

УДК 004.94

DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-6-42-53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВИАСИМУЛЯТОРА X-PLANE И СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ «ОБРАБОТКА ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ»

А.С. КНЯЗЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков,  
г. Краснодар, Россия*

При проведении учебных занятий в авиационном вузе целесообразно демонстрировать образцы авиационной техники, отдельные элементы систем и агрегатов или использовать специализированные стенды и плакаты. Однако при проведении занятий дистанционно не все эти материалы могут быть использованы, так как не всегда есть возможность показать их в динамике и обеспечить тем самым формирование полного представления обучающихся об изучаемом объекте. В статье рассматривается пример использования авиасимулятора в учебном процессе в качестве средства визуализации авиационной техники при проведении практического занятия «Обработка полетной информации». Визуальное восприятие материалов объективного контроля не дает полного представления о динамике полета воздушного судна, его пространственном положении при выполнении различных элементов пилотажа, поэтому необходима демонстрация выполнения элементов полета с одновременным отображением параметров полета в графическом виде. С этой целью используется авиасимулятор X-Plane, для взаимодействия с которым в среде SimInTech разработан проект, реализующий обмен данными для управления полетом модели воздушного судна и регистрацию параметрической информации с целью ее дальнейшего анализа. Описаны схемы имитации работы бортовых устройств регистрации. Описаны пути решения поставленных задач. Указана возможность использования разработанных проектов при дистанционном обучении авиационных специалистов, а также внедрения полученных результатов в учебный процесс авиационных вузов.

**Ключевые слова:** авиасимулятор, X-Plane, SimInTech, бортовое устройство регистрации, параметрическая полетная информация.

### ВВЕДЕНИЕ

Во время проведения учебных занятий в вузе часто возникает необходимость показа рассматриваемого объекта. В случае невозможности демонстрации самого объекта для этого могут быть использованы современные мультимедийные средства визуализации – изображения, видеофрагменты, компьютерные модели, макеты. Любой способ визуализации позволяет сформировать у обучающихся представление о рассматриваемом объекте, даже если сам объект физически недоступен для восприятия и изучения. Одним из средств визуализации воздушного судна (ВС) является авиасимулятор, однако в каждом случае необходимо оценивать целесообразность его использования при проведении конкретного занятия.

Авиасимулятор X-Plane имеет большой потенциал для использования в качестве средства визуализации ВС в авиационном вузе [1], так как позволяет использовать множество готовых моделей ВС и создавать свои собственные, управлять полетом модели как вручную, так и автоматически, задавать различные погодные условия, время суток, а также предоставляет пользователю возможность обмена данными через протокол UDP, что позволяет принимать и отправлять в симулятор большое количество различных данных (параметров полета, положения органов управления и др.) для создания необходимой ситуации [2, 3].

Одним из возможных применений авиасимулятора X-Plane является отображение в графическом виде параметров полета, которые регистрируются бортовыми устройствами регистрации (БУР) в реальных ВС.

## МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время на ВС используются различные БУР с разным принципом записи, например, система «Тест-1» с твердотельным накопителем устанавливается взамен системы «САРПП-12» с фотопленкой, а также используются магнитные и твердотельные регистраторы (например, одна и та же система «Тестер-УЗ» может иметь магнитный накопитель «Тестер-УЗ сер. 3» и твердотельный «Тестер-УЗ сер. 3А»).

В оптических БУР информация записывается световым лучом на фоточувствительную пленку. При этом количество параметров ограничивается шириной пленки и количеством световых лучей (каналов записи). Поэтому на самолете Л-39 количество регистрируемых параметров было ограничено. При установке более современного твердотельного БУР «Тест-1» взамен устаревшего оптического «САРПП-12» количество регистрируемых параметров не изменяется, так как используются те же датчики информации. В связи с этим в накопителе БУР «Тест-1» записываются всего 6 аналоговых параметров (АП) и 13 разовых команд (РК) (рис. 1). К АП относятся: относительная барометрическая высота полета  $H$ , приборная скорость  $V$ , вертикальная перегрузка  $n_y$ , частота вращения ротора высокого давления  $N_{РВД}$ , угол перемещения РУД  $\alpha_{РУД}$ , угол отклонения руля высоты  $\varphi$ . К РК относятся: минимальное давление топлива (РК № 1), положение шасси (РК № 2), опасная вибрация двигателя (РК № 3), высокая температура выходящих газов (РК № 4), пожар двигателя (РК № 5), опасное давление в кабине команда (РК № 6), минимальное давление в гидросистеме (РК № 7), минимальное давление масла (РК № 8), отказ запасного генератора (РК № 9), фонарь не закрыт (РК № 10), катапультирование переднего сиденья (РК № 11), закрытие пожарного крана (РК № 12), катапультирование заднего сиденья (РК № 13).

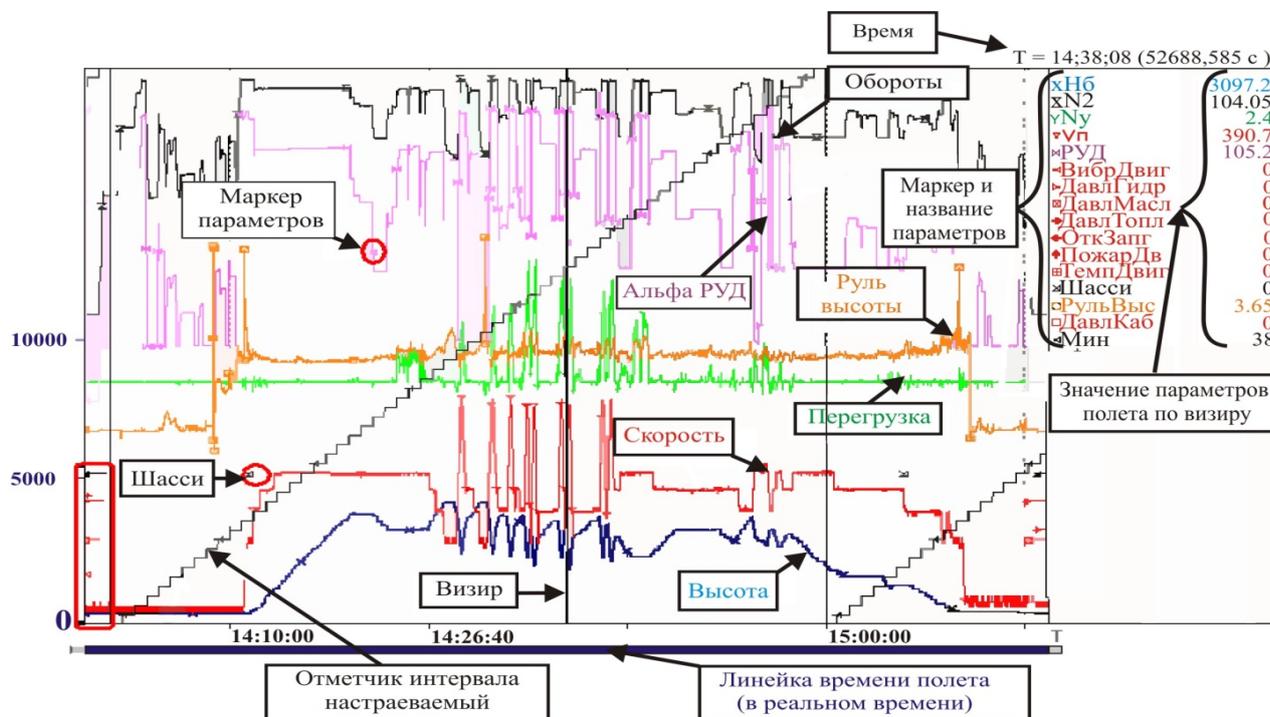


Рис. 1. Графики аналоговых параметров и разовых команд, регистрируемых бортовым устройством регистрации (БУР) «Тест-1» (Л-39)

Fig. 1. Graphs of analog parameters and discrete commands recorded by "Test-1" flight data recorder (FDR) (L-39)

В системе «Тестер-УЗ» регистрируются 60 АП и 101 РК, полный перечень которых здесь представлять нецелесообразно. Запись полетной информации на накопитель осуществляется в виде двоичного кода на магнитную пленку или твердотельный модуль памяти.

После перезаписи зарегистрированной информации с бортового накопителя на наземное устройство обработки производится декодирование и дешифрирование, в результате чего для анализа выводятся необходимые наборы параметров полета, по которым осуществляется оценка исправности бортовых систем и правильности действий летчика.

Доступ к материалам объективного контроля реальных полетов строго ограничен, к тому же не в каждом полете возникают ситуации, обязательные для рассмотрения на занятии со студентами или курсантами авиационных вузов. В этом случае авиасимулятор может быть использован в качестве источника необходимой параметрической и визуальной информации. Целесообразность использования авиасимулятора в учебном процессе в уместных для этого случаях подтверждается положительным опытом преподавателей не только отечественных, но и зарубежных вузов [1, 4, 5, 6]. В одних случаях использование симулятора для достижения учебных целей является более дешевой альтернативой, в других – единственной возможностью.

Среди известных на сегодняшний день авиасимуляторов для реализации поставленной задачи был выбран X-Plane по причине наличия возможности и опыта получения от него необходимой информации. Способы получения данных от X-Plane широко описаны в открытых источниках, а их реализация облегчается наличием доступных примеров<sup>1,2</sup> [7, 8, 9–14].

Для демонстрации процесса записи параметрической информации, регистрируемой БУР «Тест-1» на самолете Л-39 в полете, была разработана программа, взаимодействующая с авиасимулятором X-Plane. Схема имитации работы оптического БУР «Тест-1» разработана в среде динамического моделирования технических систем SimInTech<sup>1,3</sup> [15, 7, 16].

Выбор программной среды моделирования SimInTech обусловлен тем, что она имеет русскоязычный интерфейс, содержит все необходимые инструменты для решения задач моделирования, ничем не уступающие зарубежным аналогам, и содержит множество готовых к использованию примеров для совместной работы с авиасимулятором X-Plane<sup>1</sup>. SimInTech широко используется отечественными предприятиями авиационной промышленности и вузами в связи с тем, что является отечественным программным продуктом и не подлежит импортозамещению. Кроме того, наличие лицензии на данную программу (которая в отдельных случаях может быть предоставлена бесплатно) дает возможность открыто публиковать полученные результаты исследований.

На разработанной схеме (рис. 2) присутствуют группы элементов, выполняющих следующие функции:

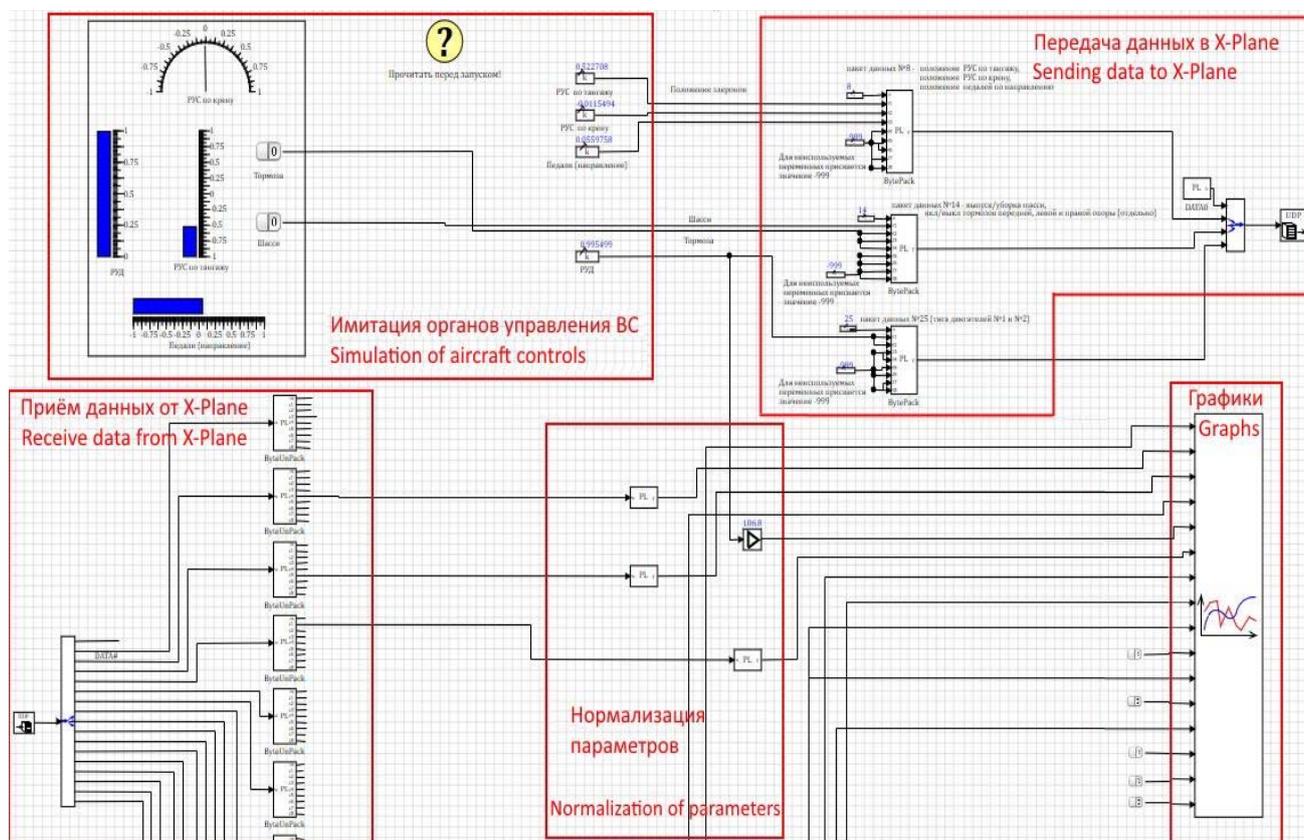
- прием и разделение данных, принимаемых от X-Plane;
- нормализацию параметров, принимаемых от X-Plane;
- вывод необходимых данных на графики;
- имитацию органов управления (с помощью специальных блоков на схеме или джойстика);
- передачу в X-Plane управляющих сигналов (положение РУС, педалей, РУД, положение тормозов, выпуск/уборка шасси).

<sup>1</sup> Настройка совместной работы SimInTech и X-Plane [Электронный ресурс] // SimInTech. URL: [https://help.simintech.ru/index.html#priemy\\_raboty/nastroika\\_sovmestnoi\\_raboty\\_SimInTech\\_i\\_X-Plane.html](https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovmestnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html) (дата обращения: 31.01.2021).

<sup>2</sup> Simulink-Xplane10 Communication Via UDP [Электронный ресурс] // MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47144-simulink-xplane10-communication-via-udp> (дата обращения: 31.01.2021).

<sup>3</sup> Демонстрационная версия SimInTech [Электронный ресурс] // SimInTech. URL: <https://project797652.turbo.site/> (дата обращения: 31.01.2021).

Для обеспечения работоспособности схемы она должна быть настроена на совместную работу SimInTech и X-Plane<sup>1</sup> [7].



**Рис. 2.** Разработанная схема имитации работы БУР «Тест-1» (Л-39)  
**Fig. 2.** Developed scheme of FDR operation simulation "Test-1" (L-39)

Некоторые регистрируемые параметры, получаемые от симулятора X-Plane, измеряются не в международных единицах измерения (высота – в футах, скорость – в милях в час), поэтому для их использования принимаемые значения должны быть нормализованы (рис. 2).

Графики параметров, зарегистрированных БУР «Тест-1», отображаются разными цветами и имеют маркеры (рис. 1). Графики параметров, полученных при имитации работы БУР «Тест-1» в среде SimInTech, также могут отображаться разными цветами и помечаться маркерами, что делает анализ наглядным и удобным, как и в реальной программе обработки полетной информации (рис. 3).

Авиасимулятор X-Plane позволяет принимать большое количество параметрической информации, регистрируемой разными типами БУР, что делает возможным разработку аналогичных схем для имитации их работы при изучении БУР, установленных на различных типах ВС.

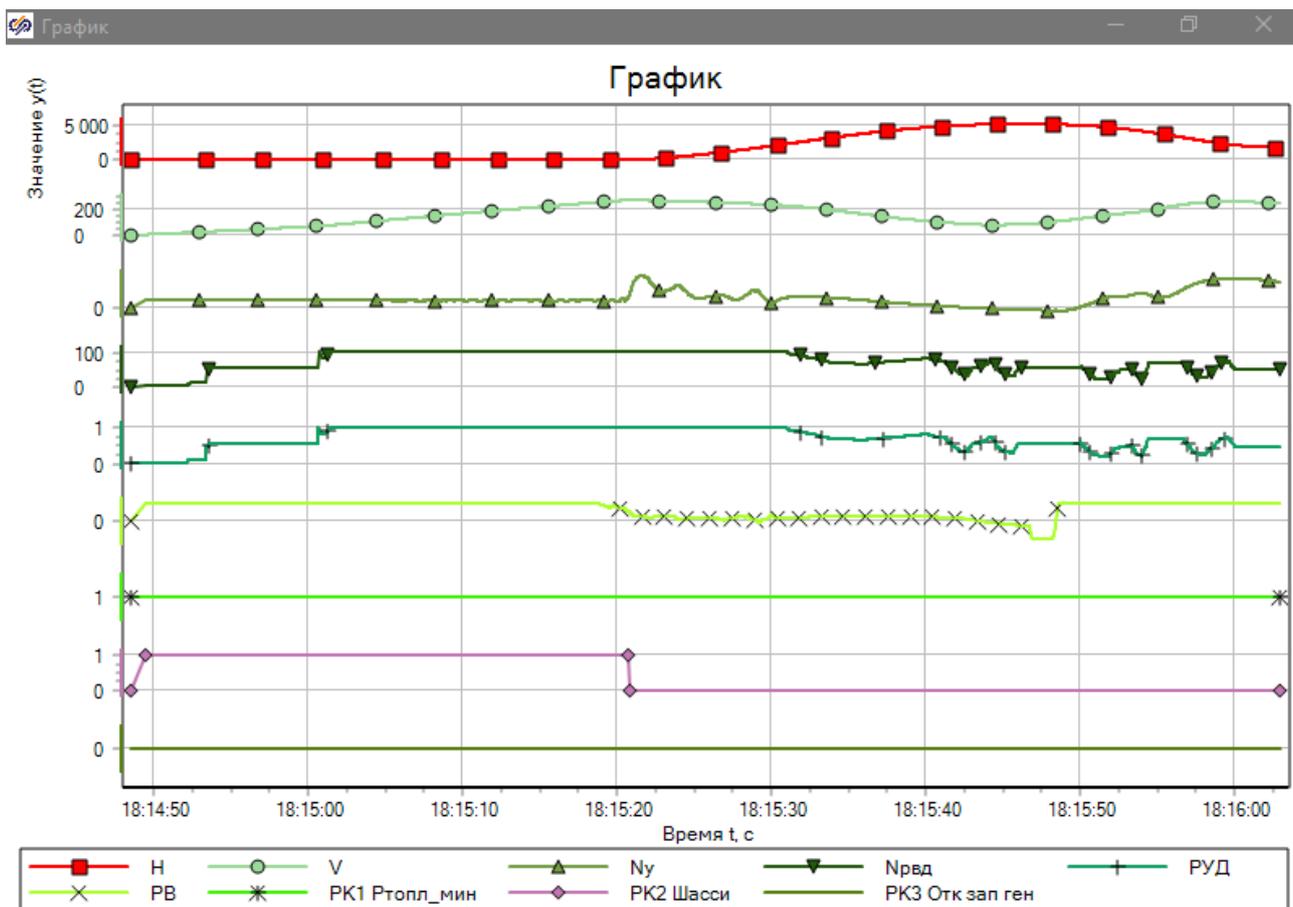


Рис. 3. Графики аналоговых параметров, полученных от авиасимулятора X-Plane  
Fig. 3. Graphs of analog parameters received from the X-Plane flight simulator

Более современные БУР (магнитные и твердотельные) регистрируют большее количество данных (аналоговых параметров, параметров в цифровом виде, разовых команд). Для имитации работы БУР «Тестер-УЗ» (на самолете Су-27) в среде SimInTech была разработана соответствующая схема.

На разработанной схеме (рис. 4) присутствуют группы элементов, выполняющих следующие функции:

- прием и разделение данных, принимаемых от X-Plane;
- вывод необходимых данных на графики;
- имитацию органов управления (с помощью специальных блоков на схеме или джойстика);
- передачу в X-Plane управляющих сигналов (положение РУС, педалей, РУД, положение тормозов, выпуск/уборка шасси).

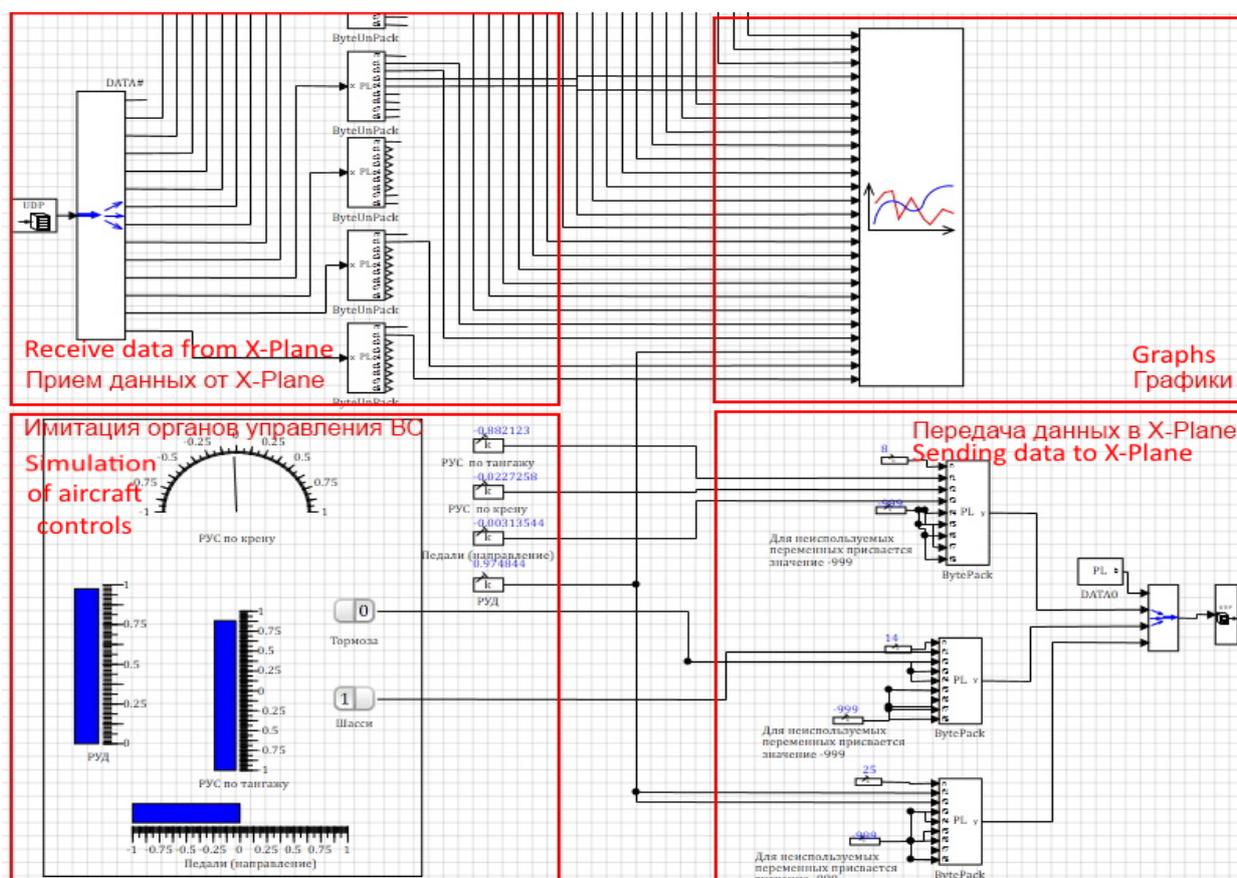


Рис. 4. Разработанная схема имитации работы БУР «Тестер-У3» (Су-27)  
Fig. 4. Developed scheme of FDR operation simulation "Tester-U3" (Sukhoi Su-27)

Для демонстрации работы БУР «Тестер-У3» в разработанной схеме реализован прием и вывод на графики некоторых аналоговых параметров, таких как приборная скорость  $V_{пр}$ , истинная скорость  $V_{ист}$ , число  $M$ , барометрическая высота  $H_{бар}$ , истинная высота  $H_{геом}$ , вертикальная перегрузка  $N_y$ , отклонение РУС по тангажу  $X_{рв}$  и по крену  $X_{эл}$ , отклонение педалей  $X_{рп}$ , угловые скорости  $\omega_z$ ,  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ , угол тангажа  $\nu$ , угол крена  $\gamma$ , курс истинный  $\psi_{ист}$ , угол атаки  $\alpha$  и др., а также разовых команд – положение крана шасси, минимальное давление топлива и др.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расшифровки полетной информации, регистрируемой БУР «Тест-1» и «Тестер-У3», используется программа «СКАТ», работающая в составе наземного устройства обработки «Топаз-М» на базе персонального компьютера<sup>4</sup>. В программе «СКАТ» аналоговые параметры выводятся на монитор в виде цветных графиков (что повышает наглядность и исключает путаницу между несколькими графиками), при этом могут отображаться не все, а только необходимые для анализа данные (рис. 5). В проекте, разработанном в среде SimInTech, также есть возможность отображения только необходимых для анализа данных (рис. 6).

На основе полученных данных возможна разработка алгоритма автоматического распознавания выполнения фигур высшего пилотажа, определения момента взлета, посадки, опреде-

<sup>4</sup> Программное обеспечение «СКАТ» [Электронный ресурс] // АО «НПП «ТОПАЗ». URL: <https://topazlab.ru/products/ckat-system/#> (дата обращения: 31.01.2021).

ления максимальной и минимальной перегрузки, а также проведение экспресс-анализа, как в реальном наземном устройстве обработки «Топаз-М», однако такая задача для проведения учебного занятия не ставилась.

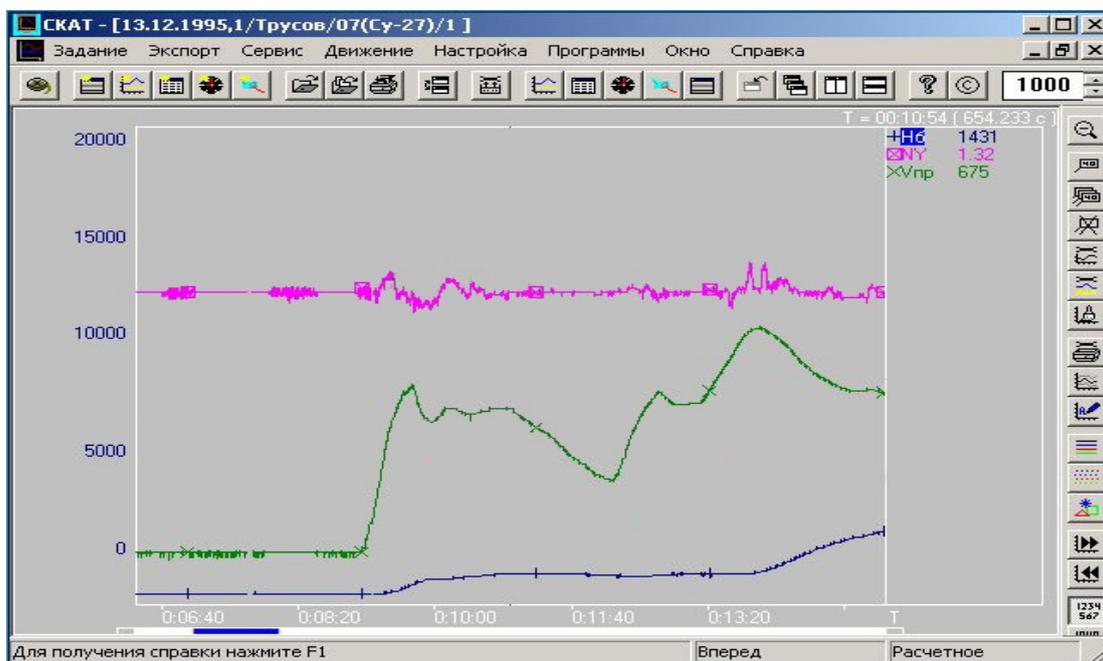


Рис. 5. Графики аналоговых параметров, регистрируемых БУР «Тестер-У3» (Су-27)  
Fig. 5. Graphs of analog parameters recorded by FDR "Tester-U3" (Sukhoi Su-27)

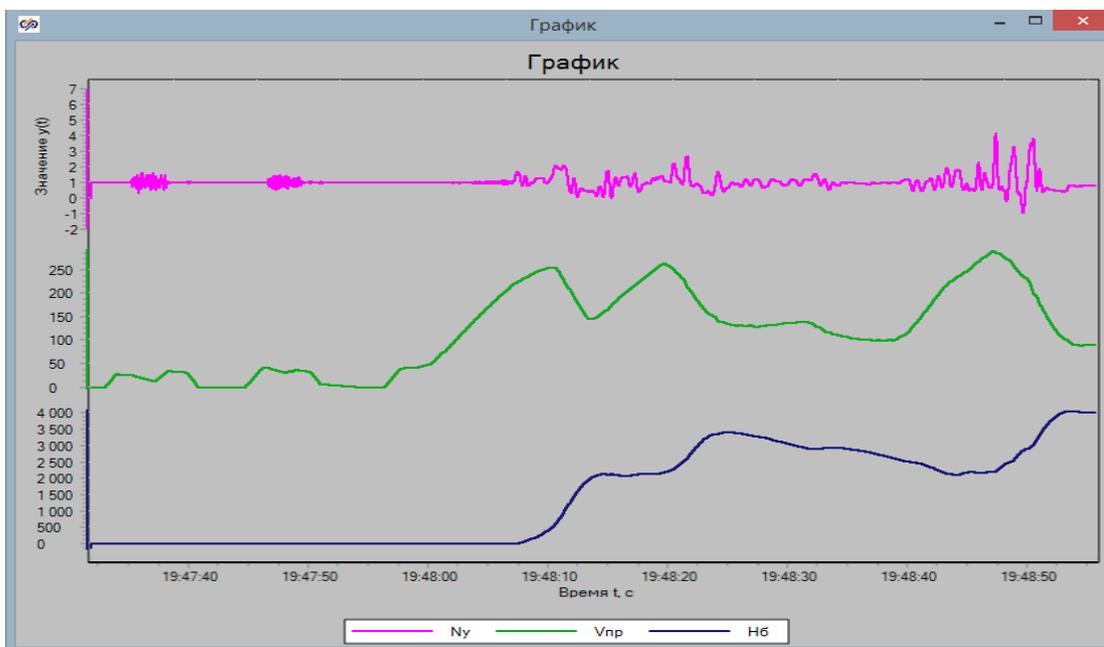


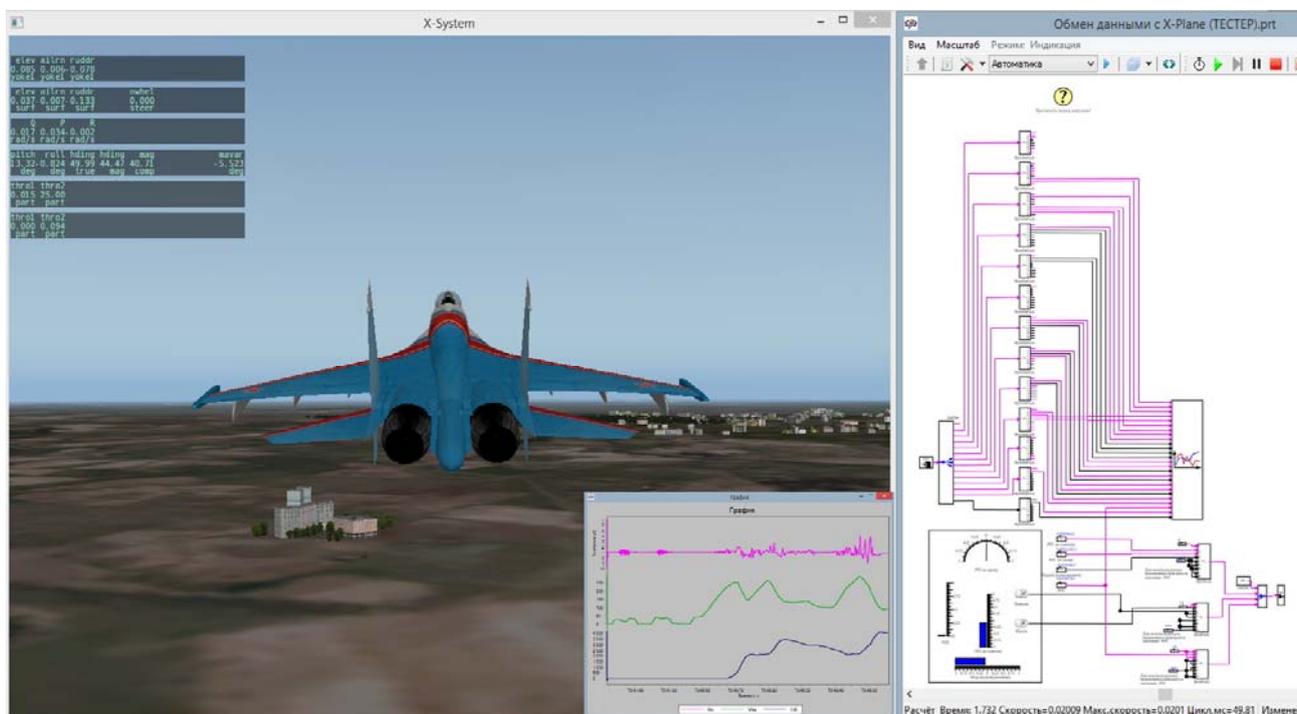
Рис. 6. Графики в SimInTech параметров, полученных от авиасимулятора X-Plane  
Fig. 6. Graphs of SimInTech parameters obtained from the X-Plane flight simulator

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоинством использования авиасимулятора при проведении учебных занятий является наглядность представления анализируемых данных в динамике, так как при отклонении органов управления (джойстика или имитирующих его блоков на схеме) меняется угловое положение модели ВС, скорость, высота полета и другие параметры. При этом видно как строятся графики этих параметров, что дает более полное представление о работе БУР и улучшает понимание логики обработки полетной информации.

Однако использование авиасимулятора в учебном процессе ограничивается навыками работы с ним и с программами, позволяющими принимать и обрабатывать полученные данные. Владение инструментами среды моделирования SimInTech предоставляет большие возможности проектирования, моделирования и обработки информации, что позволяет составлять (воспроизводить) схемы реальных авиационных систем различного принципа действия (электрических, гидравлических и др.) для проведения исследований или других целей.

Знание заложенных в авиасимулятор возможностей, владение ими и уместное их использование на конкретном занятии требует определенного опыта и времени для подготовки [2, 3, 4, 17]. В отдельных случаях достаточно использования статичного изображения ВС при заданном угловом положении или на рассматриваемом этапе полета, в других случаях необходима видеозапись с экрана, например при выполнении элементов пилотажа, как с ошибками пилотирования, так и без них. В рассматриваемом случае для достижения учебных целей положительный результат дает использование авиасимулятора в режиме реального времени, когда от взлета до посадки обучающиеся видят динамику полета, изменение углового положения ВС и получают наглядное представление об этих изменениях в графическом виде (рис. 7).



**Рис. 7.** Совместная работа X-Plane с проектом, имитирующим работу БУР «Тестер-У3» в среде SimInTech  
**Fig. 7.** X-Plane collaborates with a project that simulates the operation of the "Tester-U3" FDR in the SimInTech environment

Разработка представленных схем имитации работы БУР стала возможной благодаря наличию готовых проектов, реализующих взаимодействие SimInTech и X-Plane, которые подробно описаны<sup>5</sup> [7] и размещены в папке с демо-примерами «C:\SimInTech64\Demo\Интеграция со сторонним ПО\X-Plane» и доступны пользователю сразу после установки среды моделирования SimInTech.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов проведенной работы, можно сделать вывод о том, что совместное использование авиасимулятора X-Plane и среды динамического моделирования технических систем SimInTech дает возможность создавать схемы различных авиационных систем, позволяя демонстрировать алгоритм их работы при проведении учебных занятий в авиационных вузах. Такой подход оправдывает себя при отсутствии возможности демонстрации реальных образцов изучаемых систем и агрегатов во время их работы, а также при проведении занятий в рамках дистанционного обучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Козин Н.А., Епанчин М.И., Кахановский Д.В.** Авиационный симулятор как достойная альтернатива тренажной подготовки летного состава // Научные чтения им. проф. Н.Е. Жуковского: сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции. Краснодар, 20–22 декабря 2016 г. Министерство обороны Российской Федерации, КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А.К. Серова. Краснодар: Издательский дом – Юг, 2017. С. 41–45.
2. **Князев А.С.** Совместное использование авиасимулятора X-Plane 9 и программной среды C++Builder 6 для разработки и исследования систем автоматического управления летательных аппаратов // II Всероссийская научно-практическая конференция «АВИАТОР»: сборник научных статей. Воронеж, 11–13 февраля 2015 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. Т. 2. С. 81–85.
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. Вып. 24. С. 164–169.
4. **Князев А.С.** Использование авиасимулятора в качестве современного средства визуализации в учебном процессе авиационного вуза // Инновационные технологии в образовательном процессе: сборник материалов XXI Всероссийской заочной научно-практической конференции. Краснодар, 27–28 мая 2020 г. КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А.К. Серова, 2020. С. 57–62.
5. **Nowakowski H., Makarewicz J.** Flight simulation devices in pilot air training // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2018. No. 98. P. 111–118. DOI: 10.20858/sjsutst.2018.98.11
6. **Ruiz S., Aguado C., Moreno R.** A teaching experience using a flight simulator: educational simulation in practice // Journal of Technology and Science Education (JOTSE). 2014. Vol. 4, no. 3. P. 181–200. DOI: 10.3926/jotse.129
7. **Князев А.С.** Совместное использование авиасимулятора X-Plane и среды SimInTech для исследования работы авиационных систем [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2021. № 117. 19 с. DOI: 10.34759/trd-2021-117-15 (дата обращения: 12.02.2021).

---

<sup>5</sup> Настройка совместной работы SimInTech и X-Plane [Электронный ресурс] // SimInTech. URL: [https://help.simintech.ru/index.html#priemy\\_raboty/nastroika\\_sovместnoi\\_raboty\\_SimInTech\\_i\\_X-Plane.html](https://help.simintech.ru/index.html#priemy_raboty/nastroika_sovместnoi_raboty_SimInTech_i_X-Plane.html) (дата обращения: 31.01.2021).

**8. de Castro D.F.** Simulation scheme for quadricopter control with LabView and X-Plane / D.F. de Castro, I.A.A. Prado, P.F.S.M. Goncalves, D.A. dos Santos, L.C.S. Goes [Электронный ресурс] // Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, 2013. Vol. 1, no. 1. DOI:10.5540/03.2013.001.01.0149 (дата обращения: 31.01.2021).

**9. Shin H.G.** Implementation of an integrated test bed for avionics system development / H.G. Shin, M.C. Park, J.S. Jun, Y.H. Moon, S.W. Ha, in Kim T. et al. (eds) // Software Engineering, Business Continuity, and Education. ASEA 2011. Communications in Computer and Information Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. Vol. 257. P. 416–423. DOI: 10.1007/978-3-642-27207-3\_46

**10. Staack I.** Towards a complete co-simulation model integration including HMI aspects / I. Staack, J. Schminder, O. Shahid, R. Braun // Proceedings of the 10th Aerospace Technology Congress. Stockholm, Sweden, 8–9 October 2019. P. 112–119. DOI: 10.3384/ecp19162012

**11. Mairaj A., Baba A.I., Javaid A.Y.** Application specific drone simulators: recent advances and challenges // Simulation Modelling Practice and Theory. 2019. Vol. 94. P. 100–117. DOI: 10.1016/j.simpat.2019.01.004

**12. 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. P. 557–561. DOI: 10.1109/ICUAS.2016.7502545

**13. Jalovecký R., Bystřický R.** On-line analysis of data from the simulator X-plane in MATLAB // International Conference on Military Technologies (ICMT). Czech Republic, Brno, 31 May – 2 June 2017. P. 592–597. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988826

**14. Cameron B.** Development and implementation of cost-effective flight simulator technologies / B. Cameron, H. Rajaei, B. Jung, R.G. Langlois // Proceedings of the 3rd International Conference on Control, Dynamic Systems, and Robotics (CDSR'16). Canada, Ottawa, 9–10 May 2016. No. 126. P. 1–8. DOI: 10.11159/cdsr16.126

**15. Смагин Д.И.** Моделирование системы кондиционирования воздуха перспективного пассажирского самолета в программном комплексе SimInTech / Д.И. Смагин, К.И. Старостин, Р.С. Савельев, Т.А. Кобринец, А.А. Сатин, А.В. Суворов, Н.И. Молодушная, А.В. Цыплаков, П.И. Медведев // Computational nanotechnology. 2018. № 3. С. 24–31.

**16. Булгаков В.В., Каравашкина Е.О., Кулабухов В.С.** Стенд математического моделирования алгоритмов управления летательными аппаратами на основе авиасимулятора X-Plane // Перспективные направления развития бортового оборудования гражданских воздушных судов: материалы докладов 4-й Международной научно-практической конференции. Жуковский, 20 июля 2017 г. Москва: ГОСНИИАС, 2017. С. 46–50.

**17. Пирогов П.Д.** Некоторые аспекты создания авиасимуляторов // Информационные технологии в управлении и экономике. 2016. № 2 (05). С. 30–42.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Князев Алексей Сергеевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков, knyazev.aleksei.87@gmail.com.

## THE USE OF THE X-PLANE FLIGHT SIMULATOR AND SIMINTECH ENVIRONMENT IN THE EDUCATIONAL PROCESS DURING THE PRACTICAL LESSON "FLIGHT DATA PROCESSING"

Alexey S. Knyazev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Krasnodar Air Force Institute for Pilots, Krasnodar, Russia*

### ABSTRACT

During training sessions at an aviation university, it is advisable to demonstrate samples of aviation equipment, individual elements of systems and assemblies, or use specialized stands and posters. However, when conducting classes remotely, not all of these materials can be used, since it is not always possible to show them in dynamics and thus ensure the formation of a clear idea of students about the object being studied. The article considers an example of using a flight simulator in the educational process as a means of visualizing aviation equipment during a practical lesson "Flight data processing". Visual perception of the materials of objective control does not give a complete understanding of the dynamics of the aircraft flight, its attitude while executing pilotage and aerobatics elements, therefore, it is necessary to demonstrate the performance of flight elements with the simultaneous display of flight parameters in a graphical form. For this purpose, the X-Plane flight simulator is used, for interaction with which a project has been developed in the SimInTech environment that implements data exchange for flight control of an aircraft model and registration of parametric information for its further analysis. Schemes for simulating the operation of on-board recording devices are described. The ways of solving the tasks are described. The possibility of using the developed projects for remote training of aviation specialists, as well as the implementation of the results obtained in the educational process of aviation universities, is indicated.

**Key words:** flight simulator, X-Plane, SimInTech, FDR, flight data recorder, parametric flight information.

### REFERENCES

1. **Kozin, N.A., Epanchin, M.I. and Kaxanovskiy, D.V.** (2017). *Aviatsionnyy simulyator kak dostoyhnaya alternativa trenazhnoy podgotovki letnogo sostava* [Aviation simulator as a worthy alternative to flight crew training]. Nauchnyye chteniya im. prof. N.Ye. Zhukovskogo: sbornik nauchnykh statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proceedings of scientific readings to them. prof. NOT. Zhukovsky: VII International Scientific and Practical Conference]. Krasnodar: Izdatelskiy Dom – Yug, p. 41–45. (in Russian)
2. **Knyazev, A.S.** (2015). *Sovmestnoye ispolzovaniye aviasimulyatora X-Plane 9 i programmnoy sredy C++Builder 6 dlya razrabotki i issledovaniya sistem avtomaticheskogo upravleniya letatelnykh apparatov* [Joint use of the X-Plane 9 flight simulator and the C++ Builder 6 software environment for the development and research of automatic aircraft control systems]. II Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «AVIATOR»: sbornik nauchnykh statey [Proceedings of the Second All-Russian scientific and practical conference "AVIATOR"]. Voronezh: VUNTS VVS "VVA", vol. 2, p. 81–85. (in Russian)
3. **Knyazev, A.S.** (2020). *Using the flight simulator in the educational process during the group lesson «modes of acs operation»*. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Krasnodar: KVVAUL, issue 24, p. 164–169. (in Russian)
4. **Knyazev, A.S.** (2020). *Using a flight simulator as a modern visualization tool in the educational process of an aviation university*. Innovatsionnyye tekhnologii v obrazovatelnom protsesse: sbornik materialov XXI Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovative technologies in the educational process: proceedings of the XXI All-Russian correspondence scientific and practical conference]. Krasnodar: KVVAUL im. Geroya Sovetskogo Soyuza A.K. Serova, p. 57–62. (in Russian)
5. **Nowakowski, H. and Makarewicz, J.** (2018). *Flight simulation devices in pilot air training*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, no. 98, p. 111–118. DOI: 10.20858/sjsutst.2018.98.11
6. **Ruiz, S., Aguado, C. and Moreno, R.** (2014). *A teaching experience using a flight simulator: educational simulation in practice*. Journal of Technology and Science Education (JOTSE), vol. 4, no. 3, p. 181–200. DOI: 10.3926/jotse.129

7. **Knyazev, A.S.** (2021). *Joint use of the X-Plane flight simulator and the SimInTech environment to study the operation of aviation systems*. Trudy MAI, no. 117, 19 p. DOI: 10.34759/trd-2021-117-15 (accessed: 12.02.2021). (in Russian)
8. **de Castro, D.F., Prado, I.A.A., Goncalves, P.F.S.M., dos Santos, D.A. and Goes, L.C.S.** (2013). *Simulation scheme for quadricopter control with LabView and X-Plane*. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, vol. 1, no. 1. DOI: 10.5540/03.2013.001.01.0149 (accessed: 31.01.2021).
9. **Shin, H.G., Park, M.C., Jun, J.S., Moon, Y.H. and Ha, S.W.** (2011). *Implementation of an integrated test bed for avionics system development*. In Kim T. et al. (eds) Software Engineering, Business Continuity, and Education. ASEA 2011. Communications in Computer and Information Science. Springer, Berlin, Heidelberg, vol. 257, p. 416–423. DOI: 10.1007/978-3-642-27207-3\_46
10. **Staack, I., Schminder, J., Shahid, O. and Braun, R.** (2019). *Towards a complete co-simulation model integration including HMI aspects*. Proceedings of the 10th Aerospace Technology Congress, p. 112–119. DOI: 10.3384/ecp19162012
11. **Mairaj, A., Baba, A.I. and Javaid, A.Y.** (2019). *Application specific drone simulators: recent advances and challenges*. Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 94, p. 100–117. DOI: 10.1016/j.simpat.2019.01.004
12. **Lombardo, C., Miller, I. and Wallace, J.** (2016). *Studying the interaction of UAS and human pilots using the X-Plane flight simulator*. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), p. 557–561. DOI: 10.1109/ICUAS.2016.7502545
13. **Jalovecký, R. and Bystřický, R.** (2017). *On-line analysis of data from the simulator X-plane in MATLAB*. International Conference on Military Technologies (ICMT). Czech Republic, Brno, p. 592–597. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988826
14. **Cameron, B., Rajae, H., Jung, B. and Langlois, R.G.** (2016). *Development and implementation of cost-effective flight simulator technologies*. Proceedings of the 3rd International Conference on Control, Dynamic Systems, and Robotics (CDSR'16). Canada, Ottawa, no. 126, p. 1–8. DOI: 10.11159/cdsr16.126
15. **Smagin, D.I., Starostin, K.I., Savelyev, R.S., Kobrinets, T.A., Satin, A.A., Suvorov, A.V., Moloduchnaya, N.I., Tsyplakov, A.V. and Medvedev, P.I.** (2018). *Simulation of air conditioning system perspective of a passenger plane in the software package simintech*. Computational nanotechnology, no. 3, p. 24–31. (in Russian)
16. **Bulgakov, V.V., Karavashkina, E.O. and Kulabuxov, V.S.** (2017). *Stend matematicheskogo modelirovaniya algoritmov upravleniya letatelnyimi apparatami na osnove aviasimulyatora X-Plane* [Stand for mathematical modeling of aircraft control algorithms based on the X-Plane flight simulator]. Perspektivnyye napravleniya razvitiya bortovogo oborudovaniya grazhdanskikh vozdukhnykh sudov: materialy dokladov 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Perspective directions of development of onboard equipment of civil aircraft: proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference]. Moscow: GOSNIAS, p. 46–50. (in Russian)
17. **Pirogov, P.D.** (2016). *Some aspects of the simulation*. Information technologies in management and economics, no. 2 (05), p. 30–42. (in Russian)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Alexey S. Knyazev**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Krasnodar Air Force Institute for Pilots, knyazev.aleksei.87@gmail.com.

Поступила в редакцию  
Принята в печать

22.07.2021  
25.11.2021

Received  
Accepted for publication

22.07.2021  
25.11.2021