

УДК 004.94

Doi: 10.31772/2712-8970-2024-25-4-442-453

Для цитирования: Виртуальная имитация пульта заправки современного гражданского самолёта / Т. Н. Иванилова, Е. В. Кузнецов, А. В. Кушнеров, А. В. Серегин // Сибирский аэрокосмический журнал. 2024. Т. 25, № 4. С. 442–453. Doi: 10.31772/2712-8970-2024-25-4-442-453.

For citation: Ivanilova T. N., Kuznetsov E. V., Kushnerov A. V., Seregin A. V. [Virtual imitation of a fueling panel for modern civil airplane]. *Siberian Aerospace Journal*. 2024, Vol. 25, No. 4, P. 442–453. Doi: 10.31772/2712-8970-2024-25-4-442-453.

Виртуальная имитация пульта заправки современного гражданского самолёта

Т. Н. Иванилова, Е. В. Кузнецов, А. В. Кушнеров, А. В. Серегин*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: sear_ring@mail.ru

В работе рассмотрено проектирование и разработка компьютерной модели пульта контроля и управления заправкой топливом гражданского самолёта Sukhoi SuperJet 100.

В процессе проектирования представленной в статье виртуальной имитационной модели рассмотрены и отобраны компоненты заправочного пульта и системы заправки самолёта SSJ-100, достаточные для дальнейшей программной реализации. Отбор необходимых компонентов для модели проведён, используя метод декомпозиции реальной системы. Сначала были выбраны функциональные элементы непосредственно пульта заправки, после чего разобрана система заправки на компоненты, которые позволяют имитировать работу моделируемого пульта.

Для программной реализации имитационной модели были описаны программные классы объектов и взаимодействия между ними. Программные алгоритмы реализованы в среде Unity с использованием языка C#. Созданная программа использует трёхмерную графическую составляющую и собрана под запуск на web-браузере. Также разработаны программные компоненты, позволяющие изучать функции пульта заправки как самостоятельно, так и в режиме контроля знания элементов и алгоритмов работы с пультом заправки.

Представленная модель включена в программу-тренажёр для обучения технических специалистов навыкам обслуживания самолёта в условиях ограниченного доступа к реальному или аппаратному имитационному оборудованию и используется как часть практического тренажёра в СибГУ им. М. Ф. Решетнёва и может быть функционально расширена в дальнейшем.

Ключевые слова: пульт заправки самолёта, компьютерная имитационная модель, виртуальный тренажёр.

Virtual imitation of a fueling panel for modern civil airplane

T. N. Ivanilova, E. V. Kuznetsov, A. V. Kushnerov, A. V. Seregin*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: sear_ring@mail.ru

The article considers the design and development of a computer model of the fueling monitoring and control panel of the Sukhoi SuperJet 100 civil aircraft. The presented model is included in a simulator program for training technical specialists in aircraft maintenance skills under conditions of limited access to real or hardware-simulated equipment.

In the process of designing of the presented simulation model, the refueling panel and the SSJ-100 aircraft refueling system sufficient components were considered and selected for further software implementation. The selection of the necessary components for the model was carried out using the decomposition method of the real system. First, the functional elements of the refueling panel itself were selected, after which the refueling system was disassembled into components that allow simulating the operation of the simulated panel.

To implement the simulation model, software classes of objects and interactions between them were described. Software algorithms are implemented in the Unity environment using the C# language. The created program uses a three-dimensional graphic component and compiled for launching on a web browser. Software components have also been developed that allow studying the functions of the fueling panel both independently and in the mode of control of knowledge of the elements and algorithms for working with the fueling panel.

The developed model is used as part of a practical simulator at the Reshetnev Siberian State University, and can be functionally expanded in the future.

Keywords: airplane refueling panel, computer imitation model, virtual simulator.

Введение

В данной статье представлены результаты компьютерного моделирования пульта контроля и управления заправкой топливом гражданских самолётов SSJ-100 при наземном обслуживании. Использование реального оборудования для овладения первоначальными навыками техническим персоналом, обслуживающим самолет, может привести к поломкам и неисправностям, а в некоторых случаях может быть травмоопасным для неподготовленного специалиста, к тому же затратно и занимает рабочее время специалиста.

Поэтому актуальной задачей для решения данной проблемы является имитация оборудования гражданского воздушного судна, посредством реализации необходимых тренажёров. В данном случае возникает выбор между реализацией тренажёра на программно-аппаратном комплексе или полностью программном. Наиболее достоверный опыт работы будет получен на тренажёре, использующем аппаратные составляющие, схожие с реальной техникой. Но такой подход может уступать полностью виртуальному комплексу по следующим причинам [1; 2]:

- стоимость реального оборудования достаточно высокая;
- существует необходимость в содержании и поддержании работоспособности оборудования;
- для реального оборудования сложнее увеличить количество экземпляров в отличие от виртуального;
- в режиме дистанционного обучения потенциальный доступ к виртуальному оборудованию не теряется.

Поэтому целесообразным и оправданным решением можно считать полностью виртуальную реализацию тренажера. Более того, полностью виртуальные имитации уже зарекомендовали себя как полноценные средства изучения, исследования и контроля реальных систем в различных отраслях, включая авиационную и авиационно-техническую [3–8], а также могут быть визуально представлены для наглядной демонстрации их работы пользователю [5; 9].

Постановка задачи

В данной работе будет рассмотрена виртуальная реализация непосредственно пульта контроля и управления заправкой и некоторых компонентов системы заправки самолёта, необходимых для имитации работы пульта. Элементы компьютерной модели разрабатываются в виде самостоятельных агентов, со своими функциями и переменными свойствами, которые в дальнейшем реализованы как классы объектов в программной среде.

В первую очередь рассмотрим составляющие пульта заправки самолёта SSJ-100. На нём можно выделить следующие элементы: тумблер включения питания, тумблер проверки индикатора

торов пульты, индикаторы состояния заправочной системы, тумблеры и индикаторы для управления автоматической заправкой, тумблеры и индикаторы для управления ручной заправкой, сливом и перекачкой топлива. Пользователь взаимодействует с этими элементами непосредственно, поэтому они должны быть реализованы в первую очередь.

Следующим этапом является реализация алгоритмов работы нескольких компонентов пульты, которые имитируют работу элементов реальной заправочной системы самолета [10]:

- топливные баки самолёта;
- клапаны заправки и слива топлива;
- система заправки топлива в самолёт и слива топлива;
- датчик требуемого количества топлива;
- система автоматической заправки самолёта;
- проверка светоиндикаторов;
- подача электропитания на различные элементы пульты заправки при его включении.

Далее для компьютерной реализации необходимо создание полноценных трехмерных моделей для составляющих, с которыми взаимодействует пользователь.

И завершающим этапом должна быть разработка обучающих модулей для подготовки технического персонала посредством разработанной виртуальной модели.

Результатом компьютерной реализации пульты контроля и управления заправкой должно быть программное приложение, имитирующее работу пульты, доступное к использованию через глобальную или локальную сеть.

Проектирование имитационной модели

Рассмотрим более подробно составляющие элементы пульты заправки топливом SSJ-100, в частности элементы, с которыми взаимодействует пользователь. Элементы пульты, которые были представлены в предыдущем разделе, можно разделить на три группы: переключательные тумблеры, числовые светоиндикаторы и обычные светоиндикаторы. В конструкции пульты заправки используются двух- и трёхпозиционные тумблеры, которые являются основными элементами подачи команд управления от оператора на систему заправки. При смене положения тумблера на системы пульты заправки посылается команда выполнить определённую процедуру. Выполняемая процедура зависит от того, какой тумблер отправил команду и в каком положении он находится. Светоиндикаторы используются для отображения текущего состояния системы заправки пользователю. На числовых светоиндикаторах отображаются количественные данные системы. Обычные светоиндикаторы переключаются в зависимости от состояния качественных атрибутов системы. Общая схема данного взаимодействия представлена на рис. 1.



Рис. 1. Упрощённая модель взаимодействия пульты управления с системой заправки

Fig. 1. Simplified interaction model of control panel with the fueling system

Блок «Система заправки» необходимо разбить на составляющие элементы и их функции для имитации реальной заправочной системы (рис. 2). В имитации системы заправки используются следующие виртуальные аналоги перечисленных ранее компонентов:

- объекты топливных баков для записи и изменения количества топлива внутри самолёта;
- топливные клапаны, которые можно открывать и закрывать. Данные элементы используются для обозначения, какие топливные баки открыты для заправки и открыт ли клапан слива топлива;
- объект имитации переливания топлива в самолёт. Данный объект предназначен для расчётов скорости изменения количества топлива в баках в зависимости от открытых на данный момент клапанов, а также запуска и остановки процесса переливания топлива в самолёт;
- объект датчика требуемого количества топлива. Используется пользователем для указания системе автоматической заправки количества топлива, которое должно быть в баках самолёта;
- объект имитации системы автоматической заправки. Следит за количеством топлива в баках, открывает и закрывает клапаны, запускает и останавливает топливный поток через объект имитации переливания топлива;
- объект имитации проверки светоиндикаторов пульта заправки. Имеет два режима проверки: проверку всех индикаторов и проверку индикаторов датчиков. При запуске проверки соответствующие светоиндикаторы должны загореться, при отключении проверки светоиндикаторы должны вернуться в нормальное состояние;
- объект для имитации системы подачи питания. При отключенном питании элементы пульта заправки отключаются и не выполняют функции управления системой заправки при вводе пользователя. При включении питания элементы пульта работают нормально.

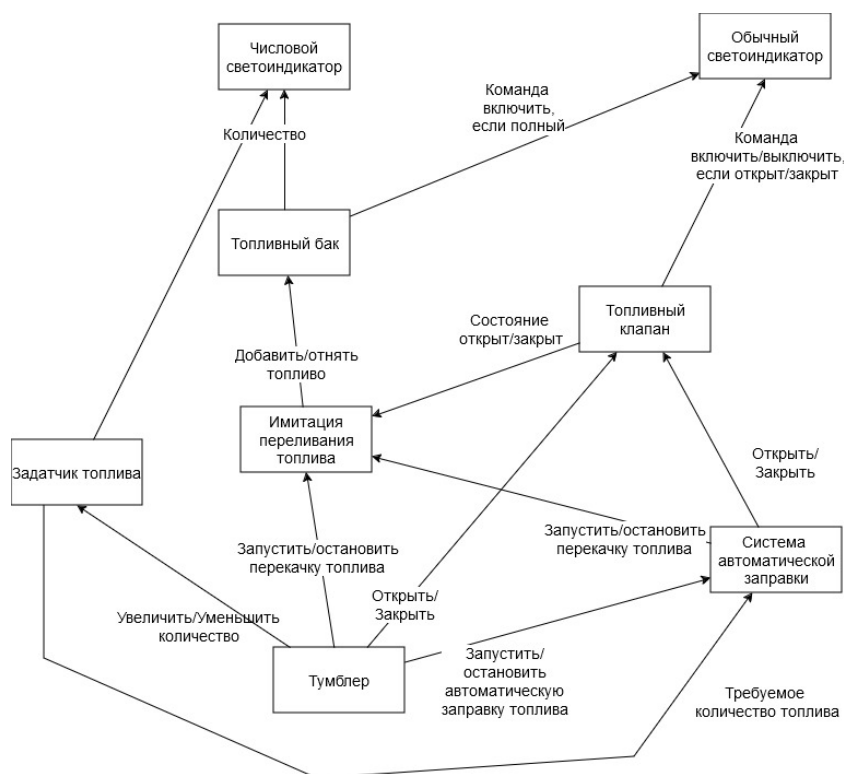


Рис. 2. Схема структуры и связей имитационной модели пульта заправки

Fig. 2. Diagram of structure and interactions of fueling panel imitation model

Также стоит учесть, что разрабатываемая программа должна содержать модули для обучения пользователя знаниям и навыкам работы с пультом управления и контроля заправки. Для упрощения обмена данными между функционально обособленными модулями целесообразно

использовать особый компонент-интерфейс, который позволяет обращаться к некоторым данным и функциям одного из модулей. Поэтому при реализации программы для системы заправки должен быть выбран и реализован такой компонент.

Представленные описания элементов и их связей в дальнейшем используются для выполнения программной реализации имитации пульта.

Программная реализация имитационной модели

В качестве среды для создания виртуального тренажёра использовался программный продукт Unity, созданный компанией Unity Technologies [11]. Выбранное программное решение отлично подходит для моделирования агентных систем и визуальной демонстрации моделей [9]. Данная среда использует язык C# [12] для описания алгоритмов работы различных компонентов разрабатываемой программы и имеет возможность собрать готовое решение под web-платформу на язык JavaScript и с использованием графической библиотеки WebGL [13].

На основе выбранных функций и элементов для виртуального пульта заправки были спроектированы и разработаны следующие классы, имитирующие работу реальной системы контроля и управления заправкой:

- **NumericGauge** – числовые индикаторы, которые сохраняют переданное на него число и визуально отображают с помощью трёхмерных моделей сегментированных цифр, соответствующих реальному индикатору на пульте. Также данные объекты содержат методы для обеспечения функции тестирования светоиндикаторов пульта. При начале проверки индикатора устанавливается логическая переменная, которая заставляет индикаторы всех цифр полностью загораться, соответственно отображая числа из одних восьмёрок. При завершении тестирования числовые индикаторы отображают последнее переданное на них число;

- **Indicator** – световые индикаторы, которые могут быть включены и выключены командой от других объектов имитации. Переданное состояние хранится в переменной объекта и отображается, изменяя яркость материала на трёхмерной модели объекта. При начале тестирования светоиндикаторы загораются, при завершении тестирования – отображают последнее переданное на них состояние;

- **TumblerTwoWay** и **TumblerThreeWay** – классы, реализующие двух- и трёхпозиционные переключатели соответственно. Двухпозиционные переключатели изменяют своё положение при обычном нажатии мышкой. Трёхпозиционные изменяют положение при зажатии мыши и перемещении вверх вниз. При изменении своего положения на объекте переключателя срабатывает событие, соответствующее новому положению переключателя. К каждому из событий прикреплены различные методы и функции других объектов реализации имитации, которые запускаются при срабатывании событий. Функции и методы прикрепляются к событиям в зависимости от того, какому переключателю и его положению соответствует событие;

- **FuelTank** – класс, реализующий три топливных бака самолёта. Содержат данные о текущем, минимальном и максимальном количестве топлива и методы для добавления и вычитания текущего количества топлива в бак. При изменении количества топлива передают новое значение на соответствующие индикаторы пульта заправки;

- **FuelValve** – реализация топливных клапанов самолёта. Три клапана для закачки топлива в самолёт и один для слива топлива. Управляются двухпозиционными тумблерами и отображают состояние открыт/закрыт на обычные светоиндикаторы;

- **FuelFlow** – объект для имитации процессов переливания топлива в самолёт. Запускает и останавливает процесс переливания топлива при переключении соответствующего переключателя или по командам системы автоматической заправки. Выполняет различные операции переливания топлива в зависимости от открытых на данный момент топливных клапанов. Если открыты только клапаны топливных баков, то происходит закачивание топлива в соответствующие баки. Если открыт только клапан слива, то происходит слив топлива из самолёта. Другие конфигурации приводят к перекачиванию топлива из баков с закрытыми клапанами в баки с открытыми;

– PreselectFuel – объект управления задатчиком требуемого количества топлива. Хранит в себе требуемое количество топлива. Изменяет это количество при перемещении трёхпозиционного переключателя. Требуемое количество топлива отображается на числовом индикаторе на пульте;

– AutoFueling – класс, имитирующий работу системы автоматической заправки самолёта. Открывает клапаны и запускает имитацию переливания топлива, чтобы равномерно заполнить топливные баки до количества, указанного через датчик;

– PowerSystem и IPower – классы, имитирующие подачу электропитания на различные элементы пульта заправки при его включении. IPower – интерфейс, содержащий методы для получения сигнала о том, что на элемент пульта подаётся питание. Этот интерфейс реализован на всех элементах пульта и изменяет переменную, обозначающую, что на данный элемент подаётся питание. При отсутствии питания на переключателях, на них не срабатывают события для управления системой заправки. При отсутствии питания на светоиндикаторах, они перестают отображать подаваемую на них информацию. Объект PowerSystem содержит в себе ссылки на все объекты, реализующие IPower, и подаёт команду на включение/выключение. Подача питания контролируется через единственный переключатель, который не управляется от PowerSystem;

– PanelTest – класс, который управляет проверкой работоспособности светоиндикаторов пульта. Может включить проверку на всех светоиндикаторах либо только тех, которые должны быть подключены к датчикам топливной системы. Управляется через трёхпозиционный переключатель;

– FuelSystem – класс-фасад [14], который ссылается на остальные классы системы подачи топлива и пульта заправки и используется для управления и извлечения данных о текущем состоянии системы заправки из единого интерфейса. Данный объект предназначен для упрощения доступа каких-либо других компонентов программы к данным и функция имитации пульта и топливной системы.

На рис. 3 представлено описание программной системы с помощью UML-диаграммы классов для вышеописанных классов.

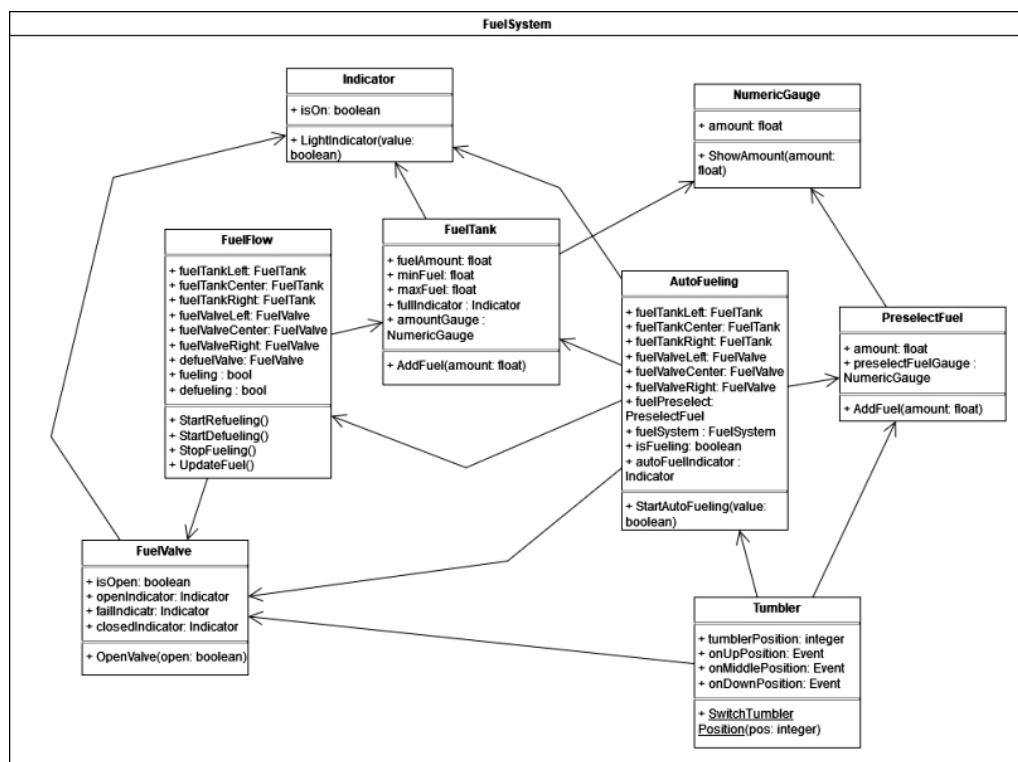


Рис. 3. Классовая UML схема имитации пульта заправки

Fig. 3. Class UML diagram of fueling panel imitation

Представленные компоненты были реализованы в виде программных алгоритмов на языке C# и прикреплены к объектам трёхмерной модели пульта контроля и управления заправкой топливом в среде Unity (рис. 4), для имитации его работы. Модели трёхмерных объектов были разработаны с использованием программы Blender, разработанной Blender Foundation [15].

На разработанной модели пульта можно проводить операции по ручной заправке (рис. 5), автоматической заправке (рис. 6), сливу топлива (рис. 7) и переливанию топлива между баками (рис. 8).



Рис. 4. Трёхмерная модель пульта заправки в программе

Fig. 4. 3D-model of fueling panel in program



Рис. 5. Шаги выполнения ручной заправки

Fig. 5. Manual refueling steps



Рис. 6. Шаги выполнения автоматической заправки

Fig. 6. Automatic refueling steps



Рис. 7. Шаги процедуры слива топлива

Fig. 7. Defueling procedure steps



Рис. 8. Шаги процедуры переливания топлива между баками

Fig. 8. Fuel transfusion between tanks procedure steps

Практическое применение

В настоящее время представленная имитационная модель используется в тренажёре «Пульт контроля и управления заправкой топлива Sukhoi Superjet 100» [16]. В данной программе содержатся программные компоненты для выполнения двух типов заданий: изучение элементов заправочного пульта и алгоритмы работы с пультом контроля и управления заправкой топлива. Каждый тип заданий содержит обучающий и проверочный режим.

Первый тип задания используется для изучения элементов пульта и их расположения. В обучающем режиме данного задания пользователь может нажать на каждый из элементов пульта, чтобы получить его описание. В проверочном режиме наоборот пользователю даётся описание элемента, который необходимо найти на пульте. Изучение элементов заправочного пульта происходит с помощью модуля изучения StudySystemManager (рис. 9). Данный класс отслеживает взаимодействие пользователя с объектами StdudyObject, которые прикреплены к соответствующим элементам трёхмерной модели пульта заправки. Обработка взаимодействий пользователя с этими объектами делегируется двум реализациям класса IStudySystem: одна для обучающего режима, другая для проверочного.

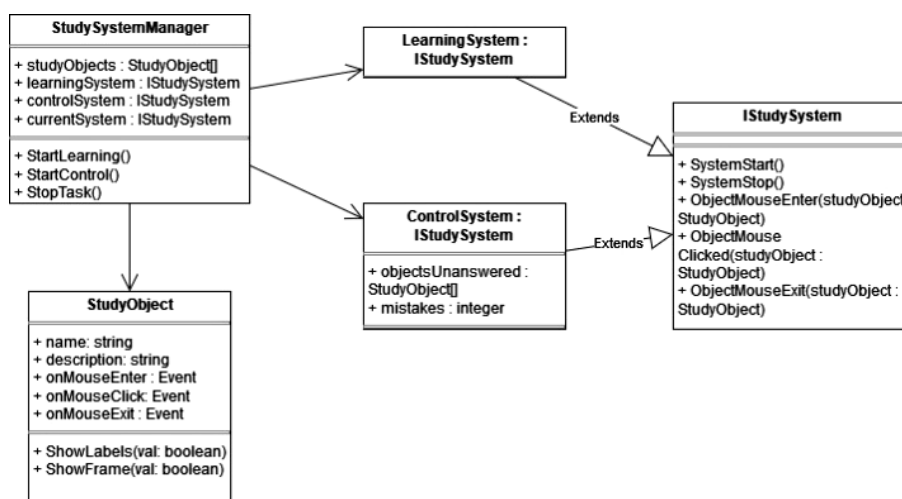


Рис. 9. Схема системы изучения элементов пульта заправки

Fig. 9. Fueling panel elements study system diagram

В заданиях на изучение алгоритмов пользователю предоставляется возможность сначала изучить различные алгоритмы заправки, слива и переливания топлива в самолёт, после чего контрольно выполнить эти алгоритмы с минимальным количеством пояснений. Для выполнения данных функций модуль изучения алгоритмов работ разбит на 4 типа объектов (рис. 10):

- TasksController используется для инициализации и завершения текущего задания и сбора данных о состоянии системы заправки через объект FuelSystem;

- TasksHolder – это объекты, которые соответствуют одному алгоритму работы с пультом (заданию). Содержат в себе перечень задач, необходимых для выполнения задания, а также методы управления ими;

- Task – одна из задач, которые необходимо пройти, чтобы выполнить алгоритм работы. Содержит перечень подзадач и методы управления и отображения выполнения задачи. Задача считается засчитанной, если выполнены все её подзадачи;

- TaskGoal – класс подзадачи, который содержит в себе название одной из переменных имитации топливной системы типа перечисления FieldName и её требуемое значение. Для разделения логики работы с различными переменными от данного класса произведены два других: BoolTaskGoal для логических переменных и FloatTaskGoal для числовых переменных. Объекты этого класса получают текущее значение переменной системы заправки через функции

GetBoolFieldByName для логических переменных и GetFloatFieldByName для вещественных из объекта FuelSystem. Далее подзадача помечается как выполненная, если требуемое значение переменной достигнуто внутри топливной системы и остаётся таковой в течение определенного промежутка времени.

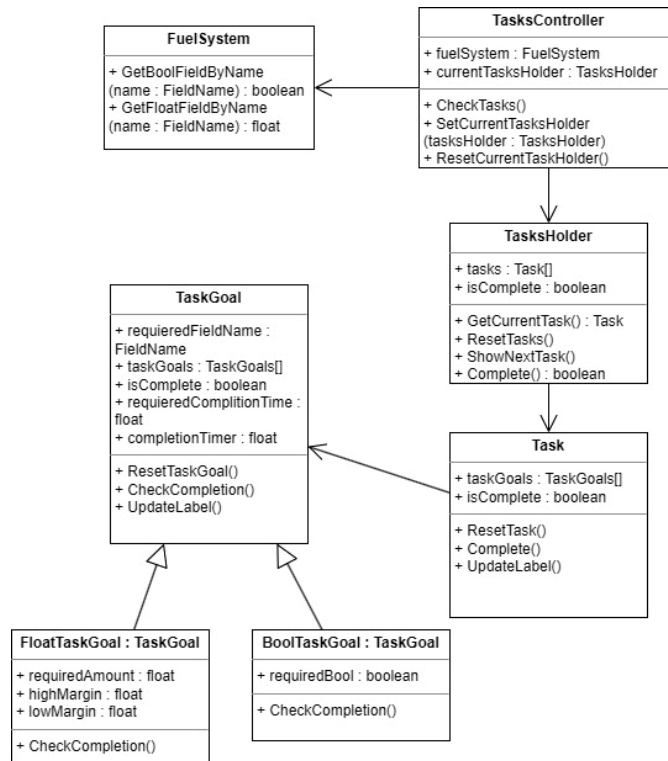


Рис. 10. Схема системы обучения алгоритмами работы с пультом

Fig. 10. Diagram of study system for fueling panel work algorithms

Представленный способ использования разработанной имитационной модели пульта заправки является одним из потенциально возможных. По необходимости программную модель можно доработать для выполнения других задач.

Заключение

В работе рассмотрена виртуальная имитационная модель пульта контроля и управления заправкой самолёта Sukhoi Superjet 100. Проведено проектирование архитектуры системы, её компонентов и связей взаимодействия между ними. Согласно предложенной архитектуре, разработана программная реализация имитационной модели с использованием средств среды Unity под web-платформу. Данное программное решение выполнено в форме тренажёра, содержащего компоненты для изучения элементов и алгоритмов работы пульта заправки, а также контроля этих знаний. На данный момент разработанное решение используется в СибГУ им. М. Ф. Решетнева как виртуальный лабораторный практикум дисциплины «Горюче-смазочные материалы» для направления подготовки 25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей». В дальнейшем представленную имитационную модель можно расширить для выполнения других задач.

Библиографические ссылки

1. Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // Вопросы образования. 2020. № 3. С. 255–270.

2. Анализ использования виртуальных тренажеров в образовании / А. В. Ключиков, С. С. Елисеев, Ю. Н. Грепечук и др. // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки : материалы Региональной науч.-техн. конф. (13–17 февраля 2023, г. Саратов) / в авторской редакции ; ФГБОУ ВО Вавиловский ун-т, 2023. С. 97–103.
3. Козлова И. А., Смирнов Д. С. Сущность имитационного моделирования и перспективы его развития // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 8 (77). С. 119–133.
4. Александрова А. В., Носов В. К. Цифровые технологии и инструментарий моделирования в создании авиационно-космической техники // Тенденции развития экономики и промышленности в условиях цифровизации : моногр. СПб., 2017. Гл. 5. § 5.1. С. 567–585.
5. Федоров А. С. Компьютерное проектирование шарнирно-рычажного механизма // Гении Подмоскovie : сб. науч. тр. по материалам фестиваля науки (28 ноября 2020, г. Москва). М. : Науч. кон-т, 2020. С. 190–202.
6. Максименко В. Г. Развитие подходов к проектированию авиационной техники на основе применения технологий компьютерного моделирования // Управление социально-экономическими системами: направления развития, вызовы и возможности : сб. материалов науч. сем. (26 апреля 2021, г. Таганрог). Таганрог : Юж.федер. ун-т, 2021. С. 23–26.
7. Еремин А. И., Лебедев Г. Н., Чехов И. А. Система автоматизированного предупреждения опасных ситуаций при заходе самолета на посадку перед началом снижения по глиссаде // Научный вестник Московского гос. технич. ун-та гражд. авиац. 2016. № 226(4). С. 90–100.
8. Имитационная модель радиолокационной обстановки интеллектуальной системы управления распределенными средствами радиолокационных станций / М. Б. Сергеев, А. А. Сенцов, Е. К. Григорьев и др. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 3(30). 1/17–17/17.
9. Мамонов А. А. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования // Математическое и программное обеспечение информационных, технических и экономических систем : материалы IX Междунар. науч. конф. (26–28 мая 2022, г. Томск) / под общ. ред. И. С. Шмырина ; Томский государственный университет, 2022. С. 282–289.
10. Sukhoi Superjet 100: руководство по технической эксплуатации RRJ-95. М. : ГСС, 2014. 872 с.
11. Движок Unity [Электронный ресурс]. URL: <https://unity.com/ru/products/unity-engine> (дата обращения: 23.10.2024).
12. Unity Manual WebGL [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/webgl.html> (дата обращения: 23.10.2024).
13. Руководство по программированию на C# [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/> (дата обращения: 23.10.2024).
14. Фасад (Facade) [Электронный ресурс] // Сайт о программировании METAINT.COM. 2015. URL: <https://metanit.com/sharp/patterns/4.3.php> (дата обращения: 23.10.2024).
15. Blender [Электронный ресурс]. URL: <https://www.blender.org/> (дата обращения: 23.10.2024).
16. Портал электронно-дистанционного обучения СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Web-тренажеры [Электронный ресурс]. URL: <https://el.sibsau.ru/page/three-d-simulators> (дата обращения: 23.10.2024).

References

1. Dudyrev F. F., Maksimenkova O. V., [Simulators and training programs in professional education: pedagogical and technological aspects]. *Voprosy obrazovaniya*. 2020, No. 3, P. 255–270 (In Russ.).
2. Klyuchikov A. V., Eliseev S. S., Grepechuk Yu. N., Tsagareishvili M. R. [Analysis of the use of virtual simulators in education]. *Problemy i perspektivy razvitiya APK: tekhnicheskie i sel'skokhozyaystvennyye nauki : materialy regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konf.* [Problems and develop-

ment perspectives of Industrial Agriculture : works of Reg. Sci-Prac. Conf.] Saratov, 2023, P. 97–103 (In Russ.).

3. Kozlova I. A., Smirnov D. S. [The essence of simulation modeling and prospects for its development]. *Vestnik nauki*. 2024, Vol. 1, No. 8 (77), P. 119–133 (In Russ.).

4. Aleksandrova A. V., Nosov V. K. [Digital technologies and instrumentation modeling in the creation of aviation and space technology]. *Tendentsii razvitiya ekonomiki i promyshlennosti v usloviyakh tsifrovizatsii*. 2017, P. 567–585. Doi 10.18720/IEP/2017.6/23.

5. Fedorov A. S. [Computer design of a hinge-lever mechanism]. *Genii Podmoskov'ya : Sbornik nauchnykh trudov po materialam festivala nauki* [Geniuses of science : Comp. of Sci. Proc. of Scientific Festival]. 2020, P. 190–202.

6. Maksimenko V. G. [Development of approaches to the design of aviation equipment based on the use of computer modeling technologies]. *Upravlenie sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami : napravleniya razvitiya, vyzovy i vozmozhnosti : sbornik materialov nauchnogo seminara* [Management of socio-economic systems : directions of development, challenges and opportunities : collection of materials of a scientific seminar]. 2021, P. 23–26 (In Russ.).

7. Eremin A. I., Lebedev G. N., Chekhov I. A. [Automatic warning system for hazardous situations during aircraft approach to landing before the start of descent along the glide path]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii*. 2016, No. 226 (4), P. 90–100 (In Russ.).

8. Sergeev M. B., Sentsov A. A., Grigor'ev E. K., Nenashev S. A. [Simulation model of the radar environment of the intelligent control system of distributed means of radar stations]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii*. 2020, Vol. 8, No. 3(30) (In Russ.). Doi: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.038.

9. Mamonov A. A. [Comparative analysis of simulation modeling systems]. *Materialy IX mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Matematicheskoe i programmnoe obespechenie informatsionnykh, tekhnicheskikh i ekonomicheskikh sistem"* [Proc. 9th Inter. Sci. Conf. "Mathematics and software for information, technical and economic systems"]. Tomsk, 2022, P. 282–289 (In Russ.).

10. *Sukhoi Superjet 100 : rukovodstvo po tekhnicheskoy ekspluatatsii RRJ-95*. [Sukhoi Superjet 100: RRJ-95 technical operation manual]. Moscow, GSS Company Publ., 2014, 872 p.

11. Unity engine. Available at: <https://unity.com/ru/products/unity-engine> (accessed: 23.10.2024).

12. Unity Manual WebGL Available at: <https://docs.unity3d.com/Manual/webgl.html> (accessed: 23.10.2024).

13. C# documentation. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/> (accessed: 20.02.2024).

14. Facade Programming (In Russ.). Available at: <https://metanit.com/sharp/patterns/4.3.php> (accessed: 23.10.2024).

15. Blender. Available at: <https://www.blender.org/> (accessed: 23.10.2024).

16. *Portal elektronno-distanttsionnogo obucheniya SibGU im. M. F. Reshetneva. Web-trenazhery* [Digital distant education portal of Reshetnev Siberian State University] (In Russ.). Available at: <https://el.sibsau.ru/page/three-d-simulators> (accessed: 23.10.2024).

© Иванилова Т. Н., Кузнецов Е. В., Кушнеров А. В., Серегин А. В., 2024

Иванилова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной математики, начальник управления информационно-коммуникационных образовательных технологий; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ivanilovatn@sibsau.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1202-6609>

Кузнецов Евгений Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, директор института гражданской авиации и таможенного дела; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kuznetsoff@sibsau.ru. <https://orcid.org/0009-0003-3999-4436>

Кушнеров Алексей Владимирович – заведующий сектором разработки мультимедийного контента, отдел разработки электронно-образовательных ресурсов, управление информационно-коммуникационных образовательных технологий; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kushnerov_av@sibsau.ru. <https://orcid.org/0000-0002-5384-6099>

Серегин Александр Валерьевич – магистр; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sear_ring@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7047-2466>

Ivanilova Tat'yana Nikolaevna – Cand. Sc., Associate Professor, Head of Department of Information and Communication Technologies in Education; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: ivanilovatn@sibsau.ru. <https://orcid.org/0000-0002-1202-6609>

Kuznetsov Evgeniy Valer'evich – Cand. Sc., Associate Professor, Director of the Institute of Civil Aviation and Customs Affairs; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: kuznetsoff@sibsau.ru. <https://orcid.org/0009-0003-3999-4436>

Kushnerov Aleksey Vladimirovich – Head of the Multimedia Educational Content Development Sector, Electronic Educational Resources Development Department, Department of Information and Communication Technologies in Education; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: kushnerov_av@sibsau.ru. <https://orcid.org/0000-0002-5384-6099>

Seregin Aleksandr Valer'evich – Master's Degree Student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: sear_ring@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7047-2466>

Статья поступила в редакцию 02.11.2024; принята к публикации 11.11.2024; опубликована 26.12.2024

The article was submitted 02.11.2024; accepted for publication 11.11.2024; published 26.12.2024