


Рис. 6. Применение технологий интернета вещей

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение технологий интернета вещей при работе со складом действительно уменьшает время пребывания самолета в аэропорту. При этом стоит отметить, что разница во времени не такая значительная, как разница в эффективности конкретных технологий. Этот факт объясняется в том числе тем, что в модели применяются 3 команды грузчиков, 2 станции обслуживания, 1 грузовик и 10 самолетов, прибывающих в случайное время. Так, например, можно предположить, что повысить эффективность обслуживания может увеличение количества грузчиков. Также можно предположить, что при тех же параметрах, но большем количестве самолетов (около 100), прибывающих в аэропорт, разница в среднем времени нахождения самолета на земле при применении стандартных технологий и технологий интернета вещей увеличится.

Для проверки данной гипотезы проведены дополнительные прогоны разработанной имитационной модели. Параметры дополнительного эксперимента с применением стандартных технологий и технологий интернета вещей отличаются только числом команд грузчиков. Так, в отличие от прошлых опытов, их число увеличилось с 3 до 5.

Среднее время нахождения самолета в аэропорту при использовании стандартных технологий и работе 5 команд грузчиков вместо 3 равно 49.9248 часов (рис. 7).

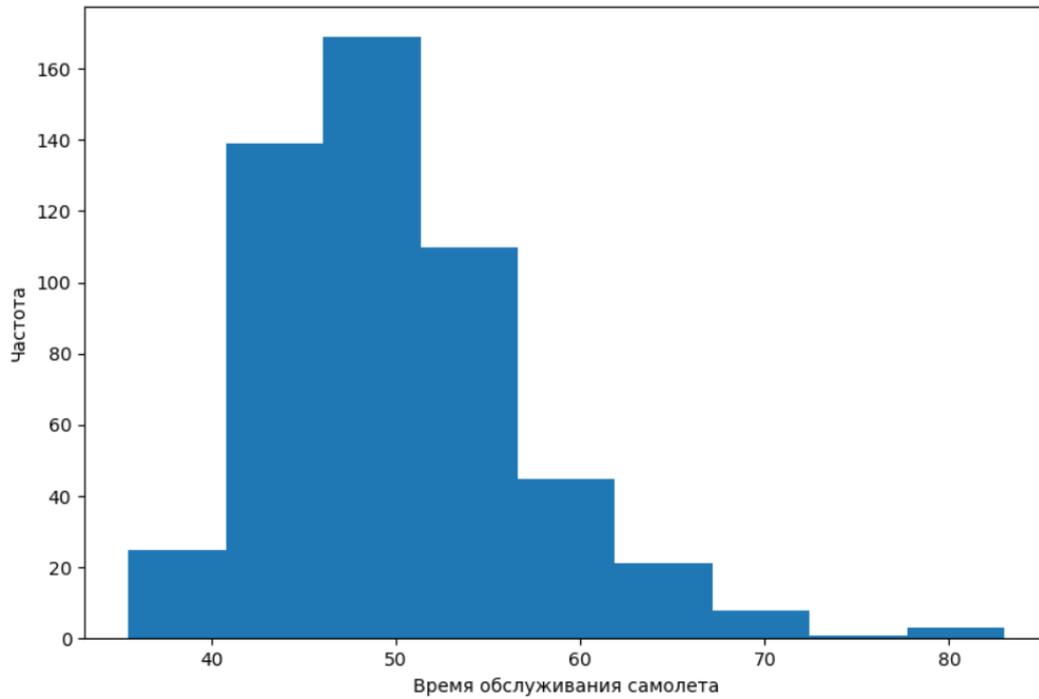


Рис. 7. Стандартные технологии, 5 команд грузчиков

Среднее время нахождения самолета в аэропорту при использовании технологий интернета вещей и работе 5 команд грузчиков вместо 3 команд равно 44.1524 часа (рис. 8). Выигрыш составил 13%.

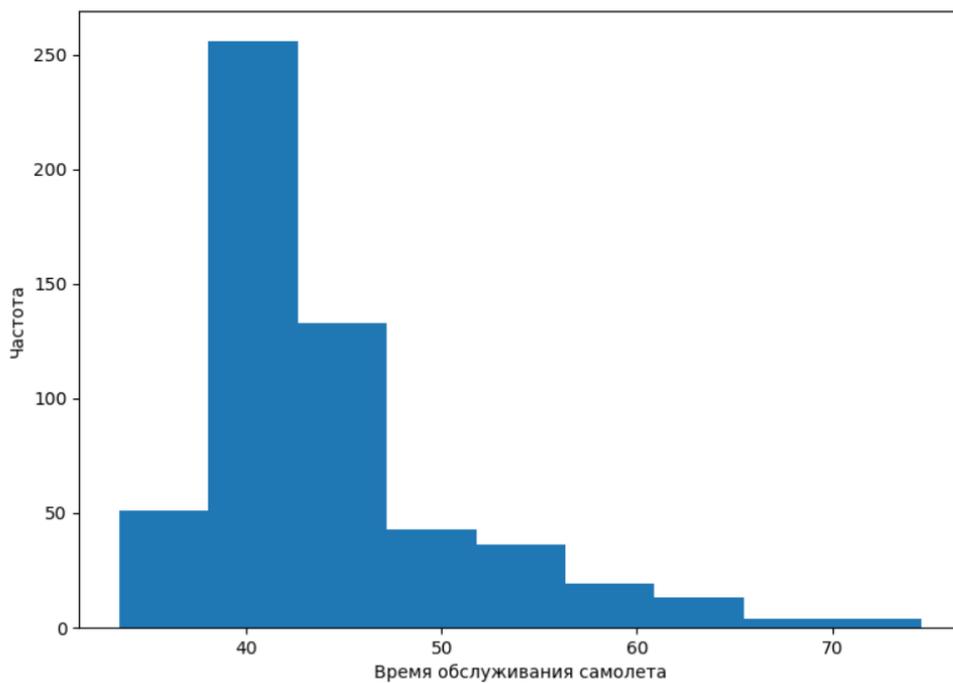


Рис. 8. Технологии интернета вещей, 5 команд грузчиков

Так, проведение эксперимента с применением 5 команд грузчиков вместо 3 команд показало, что разница во времени пребывания самолета на техническом обслуживании относительно используемых складских технологий практически не изменилась. То есть прирост производительности при переходе на технологии IoT в прошлом эксперименте равен значению 1.15. В текущем же эксперименте при увеличении количества команд грузчиков данный показатель равен 1.13.

Проведенные эксперименты позволяют сравнить среднее время пребывания самолета в аэропорту при применении различных параметров технического обслуживания.

Таким образом, можно отметить, что техническое обслуживание воздушных судов наиболее эффективно при использовании технологий Iot (RFID) и работе 3 команд грузчиков. На втором месте по времени обслуживания находится эксперимент, в котором также применялись технологии интернета вещей, но при этом работали 5 команд грузчиков.

Также проведенные эксперименты позволяют отследить, как изменяется время обслуживания каждого из самолетов, последовательно прибывших на техническое обслуживание в зависимости от применяемых технологий и количества команд грузчиков.

Анализ гистограмм позволяет сделать вывод о том, что при проведении всех рассмотренных экспериментов изменение времени обслуживания самолета относительно от времени его прибытия в аэропорт соответствует линейной зависимости.

Описание программы

Решение задачи объединения имитационного моделирования и графического отображения является весьма нетривиальной задачей. Проблема заключается в том, что моделирование с помощью библиотеки SimPy подразумевает инициализацию собственного окружения, с собственным временем моделирования, по которому и происходит синхронизация процессов модели. Этот же фактор позволяет получать достоверные временные характеристики в рамках исследования времени исполнения основных процессов технического обслуживания воздушных судов.

Работа программы в PyGame, в свою очередь, обусловлена главным циклом событий. Идея работы с циклом в данной библиотеке заключается в том, что программа все время своей симуляции проверяет соответствие объектов определенным событиям: нажатие кнопки, расположение, взаимодействие объектов. Поэтому в данном цикле не предусмотрена возможность инициализации своего времени, а также способность объектов ожидать друг друга. В рамках каждой итерации основного цикла происходит перерисовывание объектов по их текущим координатам.

Решение данной проблемы объединения работы двух библиотек заключается в создании модуля с настройками программы: описываем класс

PyGameEnvironment, который в качестве параметра принимает класс создания собственного окружения RealtimeEnvironment, импортированный из библиотеки `simpy.rt`. Данный класс позволяет связать события, происходящие в SimPy, с частотой смены кадров PyGame. Другими словами, теперь события, описанные в двух библиотеках, исполняются в одной временной среде.

Также создан класс `FrameRenderer`, который задает настройки фонового изображения модели, а также предоставляет функции для отображения объектов по их текущим координатам.

В основном модуле программы описываются:

- классы объектов модели;
- вспомогательные функции и классы;
- инициализация графического отображения PyGame;
- инициализация объектов и процессов SimPy.

К классам объектов модели относятся самолеты, работы станции, грузчики, грузовики (см. рис. 9).

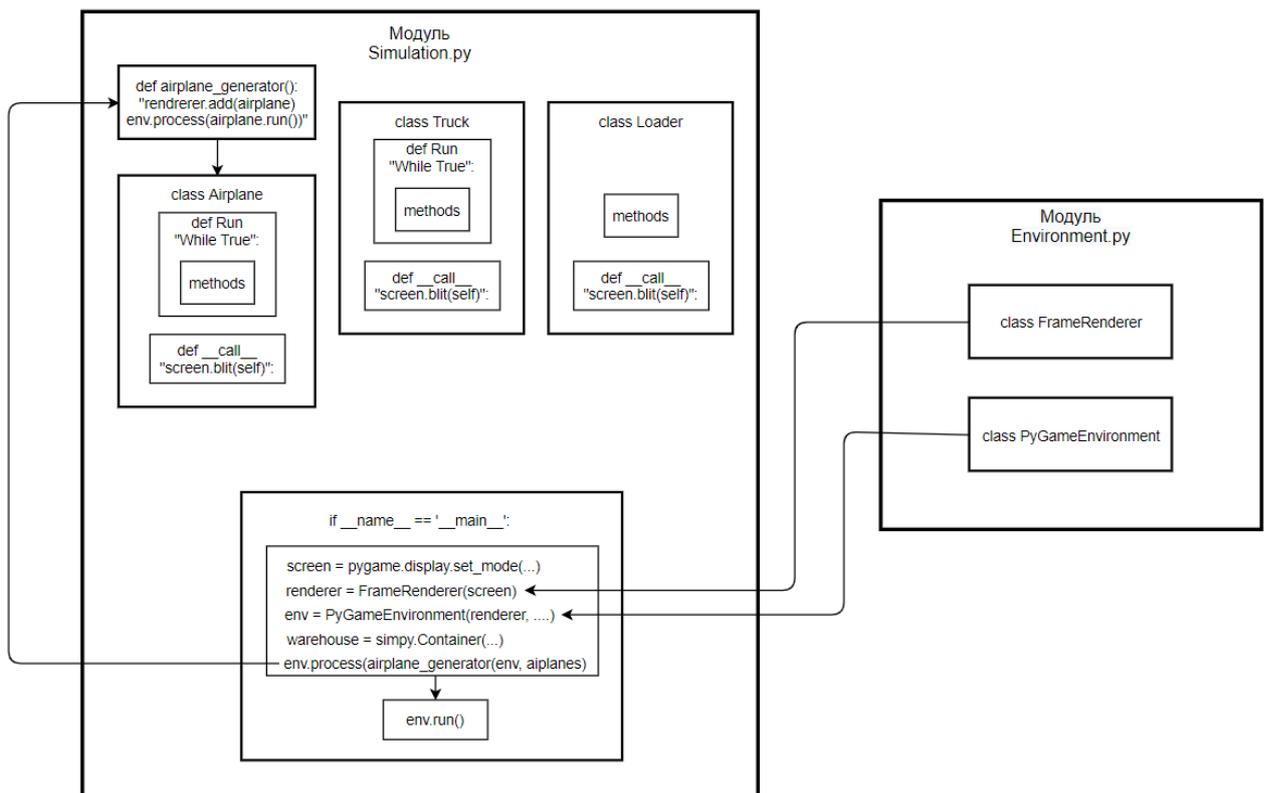


Рис. 9. Схема программы

Каждый из классов содержит информацию о текущих координатах, описание возможных методов в рамках модели, специальный метод `__call__(screen)`, который позволяет при обращении к объекту в модели изображать его по новым координатам. Также обязательно присутствует метод `run`, внутри которого инициализируется бесконечный цикл (что как раз и было

требованием библиотеки PyGame для графического отображения объектов), в котором происходит вызов методов класса в зависимости от условий.

Графическое отображение работы программы представлено на рис. 10.

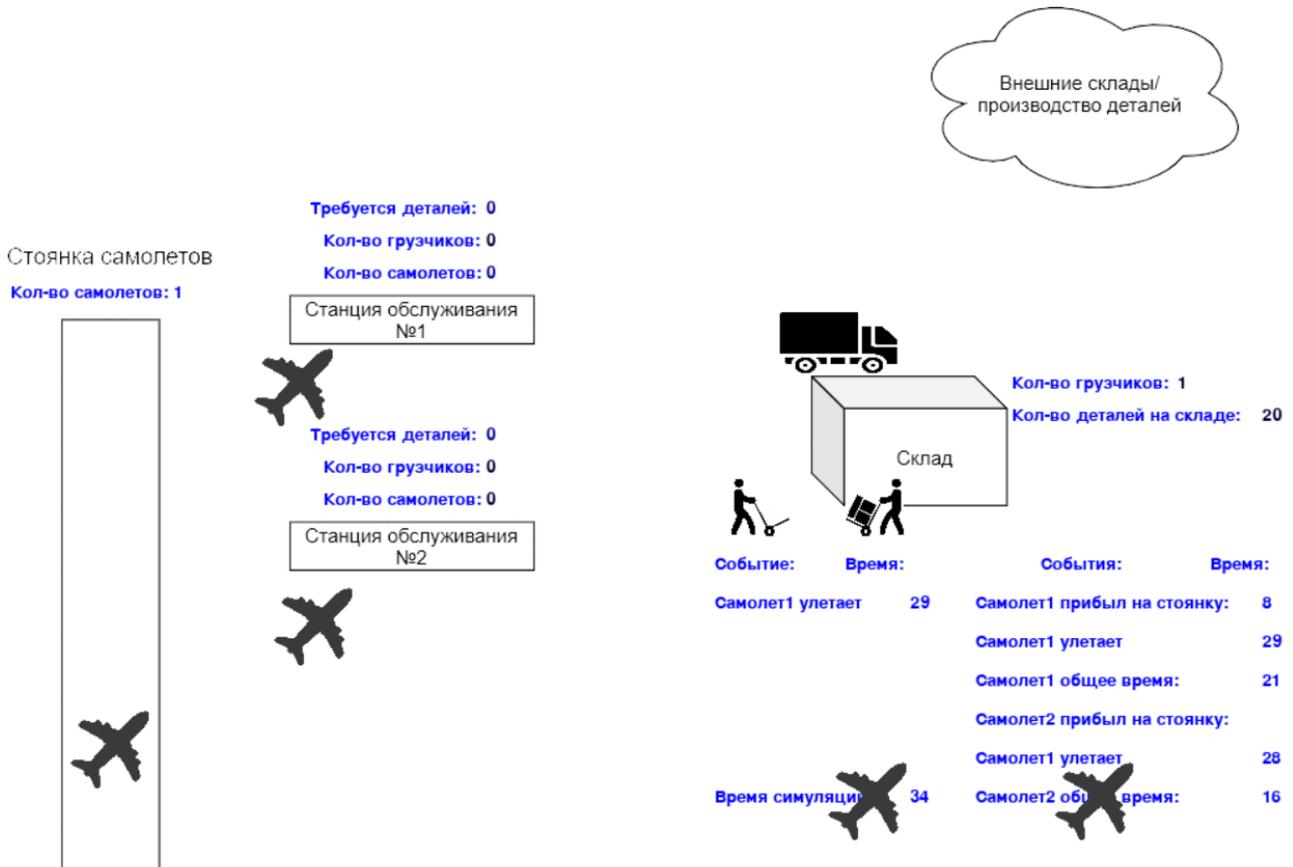


Рис. 10. Модель обслуживания

Заключение

Таким образом, проведенное в текущей работе исследование позволило изучить влияние передовых технологий, а именно технологий интернета вещей, на время обслуживания воздушных судов. Разработанная модель подтверждает гипотезу об уменьшении времени пребывания самолета на земле в случае использования технологии RFID. Также стоит отметить, что использование технологий интернета вещей уменьшает количество контактов между представителями участвующего в обслуживании летательного аппарата персонала, что способствует снижению риска заражения вирусными заболеваниями.

Более того, данная модель предоставляет возможность изменять ее параметры для проведения новых опытов и определять оптимальные параметры обслуживания. Так, было выявлено, что повышение количества команд грузчиков при неизменности остальных параметров не уменьшает время технического обслуживания самолета.

Библиографический список

1. Шваб К., Четвертая промышленная революция – М.: Эксмо, 2016. – 285 с.
2. Грингард, С. Интернет вещей: Будущее уже здесь – М.: Альпина Паблишер, 2016. – 188 с.
3. Пшеничников В., RFID. 1 технология - 1000 решений. Практические примеры использования RFID в различных областях – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 218 с.
4. ГОСТ Р 53863-2010 Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 24 с.
5. Кобелев Н. Б. Имитационное моделирование: Учебное пособие / Н.Б. Кобелев, В.А. Половников, В.В. Девятков; под общ. ред. Н.Б. Кобелева. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2018. – 368 с.
6. Левкин Г. Г. Основы логистики - 3-е изд. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 240 с.
7. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг – СПб.: Питер СПб, 2018. – 464 с.
8. Судаков В.А., Нестеров В.А., Куренных А.Е. Подходы к интеграции систем поддержки принятия решений с имитационными моделями в авиационно-космической отрасли // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017. Труды десятой международной конференции в двух томах. Под общей редакцией Васильева С.Н., Цвиркуна А.Д. 2017. С. 81-88.

Оглавление

Введение	3
Интернет вещей в авиационной отрасли	3
Интернет вещей в техническом обслуживании самолетов на земле	4
Разработка имитационной модели.....	5
Результаты моделирования	11
Описание программы	15
Заключение.....	17
Библиографический список.....	18