

Труды МАИ. 2022. № 123

Trudy MAI, 2022, no. 123

Научная статья

УДК 371.693.4

DOI: [10.34759/trd-2022-123-20](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-20)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАТОРА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНДИКАТОРА САМОЛЁТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Алексей Сергеевич Князев¹ , Алексей Сергеевич Антоненко²,


Егор Денисович Арбузов³, Александр Дмитриевич Чеботарёв⁴

^{1,3,4}Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков имени героя
Советского Союза А.К. Серова, (КВВАУЛ),

Краснодар, Россия

²Компания «3В Сервис»,

Москва, Россия

¹  agent-483@yandex.ru

²a.antonenko@3v-services.com

³arbuzz04@gmail.com

⁴alexchebotarev@gmail.com

Аннотация. Кабины современных воздушных судов (ВС) оснащены многофункциональными индикаторами (МФИ). В настоящее время МФИ используются не только в качестве индикаторов для отображения информации, но и в качестве пультов управления для ввода исходных данных во время предполётной

подготовки, а также для проверки исправности бортовых систем и комплексов. В статье рассматривается вопрос повышения наглядности и эффективности обучения курсантов-лётчиков путём использования в учебном процессе вуза имитатора отдельного элемента кабины ВС - многофункционального индикатора, который позволяет обучающимся выработать необходимые практические навыки по работе с комплексом бортового оборудования.

Ключевые слова: тренажёрный имитатор, многофункциональный индикатор, SimInTech, X-Plane

Для цитирования: Князев А.С., Антоненко А.С., Арбузов Е.Д., Чеботарёв А.Д. Использование имитатора многофункционального индикатора самолёта в учебном процессе вуза // Труды МАИ. 2022. № 123. DOI: [10.34759/trd-2022-123-20](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-20)

THE USE OF A MULTIFUNCTIONAL AIRCRAFT INDICATOR SIMULATOR IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Alexey S. Knyazev^{1✉}, Alexey S. Antonenko², Egor D. Arbuzov³,
Alexander D. Chebotaryov⁴

^{1,3,4}Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots,
Krasnodar, Russia

²Kompani «3V-services», Moscow, Russia

^{1✉} agent-483@yandex.ru

² a.antonenko@3v-services.com

³ arbuzz04@gmail.com

Abstract. The experience of education program mastering by the students of aviation universities reveals that constant contact, physical or visual, with aviation engineering is necessary for apprehending the operation principles of the aircraft aggregates and systems. In some cases, training becomes extremely difficult or ineffective until the aggregates and systems being described are shown in operation, in progress. The educational material presentation employing posters or slides with diagrams, graphs and static images does not allow the students to form an understanding and perception of the material being presented to the full.

The cockpits of modern aircraft are equipped with multifunctional indicators (MFI), through which the crew interacts with the onboard complex. Working with the MFI prior to the flight allows making a flight route, enter the targets coordinates, landmarks, and radio beacons. Application of the MFI in flight allows the crew to solve the tasks of piloting, navigation and combat employment, providing the necessary information for this. In this regard, it is necessary to pay more attention to learning how to work with multifunctional indicators when mastering modern types of aircraft.

The best way to learn is training on real technical facilities. An alternative option consists in employing aviation simulators. However, they are rather expensive and require qualified maintenance. Besides, their placement requires a separate area in specially equipped premises with electric power and/or hydraulic power installations, as well as other necessary equipment.

The article considers the issue of obviousness and effectiveness increase of cadet-

pilots training by employing separate cockpit element simulator in the educational process, namely multifunctional indicator, which allows cadets to choose necessary practical skills for working with the onboard equipment complex.

To introduce the MFI simulator into the educational process, information frames of the central information system (CIS) of the DA-42T aircraft were reproduced. The content of the developed CIS frames on the MFI simulator reproduces completely the indication in the DA-42T aircraft, contributing to the training quality improving and developing practical skills for working with CIS through the MFI in a real object (DA-42T aircraft). The obtained results of the work can be employed further to develop simulators of multifunctional indicators for other aircraft types.

Keywords: training simulator, multifunctional indicator, SimInTech, X-Plane

For citation: Knyazev A.S., Antonenko A.A., Arbuzov E.D., Chebotaryov A.D. The use of a multifunctional aircraft indicator simulator in the educational process of the university. *Trudy MAI*, 2022, no. 123. DOI: [10.34759/trd-2022-123-20](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-20)

Современное состояние использования средств обучения работе с многофункциональными индикаторами в учебном процессе вуза

Сложность изучения авиационных систем в учебных аудиториях вуза обуславливается отсутствием возможности тесного контакта с авиационной техникой при проведении различных видов занятий. С одной стороны, это связано с невозможностью проведения занятий непосредственно на технике (например, из-за

её отсутствия) или необходимостью наблюдения за ней в работе при соответствующих требованиях - наличии электропитания, гидропитания, а также соблюдении требований безопасности. В некоторых случаях этого может и не потребоваться, если используемый тренажёр сможет воспроизвести работу отдельной системы или агрегата без дополнительных требований, которые позволяют понять принцип работы настоящего агрегата или системы и порядок взаимодействия с ним. На сегодняшний день для обучения работе с МФИ возможно использовать следующие средства:

1. Видеофильмы.
2. Анимация.
3. Виртуальная реальность.
4. Дополненная реальность.
5. Авиасимуляторы.
6. Тренажёры.

Каждое из перечисленных средств обучения имеет свои особенности применения, которые необходимо учитывать при их подготовке и внедрении в учебный процесс. Выбор и использование того или иного средства обучения должно быть обоснованным и направленным на максимально эффективное донесение нужной информации до обучающихся. Рассмотрим вышеперечисленные средства обучения более подробно.

Использование видеоматериалов является распространенной практикой, не требующей специальной подготовки и изучения каких-либо программ. В силу

простоты создания при некачественной подготовке сценария сюжета и его содержания можно легко создать некачественный обучающий материал. Необходимо тщательно проверять достоверность и полноту представленных на видео учебных материалов. Несмотря на доступность и распространенность этого средства обучения, позволяющего повысить наглядность излагаемого материала, для выработки и закрепления практических навыков работе с МФИ видеоролики непригодны.

Использование анимации является менее распространенной практикой, так как требует знаний о работе с программными инструментами, позволяющими делать различные подвижные элементы с перемещением, вращением, заменой одного элемента другим, миганием, звуковым сопровождением и т.д. Эти несложные манипуляции позволяют создавать наглядное представление о порядке работы экипажа, об индикации в кабине, в том числе на МФИ, о работе систем и агрегатов и в других случаях. Овладение элементарными навыками для создания анимации позволяет существенно повысить наглядность излагаемого материала. Для использования в учебном процессе готовой анимации могут быть использованы такие программы, как Power Point и Flash Player. Создание анимации требует изучения и овладения некоторыми программными инструментами (достаточно простыми). В отличие от видеороликов на анимации зачастую изображаются не сами объекты изучения, а их модели, в связи с чем качество обучения зависит от степени проработанности этих моделей, полноты заложенных в них возможностей обучения. Использование анимации может иметь ограниченное использование для

привития некоторых практических навыков при работе с МФИ при условии воспроизведения на этой анимации полноты функционала и индикации информационных кадров, отображаемых на МФИ реального объекта.

Использование средств виртуальной реальности в учебном процессе требует наличия специальных очков виртуальной реальности. Для внедрения их в учебный процесс требуется создание и настройка специального виртуального пространства, которое должно в точности соответствовать реальным объектам – кабине, приборам, индикаторам. Для решения этой задачи потребуются привлечение специалистов по разработке трёхмерной графики в виртуальной реальности. Технически эта задача решаема, но без заинтересованности руководства вуза внешние специалисты не получают соответствующих задач, а силами штатных специалистов реализовать подобный проект будет весьма затруднительно из-за непрофильной специализации сотрудников, а также из-за отсутствия времени на подобные разработки. В настоящее время технологии виртуальной реальности для подготовки курсантов-лётчиков массово не используются.

Использование средств дополненной реальности является новой технологией для всего мира, поэтому говорить о её внедрении в учебный процесс авиационного вуза (в том числе военного) пока преждевременно. Проблемы с использованием средств дополненной реальности такие же, как и в случае со средствами виртуальной реальности – отсутствие поставленной задачи, непрофильность штатных сотрудников и отсутствие времени на подобные разработки. Кроме того, невозможность выработки механической памяти у обучающихся ставят под

сомнение результаты обучения, которые могут быть достигнуты при их использовании.

Использование авиасимулятора является перспективным направлением для повышения наглядности учебного материала при проведении занятий в авиационном вузе [2, 3, 4]. При использовании хорошо проработанных моделей они могут заменить МФИ, стенды, плакаты и пульта, могут позволить обучающимся мысленно представить себя в роли наблюдателя в виртуальной кабине или рядом с ВС (как на земле, так и в полёте). Причём, при использовании монитора или проектора сразу все обучающиеся могут делать это одновременно, так как все они могут видеть трёхмерную кабину ВС. В отличие от видеофайлов, в такой кабине можно свободно ориентироваться, направлять взгляд куда угодно (по желанию преподавателя), включать нужные переключатели, одновременно наблюдая за индикацией и изменением положения отдельных агрегатов и режимов работы систем. То есть, авиасимуляторы могут позволить совместить наглядность отображения излагаемого материала и придать ощущение присутствия и личного участия в происходящем процессе, значительно активизируя внимание обучающихся и повышая их интерес к излагаемому материалу [5, 7]. Но и здесь есть свои недостатки. На основании опыта некоторых зарубежных специалистов известно, что научиться некоторым вещам в авиасимуляторе нельзя, а их изучение в виртуальной среде может даже пагубно отразиться на будущих полётах и привить неправильные навыки [14, 16, 17, 18].

Тренажёры заводского исполнения с полноразмерными кабинами являются наилучшим средством обучения для подготовки к полетам и обучению работы с МФИ. Недостатком использования таких тренажеров являются большая стоимость и эксплуатационные издержки. В связи с этим их количество ограничено и не позволяет обеспечить проведение учебных занятий по различным учебным дисциплинам для изучения состава индикации и органов управления в силу большой загруженности для обеспечения привития навыков пилотирования.

Тренажёрные имитаторы отдельных приборов и систем способствуют применению парадигмы «обучение на практике» в классе, тем самым помогая обучающимся усваивать теоретические знания учебной дисциплины и приобретать заранее определенные компетенции более дидактическим способом, чем при использовании других средств обучения. Тренажёр МФИ может прививать практические навыки работы с комплексом бортового радиоэлектронного оборудования и может быть использован в любой учебной аудитории на разных видах занятий по различным дисциплинам, учебная программа которых предусматривает изучение самолёта ДА-42Т. При этом требования к вычислительным мощностям ПК, которые необходимы для обеспечения работы имитатора МФИ существенно ниже, чем при использовании тренажеров с полноразмерной кабиной и имитатором визуальной обстановки.

Согласно ГОСТ 57259-2016 «Тренажеры авиационные. Термины и определения» п.2.1.2.8 и 2.1.2.9 для обучения могут использоваться тренажёрные имитаторы, воспроизводящие работу не всей кабины, а какого-либо конкретного

прибора или системы. В рамках данной работы под это определение подходит разработанный имитатор многофункционального индикатора самолёта ДА-42Т.

Особенности использования имитатора многофункционального индикатора в учебном процессе

Можно выделить следующие особенности использования имитатора МФИ в учебном процессе вуза:

1. Наглядность;
2. Доступность;
3. Безопасность;
4. Вовлеченность обучающихся.

При первоначальной подготовке летных кадров использование имитатора МФИ в учебном процессе авиационного вуза позволит сделать занятия более наглядными и интересными, активизировать внимание обучающихся и вовлечь их в процесс изучения учебного материала. Программа, воспроизводящая кадры на имитаторе МФИ, позволяет отображать информацию, соответствующую различным ситуациям в полёте, в том числе в особых случаях, при отказах, что позволяет использовать имитатор МФИ для практического обучения.



Рисунок 1 – Многофункциональные индикаторы на приборной панели самолёта ДА-42Т

При использовании имитатора МФИ в качестве средства обучения он может помочь выработать навыки по идентификации отказов по их признакам для отработки дальнейших действий.

Для создания тренажерного средства, имитирующего работу МФИ, был выбран максимально соответствующий по размерам дисплея монитор IBM 4820 (рис. 2). Корпус этого монитора позволил разместить кнопки на обрамлении дисплея так же, как в настоящем МФИ.



Рисунок 2 – Монитор IBM 4820

В качестве устройства для подключения кнопок к ПК была выбрана плата Arduino Nano (рис. 3) на основе микроконтроллера ATmega328. Плата Arduino Nano имеет логическую микросхему для обработки данных с тактовой частотой 16 МГц, 8 аналоговых контактов (Analog Pins) и 14 цифровых контактов (Digital Pins) общего назначения, а также различные интерфейсы информационного обмена: I2C, SPI и UART.

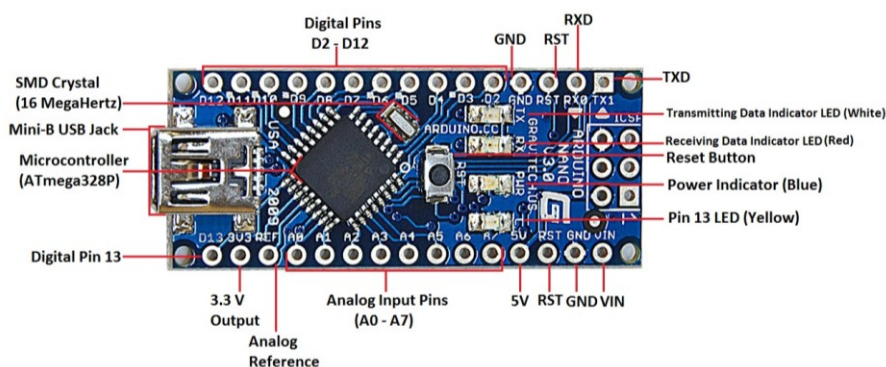


Рисунок 3 – Arduino Nano

В разработанном имитаторе МФИ плата Arduino Nano использована для обработки нажатий кнопок на обрамлении монитора и передачи этой информации через COM-порт на ПК в программу, имитирующую работу центральной информационной системы (ЦИС). Электрическая схема подключения кнопок к плате Arduino Nano представлена на рисунке 4.

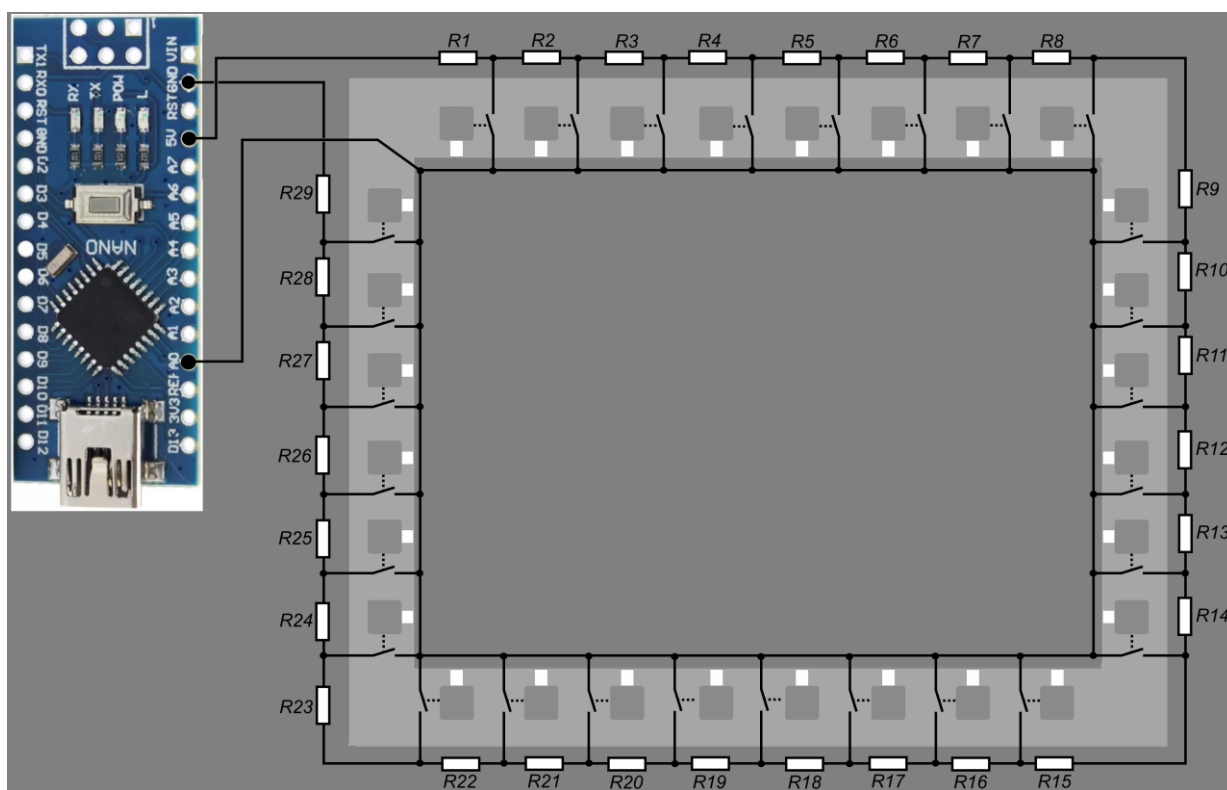


Рисунок 4 – Электрическая схема подключения кнопок на обрамлении монитора

На обрамлении монитора размещены 28 кнопок: 8 сверху, 8 снизу, 6 слева и 6 справа. Расположение кнопок точно соответствует их размещению на МФИ самолёта ДА-42Т, для чего была изготовлена пластиковая рамка с нанесённым на

неё посредством полиграфной печати (на самоклеящейся пленке) текстуры корпуса МФИ.

На схеме, представленной на рисунке 4, резисторы R1-R29 соединены последовательно и образуют делитель напряжения, в каждое плечо которого подключена одна из кнопок. Номиналы резисторов одинаковы и составляют 1 кОм. При нажатии каждой кнопки формируется сигнал разного уровня напряжения между контактом GND и контактом A0 (аналоговый вход) на плате Arduino Nano (рис. 5).

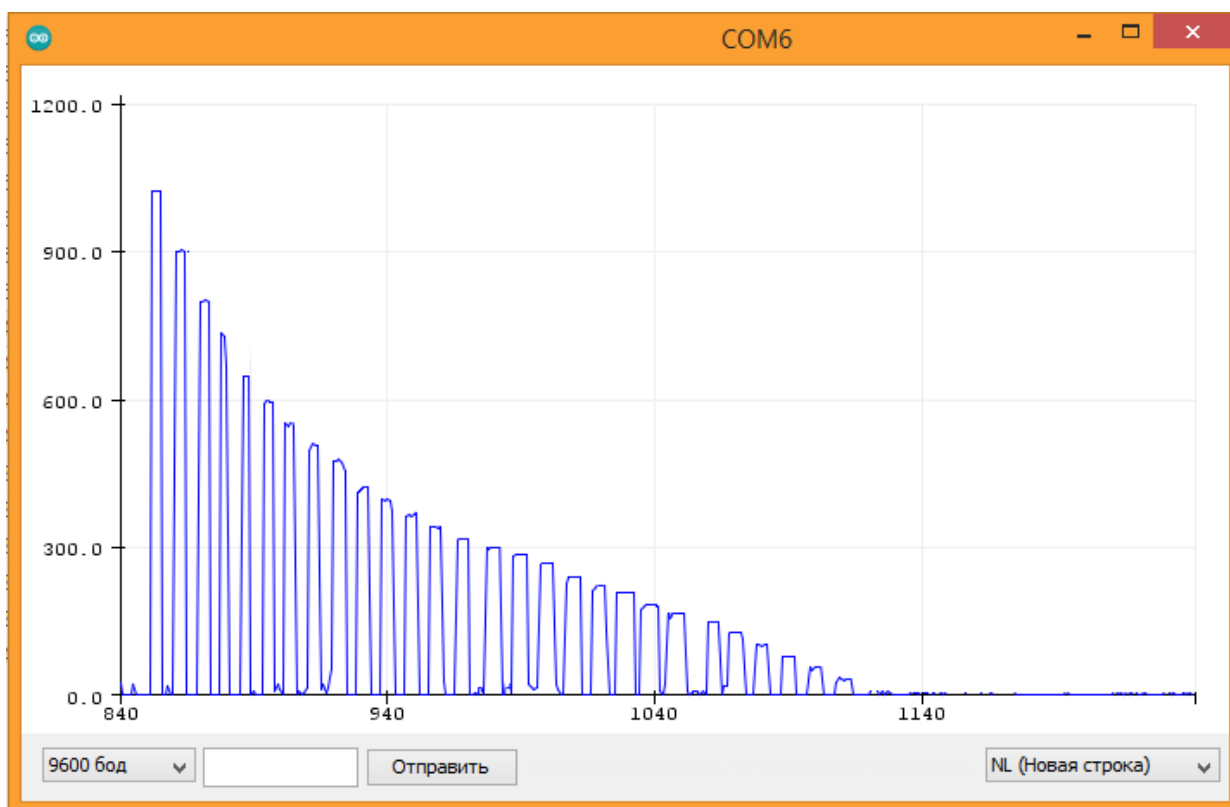


Рисунок 5 – Осциллограмма значений кода, формируемого в Arduino Nano при нажатии кнопок на обрамлении монитора

Диапазон возможных значений напряжения на аналоговом входе составляет от 0 до 5 В постоянного тока. Аналого-цифровой преобразователь в Arduino Nano измеряет это напряжение и преобразует в целое число в диапазоне 0...1024, т.е. дискретность измерений составляет $5/1024=0,0049$ В, при этом напряжению 0 В соответствует число 0, а напряжению 5В соответствует число 1024. При нажатии каждой кнопки формируется своё значение кода, соответствующее напряжению в той точке делителя напряжения, к которой подключена эта кнопка. При такой схеме подключения одновременное нажатие двух и более кнопок не допускается, что не является критичным и соответствует нормальной работе с МФИ.

Для преобразования полученного значения кода в номер кнопки, в плате Arduino Nano используется разработанный программный код, фрагмент которого представлен на рисунке 6. Этот код делит диапазон чисел от 0 до 1024 на 28 поддиапазонов. При нажатии одной из кнопок на входе А0 формируется напряжение, которое преобразуется в число, входящее в один из 28 поддиапазонов. Номер нажатой кнопки определяется по номеру поддиапазона, в который попадает это число.

Вторая часть кода содержит команду отправки номера нажатой кнопки через СОМ-порт, позволяющий осуществлять информационный обмен платы Arduino Nano и ПК. Программы, запущенные на ПК, могут обращаться к СОМ-порту и считывать передаваемые данные для дальнейшей обработки.

```
sketch_jun14b | Arduino 1.8.15
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
sketch_jun14b $
buttonState1 = analogRead(A0);
if (buttonState1 >= 963) {lev=1; str = "Кнопка 1";}
if (buttonState1 >= 852 && buttonState1 < 963) {lev=2; str = "Кнопка 2";}
if (buttonState1 >= 762 && buttonState1 < 852) {lev=3; str = "Кнопка 3";}
if (buttonState1 >= 690 && buttonState1 < 762) {lev=4; str = "Кнопка 4";}
if (buttonState1 >= 628 && buttonState1 < 690) {lev=5; str = "Кнопка 5";}
if (buttonState1 >= 574 && buttonState1 < 628) {lev=6; str = "Кнопка 6";}
if (buttonState1 >= 525 && buttonState1 < 574) {lev=7; str = "Кнопка 7";}
if (buttonState1 >= 484 && buttonState1 < 525) {lev=8; str = "Кнопка 8";}
if (buttonState1 >= 450 && buttonState1 < 484) {lev=9; str = "Кнопка 9";}
if (buttonState1 >= 416 && buttonState1 < 450) {lev=10; str = "Кнопка 10";}
if (buttonState1 >= 388 && buttonState1 < 416) {lev=11; str = "Кнопка 11";}
if (buttonState1 >= 360 && buttonState1 < 388) {lev=12; str = "Кнопка 12";}
if (buttonState1 >= 332 && buttonState1 < 360) {lev=13; str = "Кнопка 13";}
if (buttonState1 >= 312 && buttonState1 < 332) {lev=14; str = "Кнопка 14";}
if (buttonState1 >= 290 && buttonState1 < 312) {lev=15; str = "Кнопка 15";}
if (buttonState1 >= 266 && buttonState1 < 290) {lev=16; str = "Кнопка 16";}
if (buttonState1 >= 248 && buttonState1 < 266) {lev=17; str = "Кнопка 17";}
if (buttonState1 >= 230 && buttonState1 < 248) {lev=18; str = "Кнопка 18";}
if (buttonState1 >= 214 && buttonState1 < 230) {lev=19; str = "Кнопка 19";}
if (buttonState1 >= 194 && buttonState1 < 214) {lev=20; str = "Кнопка 20";}
if (buttonState1 >= 174 && buttonState1 < 194) {lev=21; str = "Кнопка 21";}
if (buttonState1 >= 156 && buttonState1 < 174) {lev=22; str = "Кнопка 22";}
if (buttonState1 >= 136 && buttonState1 < 156) {lev=23; str = "Кнопка 23";}
if (buttonState1 >= 118 && buttonState1 < 136) {lev=24; str = "Кнопка 24";}
if (buttonState1 >= 96 && buttonState1 < 118) {lev=25; str = "Кнопка 25";}
if (buttonState1 >= 72 && buttonState1 < 96) {lev=26; str = "Кнопка 26";}
if (buttonState1 >= 45 && buttonState1 < 72) {lev=27; str = "Кнопка 27";}
if (buttonState1 >= 15 && buttonState1 < 45) {lev=28; str = "Кнопка 28";}

Компиляция завершена
Скетч использует 5020 байт (16%) памяти устройства. Всего доступно 30720 байт.
Глобальные переменные используют 969 байт (47%) динамической памяти, оставляя 1079 байт для локальных п

80 Arduino Nano, ATmega328 на COM8
```

Рисунок 6 – Программный код в плате Arduino Nano для обработки нажатий кнопок на обрамлении монитора

Выбор программного обеспечения для обеспечения работы имитатора многофункционального индикатора

В настоящее время существует несколько программ, использование которых позволяет решить задачу обработки данных, принятых через COM-порт от платы Arduino Nano, и отображения информационных кадров, отображаемых на МФИ. К ним относятся такие программные продукты, как Microsoft Visual Studio, Builder C++, Delphi, Matlab Simulink, LabView и др. Однако, они не позволяют использовать

весь свой функционал без лицензии, ограничивая поле деятельности для студентов, преподавателей, инженеров. Без лицензии невозможно получать и открыто публиковать полученные с их помощью результаты, что затрудняет использование их в исследовательских и образовательных целях. Кроме того, перечисленные программные продукты являются импортными, а в связи с государственной программой №328 «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» от 15.04.2014 г., приказом Министерства связи «Об утверждении плана по импортозамещению программного обеспечения» от 01.02.2015 г., постановлением Правительства РФ от 16.11.2015 г. № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» их использование в отечественных предприятиях и вузах нежелательно.

В связи с вышеперечисленным, в качестве ПО для разработки и воспроизведения информационных кадров ЦИС было выбрано программное обеспечение SimInTech, предназначенное для моделирования технических систем [19]. Программа SimInTech является отечественным программным продуктом и предназначена для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления, математических моделей и алгоритмов управления. Данная программа имеет большой функционал по составлению различных схем технических устройств и ничем не уступает импортным аналогам. В SimInTech работа происходит в виде структурного проектирования логико-

динамических систем, описываемых в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений. Кроме этого, SimInTech может быть использована для создания тренажёров и тренажёрных имитаторов различных приборов и систем.

На рисунке 7 представлен разработанный пакет проектов, реализующих работу программной части, отображающей информационные кадры ЦИС, а также принимающей сигналы от платы Arduino Nano.

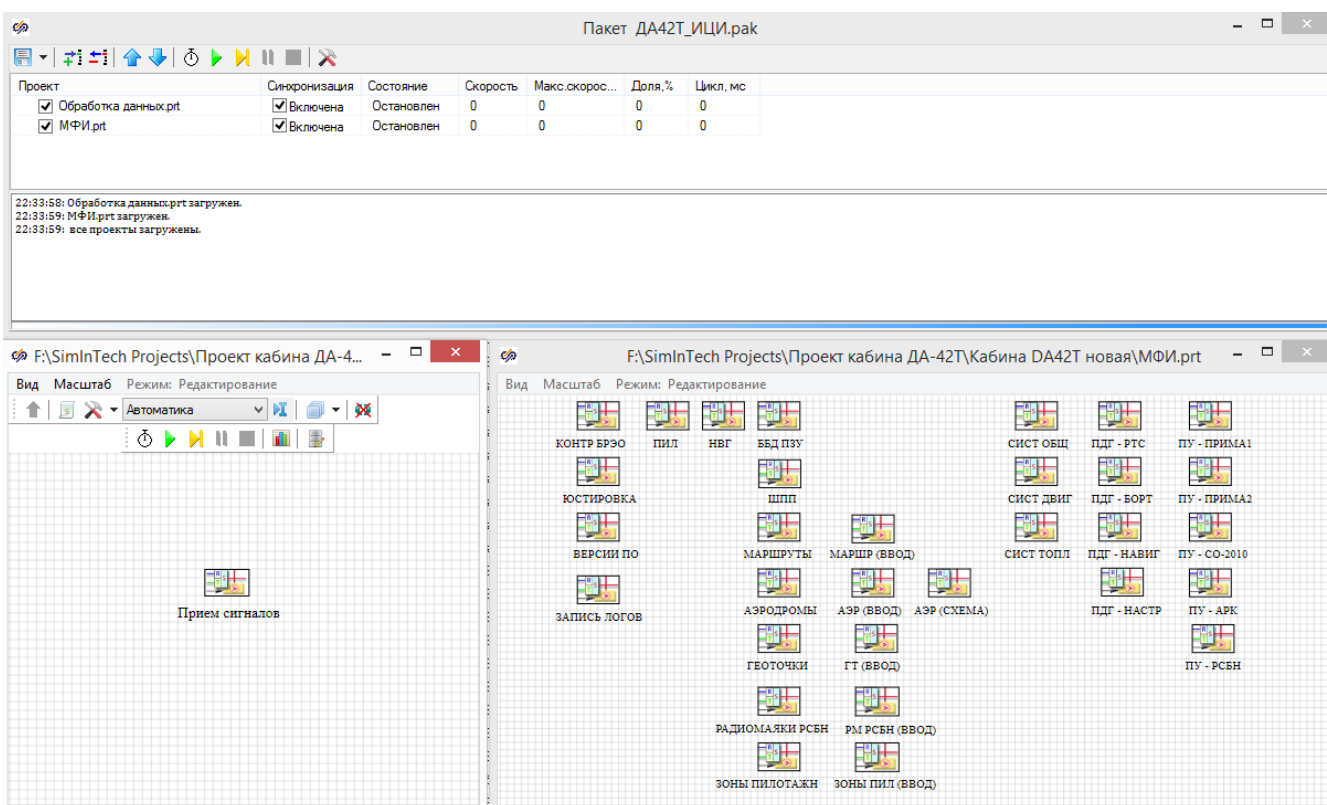


Рисунок 7 – Пакет проектов в программе SimInTech, имитирующий работу МФИ

Пакет включает два проекта, каждый из которых предназначен для выполнения своих функций. Первый проект «Обработка данных» содержит две субмодели приема сигналов (рис. 8):

- от платы Arduino Nano (о нажатии кнопок на обрамлении монитора);
- от авиасимулятора (крен, тангаж, курс, скорость, высота и др.).

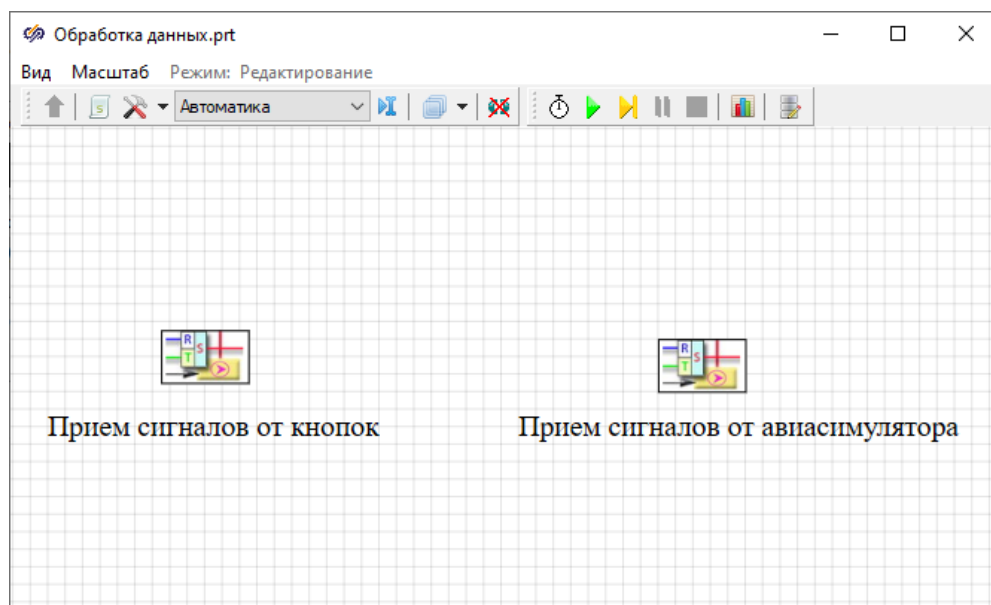


Рисунок 8 – Содержимое проекта «Обработка данных»

В проекте «Обработка данных» субмодель «Прием сигналов от кнопок» содержит два блока (рис. 9):

- блок «Асинхронный обмен» (RS);
- блок записи значения в список сигналов (Кнопки_ICI).

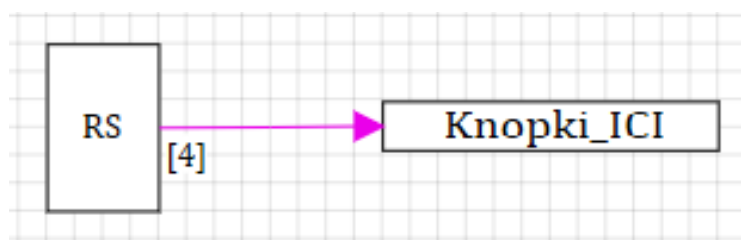


Рисунок 9 – Схема приёма сигналов о нажатии кнопок на обрамлении монитора

Блок «Асинхронный обмен» (RS) реализует подключение к COM-порту и считывает из него данные. В данной работе через порт передается всего одно число, значение которого (от 1 до 28) указывает на номер нажатой кнопки (на рисунке 5 это число равно 4). Число 0 соответствует ненажатому состоянию всех кнопок.

Блок записи значения в список сигналов (Кнопки_ICI) присваивает принятое значение переменной Кнопки_ICI, используемой в проекте для изменения индикации при работе с кадрами.

Таким образом, использование простой схемы и небольшой платы позволило всего через один информационный провод и два провода питания подключить 28 физических кнопок и передать в ПК информацию об их нажатии всего через 1 переменную типа Byte (объем передаваемых данных составляет всего 1 байт).

В пакете «Обработка данных» субмодель «Прием сигналов от авиасимулятора», которая представлена на рисунке 10, осуществляет приём данных от авиасимулятора [7, 12]. В качестве источника данных может использоваться авиасимулятор X-Plane (любой из версий 9, 10 или 11), имеющий возможность отправки различных данных через сеть по протоколу UDP. Передаваемые данные могут быть считаны из сети с помощью различных программ, имеющих

необходимый функционал. Формат передаваемых данных, а также их перечень описаны в руководстве пользователя авиасимулятора X-Plane. Порядок обработки данных, получаемых из сети по протоколу UDP, описан в справочной информации программы SimInTech [19].

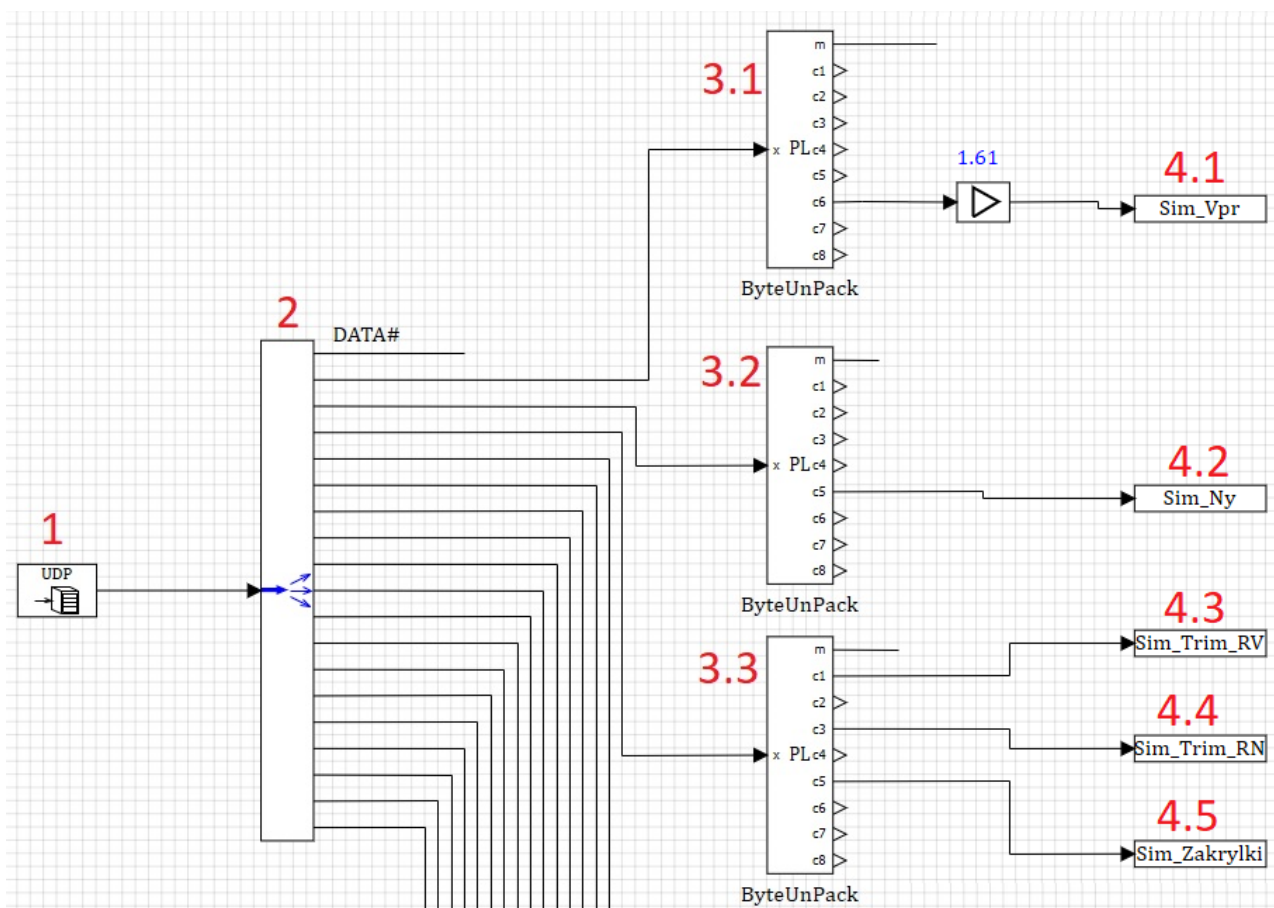


Рисунок 10 – Схема приёма сигналов от авиасимулятора

На рисунке 10 представлены следующие блоки:

1. Сервер UDP - позволяет передавать данные по протоколу UDP на локальный или сетевой компьютер. Данный блок должен быть настроен на тот же

IP-адрес и номер UDP-порта, на который настроена передача данных в авиасимуляторе X-Plane.

2. Демультимплексор – предназначен для разделения потока принимаемых данных на пакеты, каждый из которых содержит свой набор принимаемых параметров (номер пакета и 8 параметров).

3. Блоки ByteUnPack (3.1–3.3 и т.д.) – предназначены для получения значений каждого из 8 параметров, поступающих на вход блока в составе пакета данных. Все блоки ByteUnPack (3.1–3.3 и т.д.) одинаковы.

4. Блоки записи в список сигналов (4.1–4.5 и т.д.) предназначены для присвоения соответствующим переменным из списка сигналов принятых от авиасимулятора значений - приборной скорости (Sim_Vpr), вертикальной перегрузки (Sim_Ny) и др., используемых в проекте в виде показаний приборов на индикационных кадрах ЦИС.

На схеме в линии передачи сигнала приборной скорости используется множитель 1,61 в связи с тем, что в симуляторе единицей измерения приборной скорости являются мили в час, а на указателе скорости – километры в час.

Кадры ЦИС были разработаны в соответствии с реальной индикацией на МФИ в кабине самолёта ДА-42Т. В качестве исходных данных были взяты представленные в руководстве по лётной эксплуатации (РЛЭ) [11] информационные кадры, которые были воспроизведены с использованием графического редактора и программы SimInTech.

Графический редактор использован для отрисовки подложки кадров: фона, шкал приборов, рамок, то есть той индикации, которая не меняется при отображении параметров работы бортовых систем.

Все подвижные и изменяющиеся элементы индикации созданы с использованием встроенных инструментов программы SimInTech. На рисунке 11 для примера представлено окно свойств стрелки приборной скорости (элемент Vpt_strelka), в котором можно настроить начальный угол поворота, цвет, размер, положение стрелки, а также присвоить свойству Value числовое значение или имя переменной, величина которой будет определять угол поворота стрелки.



Рисунок 11 – Свойства элемента «стрелка приборной скорости» в программе

Однако, задача управления положением стрелки усложнилась в данном случае тем, что шкала указателя скорости нелинейная и в разных диапазонах увеличение скорости на одну и ту же величину соответствует разным углам поворота стрелки. В связи с этим, в скрипте страницы написан программный код, определяющий нелинейное изменение угла поворота стрелки приборной скорости при линейном изменении значения этой скорости, принимаемого от авиасимулятора (рис. 12). Аналогичная работа была проделана для всех приборов, имеющих нелинейные шкалы (вариометр, указатель перегрузки и др.).

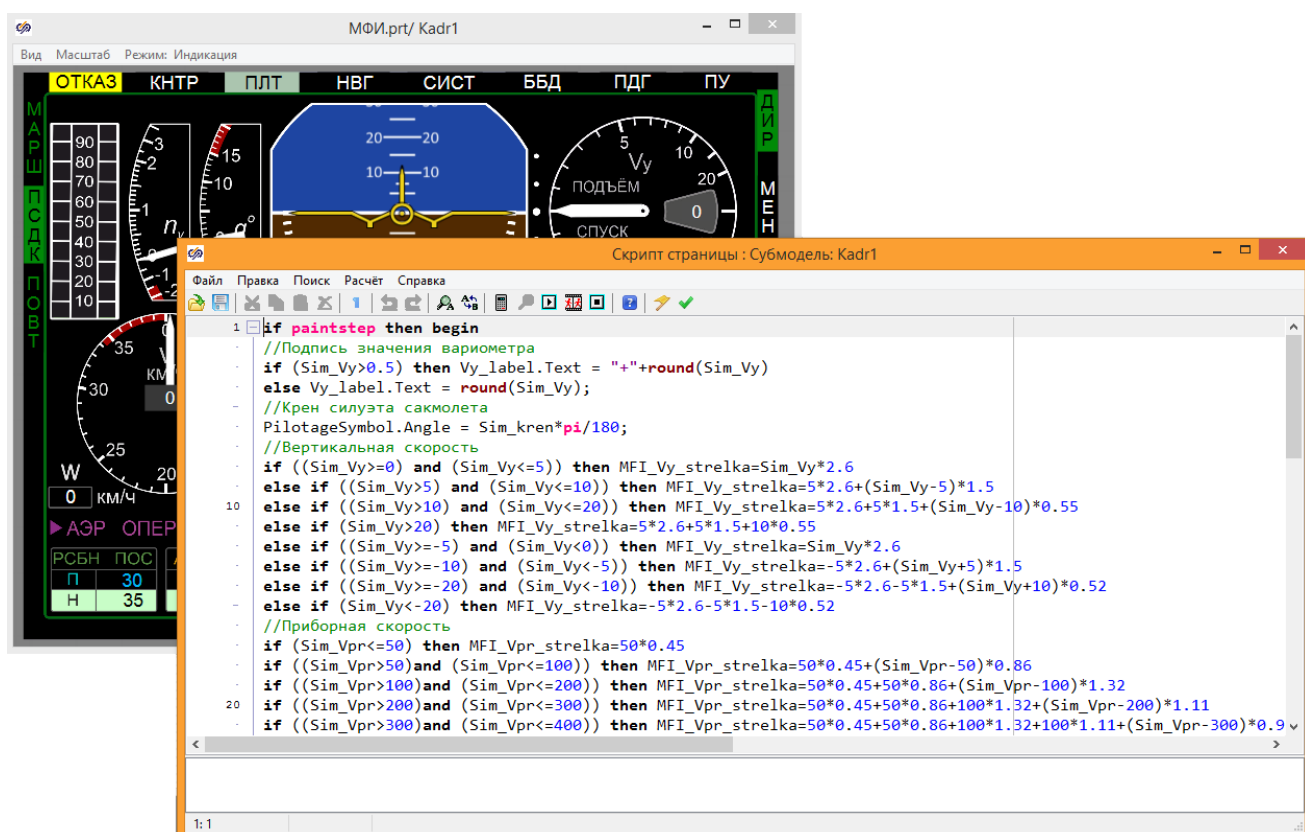


Рисунок 12 – Фрагмент программного кода в скрипте страницы проекта

в программе SimInTech

Использование вышеперечисленных инструментов позволило воспроизвести индикацию каждого прибора и указателя на каждом информационном кадре с детальной точностью в соответствии с представленной в РЛЭ [11] информацией. Используя подобный подход было разработано более 30 кадров, имитирующих работу центральной информационной системы.

Использование разработанного имитатора многофункционального индикатора в учебном процессе вуза

В результате проделанной работы изготовлен имитатор МФИ, внешний вид которого представлен на рисунке 13.

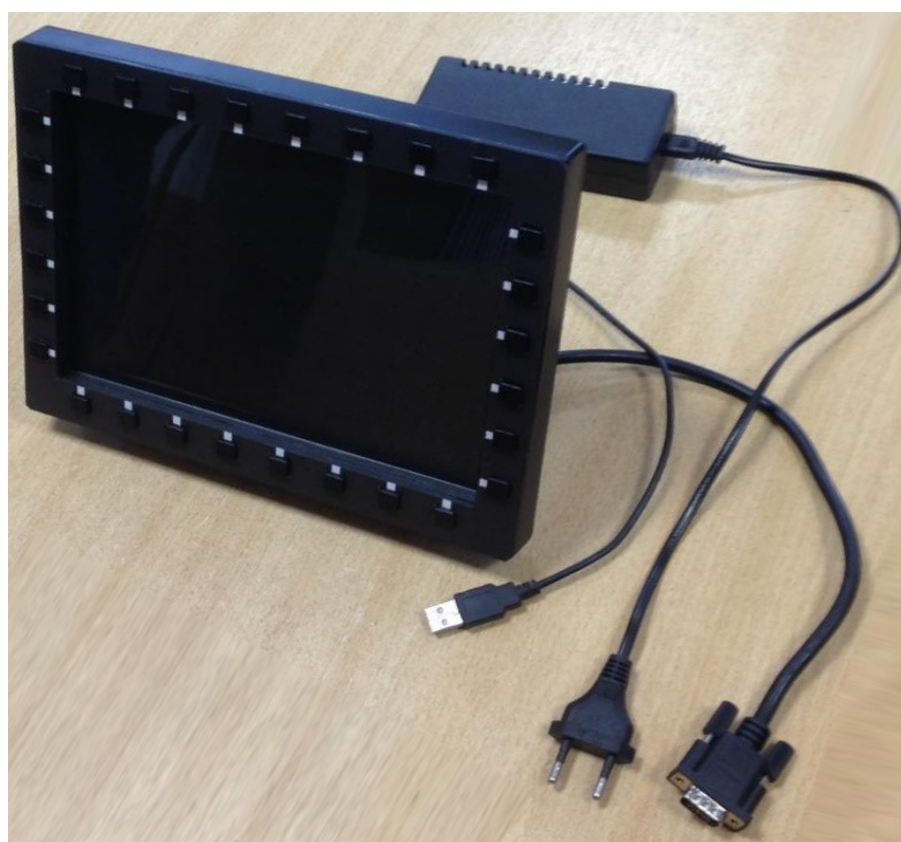


Рисунок 13 – Внешний вид разработанного имитатора МФИ

Имитатор МФИ представляет собой копию реального МФИ в кабине самолёта ДА-42Т, как по внешнему виду, так и по размерам. При подключении имитатора МФИ к ПК при совместной работе с пакетом проектов, имитирующим работу ЦИС в виде отображения информационных кадров, разработанных в программе SimInTech, он позволяет:

- отображать информационные кадры ЦИС;
- принимать управляющие сигналы от экипажа в виде нажатий кнопок на обрамлении монитора (реализовывать взаимодействие «человек-машина»);
- изменять индикацию в соответствии с поступившим сигналом управления;
- вводить данные в бортовой комплекс, работать с бортовыми базами данных.

На рисунке 14 показана работа обучающегося с имитатором МФИ.



Рисунок 14 - Работа обучающегося с имитатором МФИ

Разработанные кадры ЦИС позволили с детальной точностью воспроизвести индикацию в самолёте ДА-42Т, что дало возможность использовать его в учебном процессе Краснодарского высшего военного авиационного училища лётчиков на кафедре авиационного и радиоэлектронного оборудования при изучении дисциплин «Авиационное оборудование учебного воздушного судна ДА-42Т», «Радиоэлектронное оборудование учебного воздушного судна ДА-42Т». Управление отображением параметров на информационных кадрах через программу SimInTech возможно осуществлять как вручную (по желанию изменяя значение каждого параметра) или автоматически при подключении имитатора к авиасимулятору. В этом случае все значения отображаемых параметров берутся из авиасимулятора в соответствии с режимом виртуального полета и алгоритмами работы соответствующих систем.

Для взаимодействия с авиасимулятором X-Plane в среде SimInTech разработаны демо-примеры, реализующие все доступные способы отправки и приема данных, поэтому он ни в чем не уступает другим программам, которые могут быть использованы для тех же целей.

Все проекты, в которых реализовано взаимодействие SimInTech и X-Plane, доступны всем пользователям сразу после установки программы SimInTech. Эти проекты подробно описаны в [7, 12] и размещены в папке с демо-примерами «C:\SimInTech64\Demo\Интеграция со сторонним ПО\X-Plane».

При необходимости принимаемые от авиасимулятора параметры могут быть откорректированы, заменены на ложные или заблокированы (для имитации отказов), что позволяет формировать индикацию не только при нормальной эксплуатации, но и в особых случаях в полёте. Наглядное отображение такой индикации даёт обучающимся намного более глубокое понимание работы ЦИС, чем при использовании изображений кадров из РЛЭ.

К примеру, индикация на тренажёре МФИ позволяет отображать индикацию параметров от систем электроснабжения, топливной системы, подсистемы информации об условиях полёта, системы управления планером и шасси, навигационной системы, радиотехнической системы ближней навигации и др.

Заключение

1. Поставленная в данной работе задача выполнена в полном объёме, однако, может иметь развитие и продолжение;

2. Использование различных средств визуализации может быть не только наглядным и эффективным, но и экономически выгодным средством повышения качества учебного процесса в вузе;

3. Визуализация работы ЦИС самолёта ДА-42Т может быть внедрена в учебный процесс сразу нескольких учебных дисциплин вуза, к примеру, для изучения авиационного оборудования, радиоэлектронного оборудования, навигации и др.

4. Представленный материал является многофункциональным инструментом, который может эффективно использоваться в учебном процессе при изучении

различных дисциплин курсантами и студентами высших учебных заведений с авиационной направленностью (КВВАУЛ, ВУНЦ ВВС «ВВА», МАИ, МГТУ ГА и др.);

5. Разработанный и реализованный способ подключения имитатора МФИ к компьютеру для взаимодействия с полётными данными через разработанную программу может быть использован при создании полноразмерного макета кабины воздушного судна с МФИ.

6. Использование разработанного тренажёра позволяет изучать информационные кадры ЦИС и более глубоко усвоить порядок взаимодействия с бортовым комплексом через МФИ, так как при наличии реального тренажёра кабины у обучающихся нет возможности уделить время работе с ЦИС в силу его большой загруженности и необходимости отработки в отведённое для работы с ним время навыков пилотирования и навигации.

7. Работу в данном направлении целесообразно продолжить и при необходимости распространить наработанный материал среди других отечественных авиационных вузов.

Функционал разработанного имитатора МФИ открывает большие перспективы по его использованию в учебном процессе, однако, для получения ощутимого эффекта целесообразно изготовить подобные тренажёры небольшим тиражом.

Накопленный опыт целесообразно использовать для разработки тренажёров МФИ для изучаемых ВС других типов.

Список источников

1. Кабанов А.А. Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту? // Труды МАИ. 2013. № 65. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35910>
2. Князев А.С. Использование авиасимулятора X-Plane и среды моделирования SimInTech в учебном процессе при проведении практического занятия "Обработка полетной информации" // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2021. Т. 24. № 6. DOI: [10.26467/2079-0619-2021-24-6-42-53](https://doi.org/10.26467/2079-0619-2021-24-6-42-53)
3. Князев А.С. Использование авиасимулятора в учебном процессе при проведении группового занятия "Режимы работы САУ" // Межвузовский сборник научных трудов. - Краснодар: КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А.К. Серова. 2020. № 24. С. 164-169.
4. Князев А.С. Совместное использование авиасимулятора X-Plane и среды SimInTech для исследования работы авиационных систем // Труды МАИ. 2021. № 117. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=156305>. DOI: [10.34759/trd-2021-117-15](https://doi.org/10.34759/trd-2021-117-15)
5. Козин Н.А. Епанчин М.И., Кахановский Д.В. Авиационный симулятор как достойная альтернатива тренажной подготовки летного состава // VII Международная научно-практическая конференция «Научные чтения им. проф. Н.Е. Жуковского»: сборник научных статей (Краснодар, 20-22 декабря 2016). - Краснодар: КВВАУЛ, 2017. С. 41-45.

6. Кручинин М.М., Кузьмин Д.А. Математическое моделирование копровых испытаний шасси вертолета // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=77093>
7. Настройка совместной работы SimInTech и X-Plane. URL: https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovmestnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html
8. Науменко А.А., Князев А.С. Использование авиасимуляторов в учебном процессе авиационного вуза // Вестник Армавирского государственного педагогического университета. 2021. № 4. С. 64-72.
9. Парфирьев И.В. Краткий обзор программных средств моделирования технических систем и актуальность внедрения отечественных программных продуктов в вузах на примере среды динамического моделирования технических систем SimInTech // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018» (Томск, 16–18 мая 2018). - Томск: В-Спектр, 2018. Ч. 3. С. 297-300.
10. Погосян М.А., Верейкин А.А. Системы автоматической посадки летательных аппаратов: аналитический обзор. Информационное обеспечение // Труды МАИ. 2020. № 113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118156>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-11](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-11)
11. Руководство по лётной эксплуатации самолёта ДА-42Т. URL: https://www.studmed.ru/rle-afm-diamond-da-42-ng_65944db8880.html

12. Совместная работа SimInTech и авиасимулятора X-Plane. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XvA04WvzuoI>
13. Фадин Д.А. Использование среды MATLAB-Simulink для реализации вычислительных алгоритмов в целочисленных микропроцессорных системах // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57021>
14. Cameron B., Rajae H., Jung B. et al. Development and implementation of cost-effective flight simulator technologies // International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics, 2016, no. 126. DOI: [10.11159/cdsr16.126](https://doi.org/10.11159/cdsr16.126)
15. Jalovecký R., Bystřický R. On-line analysis of data from the simulator X-plane in MATLAB // International Conference on Military Technologies (ICMT), 2017, pp. 592-597. DOI: [10.1109/MILTECHS.2017.7988826](https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988826)
16. Lombardo C., Miller I., Wallace J. Studying the interaction of UAS and human pilots using the X-Plane flight simulator // International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2016, pp. 557-561. DOI: [10.1109/ICUAS.2016.7502545](https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502545)
17. Nowakowski H., Makarewicz J. Flight simulation devices in pilot air training // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2018, no. 98, pp. 111-118. URL: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.98.11>
18. Ruiz S., Aguado C., Moreno R. Educational Simulaton in practice: A teaching experience using a flight simulator // Journal of Technology and Science Educaton (JOTSE), 2014, vol. 4, no. 3, pp. 181-200. URL: <http://dx.doi.org/10.3926/jotse.129>
19. SimInTech. URL: <https://simintech.ru>

20. Simulink-Xplane10 Communication Via UDP. URL:
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47144-simulink-xplane10-communication-via-udp>

References

1. Kabanov A.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 65. URL:
<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35910>
2. Knyazev A.S. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2021, vol. 24, no. 6. DOI: [10.26467/2079-0619-2021-24-6-42-53](https://doi.org/10.26467/2079-0619-2021-24-6-42-53)
3. Knyazev A.S. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov* (Collection of scientific papers), Krasnodar, KVVAUL im. Geroya Sovetskogo Soyuza A.K. Serova, 2020, no. 24, pp. 164-169.
4. Knyazev A.S. *Trudy MAI*, 2021, no. 117. URL:
<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=156305>. DOI: [10.34759/trd-2021-117-15](https://doi.org/10.34759/trd-2021-117-15)
5. Kozin N.A. Epanchin M.I., Kakhanovskii D.V. *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchnye chteniya im. prof. N.E. Zhukovskogo»: sbornik nauchnykh statei*, Krasnodar, KVVAUL, 2017, pp. 41-45.
6. Kruchinin M.M., Kuz'min D.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 92. URL:
<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=77093>

7. *Nastroika sovместnoi raboty SimInTech i X-Plane.* URL: https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovместnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html
8. Naumenko A.A., Knyazev A.S. *Vestnik Armavirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2021, no. 4, pp. 64-72.
9. Parfir'ev I.V. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauchnaya sessiya TUSUR–2018»*, Tomsk, V-Spektr, 2018, part. 3, pp. 297-300.
10. Pogosyan M.A., Vereikin A.A. *Trudy MAI*, 2020, no. 113. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=118156>. DOI: [10.34759/trd-2020-113-11](https://doi.org/10.34759/trd-2020-113-11)
11. *Rukovodstvo po letnoi ekspluatatsii samoleta DA-42T.* URL: https://www.studmed.ru/rle-afm-diamond-da-42-ng_65944db8880.html
12. *Sovместnaya rabota SimInTech i aviasimulyatora X-Plane.* URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XvA04WvzuoI>
13. Fadin D.A. *Trudy MAI*, 2015, no. 80. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57021>
14. Cameron B., Rajae H., Jung B. et al. Development and implementation of cost-effective flight simulator technologies, *International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics*, 2016, no. 126. DOI: [10.11159/cdsr16.126](https://doi.org/10.11159/cdsr16.126)
15. Jalovecký R., Bystřický R. On-line analysis of data from the simulator X-plane in MATLAB, *International Conference on Military Technologies (ICMT)*, 2017, pp. 592-597. DOI: [10.1109/MILTECHS.2017.7988826](https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988826)

16. Lombardo C., Miller I., Wallace J. Studying the interaction of UAS and human pilots using the X Plane flight simulator, *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2016, pp. 557-561. DOI: [10.1109/ICUAS.2016.7502545](https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502545)
17. Nowakowski H., Makarewicz J. Flight simulation devices in pilot air training, *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2018, no. 98, pp. 111-118. URL: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.98.11>
18. Ruiz S., Aguado C., Moreno R. Educational Simulaton in practice: A teaching experience using a flight simulator, *Technology and Science Educaton (JOTSE)*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 181-200. URL: <http://dx.doi.org/10.3926/jotse.129>
19. *SimInTech*. URL: <https://simintech.ru>
20. *Simulink-Xplane10 Communication Via UDP*. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47144-simulink-xplane10-communication-via-udp>

Статья поступила в редакцию 10.02.2022; одобрена после рецензирования 20.02.2022; принята к публикации 20.04.2022.

The article was submitted on 10.02.2022; approved after reviewing on 20.02.2022; accepted for publication on 20.04.2022.