

УДК 04.891

DOI 10.51955/2312-1327_2024_4_116

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «АВИАТЕХПОМ» ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

*Александр Юрьевич Юрин,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
доктор технических наук, профессор
Иркутский национальный исследовательский
технический университет (ИРНИТУ),
ул. Лермонтова, д. 83
Иркутск, 664074, Россия
iskander@icc.ru*

*Сергей Юрьевич Утехин,
orcid.org/0009-0004-9271-3645,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
(Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, д. 3
Иркутск, 664003, Россия
s.utekhin@iraero.ru*

Аннотация. Ремонт и техническое обслуживание в гражданской авиации остаются важными для обеспечения безопасности перевозок процессами, для повышения качества и оперативности которых используются информационные технологии и методы искусственного интеллекта. При этом в условиях санкционных ограничений перспективным является расширение набора отечественного программного обеспечения, реализующего как функции электронных технических руководств, так и систем поддержки принятия решений. Одной из подобных систем является платформа Авиационный Технический Помощник (АвиаТехПом). В статье представлено описание одного из ее компонентов – настольного приложения, в структуре которого можно выделить: подсистему поддержки поиска и устранения неисправностей, использующую как локальные файлы баз знаний, так и взаимодействующую с базами веб-сервиса; модуль чтения файлов бортовой системы технического обслуживания (БСТО); анализатор дампов энергонезависимой памяти блока вычислителя-контроллера электропривода. Приведены примеры применения настольного приложения при решении задач для самолета RRJ-95.

Ключевые слова: АвиаТехПом, интеллектуальная система, диагностика авиационных систем и комплексов, Сухой Суперджет, настольное приложение, чтение дампов.

APPLICATION OF AVIA TEKH POM SOFTWARE AND ALGORITHMS IN SOLVING AIRCRAFT REPAIR AND MAINTENANCE TASKS

*Aleksandr Yu. Yurin,
orcid.org/0000-0001-9089-5730,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Irkutsk National Research Technical University,
st. Lermontov, 83
Irkutsk, 664074, Russia
iskander@icc.ru*

*Sergey Yu. Utekhin,
orcid.org/0009-0004-9271-3645,
Moscow State Technical University
of Civil Aviation (Irkutsk Branch),
3, Kommunarov str.
Irkutsk, 664003, Russia
s.utekhin@iraero.ru*

Abstract. Repair and maintenance in civil aviation are important processes for providing transportation safety. To improve the quality and efficiency of these processes is possible with the help of information technologies and artificial intelligence methods. At the same time, under the conditions of sanctions restrictions, it is urgent to expand the set of domestic software that implements both the functions of electronic technical manuals and decision support systems. One of these systems is the Aviation Technical Assistant (AviaTekhPom) platform.

The paper issues one of its components – a desktop application that contains the following subsystems: a troubleshooting support that uses both local knowledge base files and interacting with web service databases; an on-board maintenance system (OBMS) file reader; a dump analyzer of non-volatile memory of motor and actuator control electronics (MACE). The authors demonstrate the examples of the use of a desktop application for the RRJ-95 aircraft.

Keywords: AviaTekhPom, intelligent system, diagnostics of aviation systems and complexes, Sukhoi Superjet, desktop application, reading dumps.

Введение

Автоматизация и интеллектуализация технического обслуживания гражданских воздушных судов остается важной научно-практической проблемой [Кирпичев и др., 2020; Макаров, 2008; Перфильев и др., 2018; Котлов и др., 2023; Котлов и др., 2024] особенно в условиях санкционного давления и импортозамещения. Одним из перспективных способов ее решения является создание отечественного программного обеспечения для поддержки технических специалистов [Котлов и др., 2024; Сухих и др., 2022; Chiu et al., 2004; Knowledge..., 2023] в форме комплексных решений, реализующих как функции электронных руководств [AirNav-Maintenance, 2024; MyBoeingFleet, 2024], так и систем искусственного интеллекта [Зрячев и др., 2022; Перфильев и др., 2018] в совокупности с методами математической теории принятия решений [Котлов, 2022].

В Иркутском филиале МГТУ ГА в рамках инициативных НИР создается подобное программно-алгоритмическое обеспечение – Авиационный Технический Помощник (АвиаТехПом) [Towards..., 2023]. В статье

представлено описание его функциональных возможностей в части настольного приложения АвиаТехПом.Терминал [Свидетельство..., 2024].

АвиаТехПом: концепция и общее описание

Концептуально, АвиаТехПом представляет собой платформу для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений при поиске и устранении отказов и неисправностей воздушного судна. При этом реализуются классические методы искусственного интеллекта: рассуждения на основе прецедентов [Варшавский и др., 2009; Aamodt et al., 1994] и логических правил (продукций) [Джексон, 2001]. Комплексное применение этих методов позволяет использовать в процессе поддержки специалистов как статистику отказов в форме оцифрованных КУНАТ, так и формализованные руководства (РПУН и РЭ).

Основное назначение создаваемых на платформе систем – обеспечить оперативную информационную поддержку техников аэродромных служб и, тем самым, снизить затраты времени при поиске и устранении отказов и неисправностей, а также обеспечить фиксацию результатов диагностики и ремонта с целью их последующего повторного использования.

Структурно в составе АвиаТехПом можно выделить следующие основные подсистемы:

1) Веб-сервис (АвиаТехПом.Сервис) – обеспечивает хранение данных и знаний на сервере в базе данных с возможностью масштабирования нагрузки и контейнеризации ресурсов; использует СУБД для хранения данных и знаний; поддерживает их выгрузку в текстовые файлы формата CSV (Comma-Separated Values), которые могут быть отдельно использованы настольным приложением; для функционирования необходим доступ к Интернет; расширение и модификация базы данных осуществляется централизованно на сервере; возможна синхронизация хранимой информации с локальными (настольными) приложениями по требованию.

2) Настольное приложение (АвиаТехПом.Терминал) – использует механизм хранения данных и знаний на локальном устройстве в форме CSV-файлов, которые могут быть созданы и модифицированы в текстовых и табличных редакторах, например, Microsoft Excel; обеспечивает функционирование без доступа к Интернет; возможно расширение и модификация CSV-файлов пользователем; необходимо обновление файлов при выпуске новых редакций технической документации.

3) Виртуальный ассистент (АвиаТехПом.Ассистент) [An Intelligent Assistant..., 2023] – обеспечивает хранение данных и знаний на сервере (используется единая база данных с АвиаТехПом.Сервис); для функционирования необходим доступ к Интернет; расширение и модификация информации осуществляется централизованно на сервере; возможно общение с пользователем на естественном языке (голос или текст).

Отработка алгоритмов платформы и ее тестирование осуществляется на примере задач технического обслуживания и ремонта воздушных судов Сухой Суперджет 100 (RRJ-95). В рамках данной работы основное внимание уделено

настольной версии программно-алгоритмического обеспечения АвиаТехПом – АвиаТехПом.Терминал.

АвиаТехПом.Терминал: архитектура и функции

Настольное приложение АвиаТехПом.Терминал создано с использованием программы-оболочки iDSS.Desktop [iDSS.Desktop..., 2024], обеспечивающей возможность перенастройки создаваемой системы под различные типы воздушных судов, при этом данные и знания хранятся в форме таблиц решений [Pollack et al., 1974; Seagle et al., 1995].

Основные функции АвиаТехПом.Терминал [Котлов и др., 2024; Towards..., 2023]: ввод, редактирование и хранение информации о системах воздушного судна, технической эксплуатации, отказах, неисправностях и работах по поиску и устранению неисправностей (отказов); поиск информации об отказах и неисправностях на основе информации БСТО и системы электронной индикации (СЭИ) с целью формирования списка возможных отказавших систем-претендентов; ввод, редактирование и хранение информации о новых отказах и неисправностях, неучтенных текущей версией документации; формирование плана работ по поиску, подтверждению и устранению отказов и неисправностей; сопровождение процесса технического обслуживания на основе предметно-ориентированного интерфейса.

АвиаТехПом.Терминал включает следующие основные подсистемы (Рисунок 1):

- подсистему поддержки поиска и устранения неисправностей;
- модуль чтения файлов БСТО;
- анализатор дампов энергонезависимой памяти блока вычислителя-контроллера электропривода.



Рисунок 1 – Концептуальная архитектура AviaTechPom.Терминал

Подсистема поддержки поиска и устранения неисправностей

Подсистема поддержки поиска и устранения неисправностей предназначена для поддержки технических специалистов при поиске и устранении неисправностей воздушного судна.

Информация о кодах отказов, зафиксированных БСТО, и сообщения СЭИ используются в качестве входных данных для формирования запросов к базам знаний, которые позволяют сформировать список возможных систем-кандидатов на отказ, а также последовательность действий по устранению неисправностей (Рисунок 2).

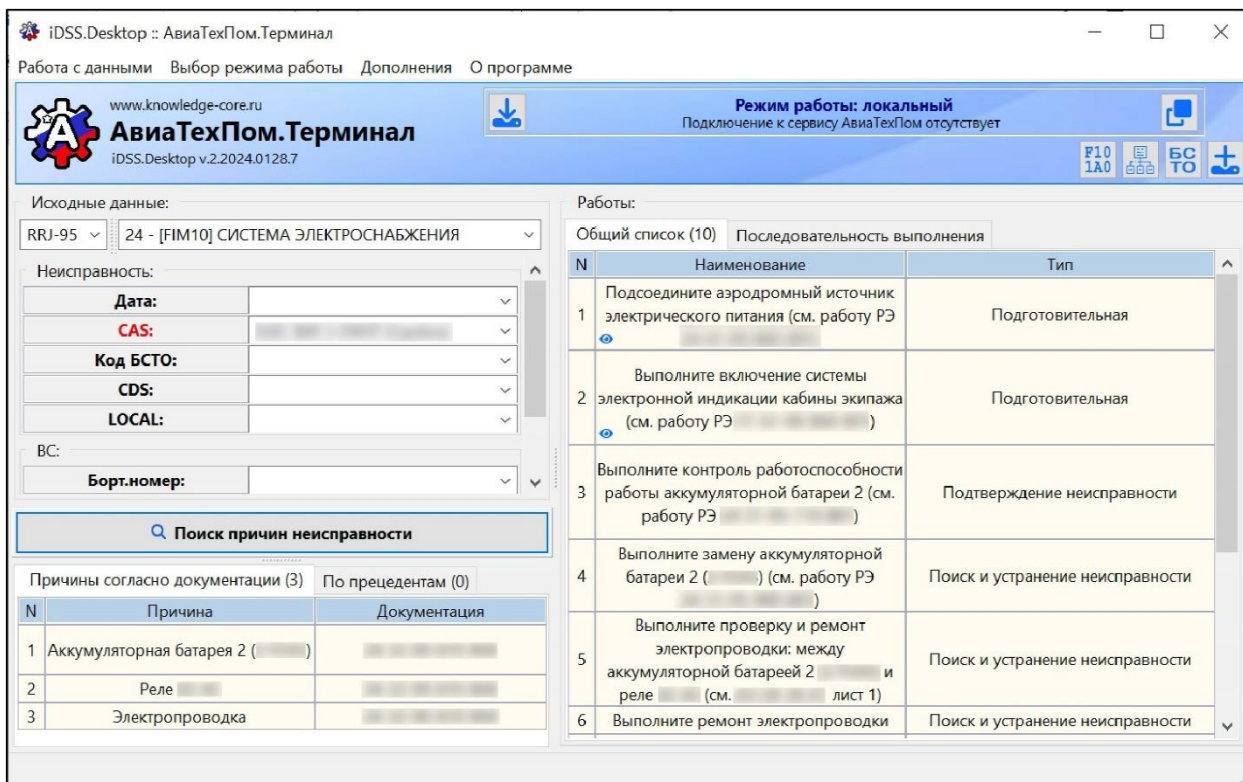


Рисунок 2 – Фрагмент экранной формы AviaTexPom.Терминал с возможными причинами неисправности и общим списком работ

Далее, при выборе начальной работы (действия) происходит последовательное сопровождение всего процесса поиска и устранения неисправности с фиксацией результата.

Подсистема поддерживает возможность обращения к серверу (Рисунок 3) и загрузку данных из его базы данных, а также подключение и отображение доступной документации в форме PDF.

Модуль чтения файлов БСТО

Модуль чтения файлов БСТО RRJ-95 функционирует в составе AviaTexPom.Терминал. Основное назначение модуля – декодирование файлов базы данных зафиксированных отказов (скриптов) БСТО с целью выявления кодов неисправностей и автоматического заполнения запросной системы подсистемы поддержки поиска и устранения неисправностей (Рисунок 4). Данный модуль является аналогом системы Release CMS [ReleaseCMS, 2024].

Анализатор дампов

AviaTexPom.ДамАнализатор является настольным приложением для анализа дампов энергонезависимой памяти вычислителя-контроллера электропривода (Motor and Actuator Control Electronic, MACE), входящего в электродистанционную систему управления самолетом (Flight Control System, FCS) RRJ-95. Обеспечивается анализ дампов энергонезависимой памяти трех

каналов блока: CC (Control Channel), MC (Monitor Channel) и MCC (Motor Control Channel).

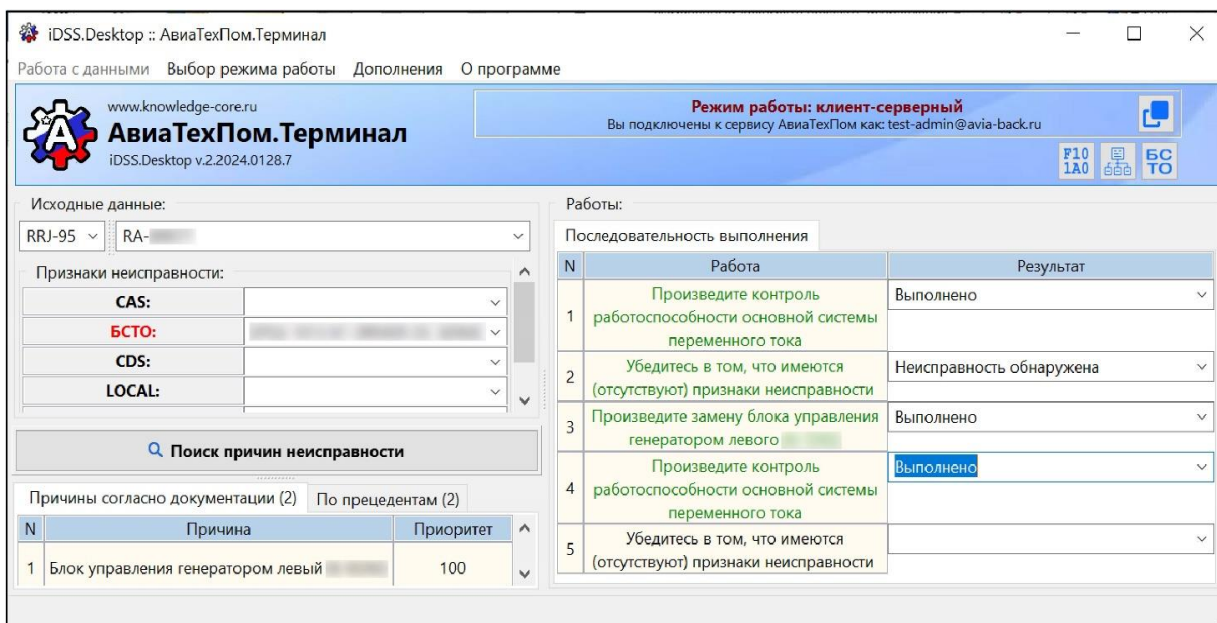


Рисунок 3 – Фрагмент экранной формы AviaTechPom.Терминал с подключением к веб-серверу

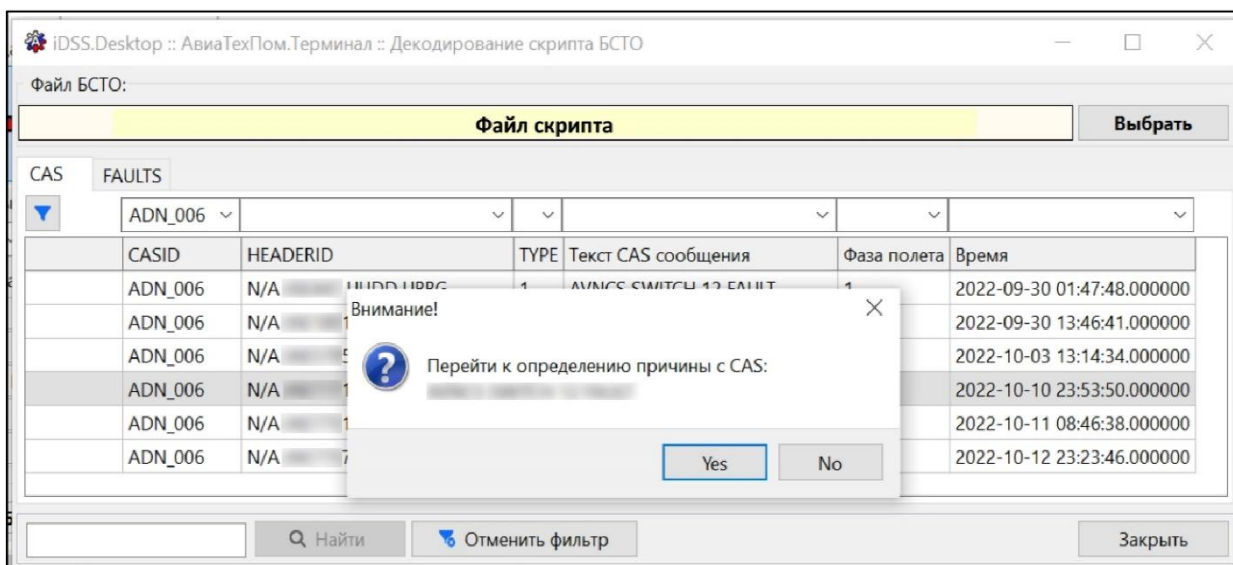


Рисунок 4 – Фрагмент экранной формы модуля чтения файлов БСТО

Программа может работать как в составе AviaTechPom.Терминал, так и отдельно, поскольку предназначена для локализации неисправностей блока при его ремонте в специализированных ремонтных организациях. Для настройки на определенные коды неисправностей используются текстовые конфигурационные файлы, благодаря которым программа позволяет находить в файле дампа заданные комбинации кодов и выводить соответствующие им описания.

Основные подсистемы (Рисунок 5):

- управления уровнем хранения данных – обеспечивает загрузку данных в формате программы и дампов;
- взаимодействия с АвиаТехПом.Сервис для сбора статистической информации об использовании программы;
- анализатор дампов;
- графический пользовательский интерфейс – обеспечивает доступ к функциям подсистем, включая: загрузку дампов-файлов, их анализ, публикацию обнаруженных ошибок в дампах.

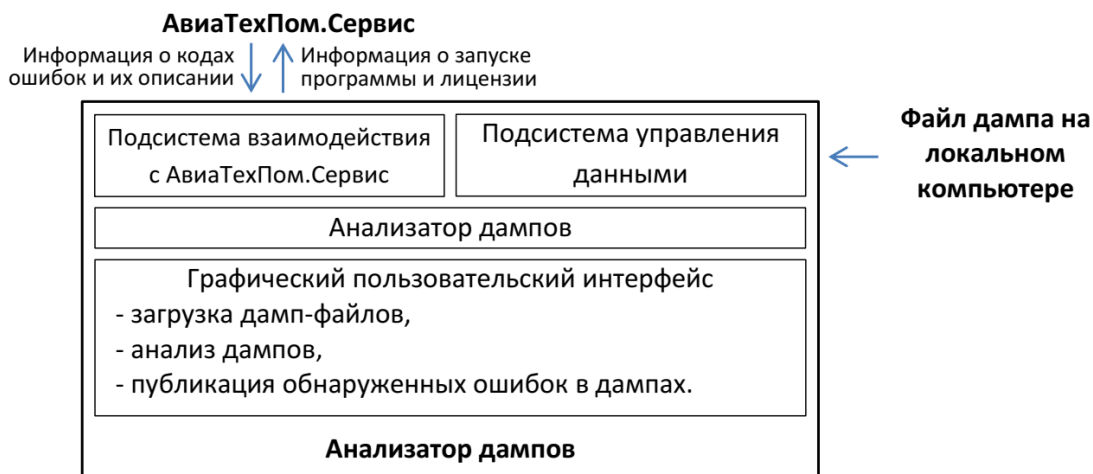


Рисунок 5 – Концептуальная архитектура анализатора дампов

Основное назначение ПО – поиск кодов ошибок в загруженных файлах дампа. Данная процедура запускается автоматически при выборе и успешной загрузке файлов (Рисунок 6). При обнаружении кодов ошибок советующая информация с описанием отображается в блоке «Список обнаруженных ошибок», где при выборе определенной ошибки происходит позиционирование на определенную строчку файла дампа.

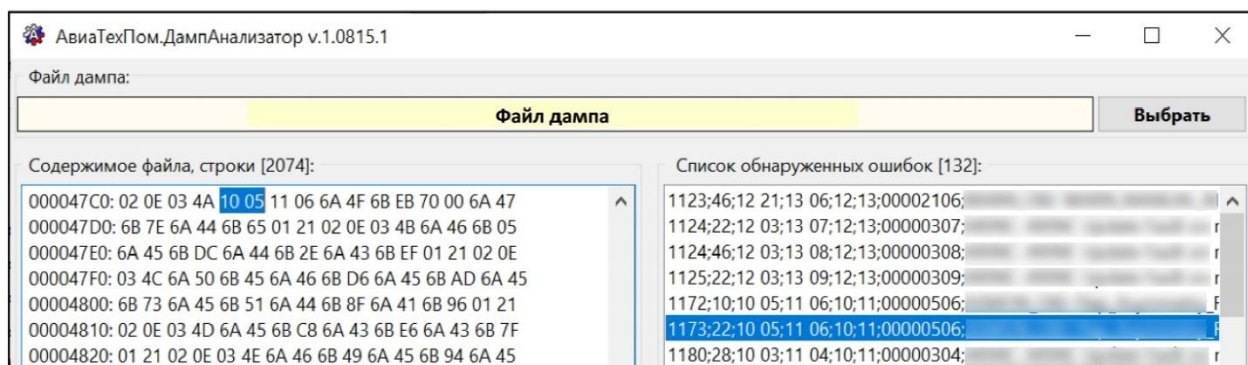


Рисунок 6 – Фрагмент экранной формы анализатора дампов с обнаруженными ошибками

Заключение

Создание отечественного программного обеспечения для поддержки специалистов является перспективным способом решения задачи автоматизации и интеллектуализации технического обслуживания

гражданских воздушных судов. Подобное программное обеспечение создается в рамках выполнения работ по инициативным НИР Иркутского филиала МГТУ ГА.

В данной работе рассматриваются результаты одного из проектов – программная платформа Авиационный Технический Помощник (АвиаТехПом), в частности, ее настольная версия. В структуре настольной версии выделяется: подсистема поддержки поиска и устранения неисправностей, которая использует как локальные файлы баз знаний, так и взаимодействует с базами веб-сервиса; модуль чтения файлов БСТО; анализатор дампов энергонезависимой памяти (АвиаТехПом.ДамАнализатор) одного из блоков вычислителя-контроллера электропривода. Приведены примеры применения настольного приложения при решении задач для RRJ-95.

В качестве дальнейшего направления работ рассматривается возможность создания диагностических моделей [Котлов, 2022], дополняющих реализованные методы искусственного интеллекта, при этом их использование обеспечит решение задачи поиска и устранения неисправностей для новых типов воздушных судов при отсутствии БСТО и РПУН.

Библиографический список

Варшавский П. Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П. Р. Варшавский, А. П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45-57. EDN KWTRGZ.

Джесксон П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 623 с.

Зрячев С. А. Разработка базы знаний послепродажного обслуживания авиационной техники / С. А. Зрячев, С. Н. Ларин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. №5. С. 48-53. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-5-48-53.

Кирпичев И. Г. Многофункциональная интегрированная платформа сопровождения технической эксплуатации воздушных судов / И. Г. Кирпичев, Д. В. Петров, Ю. М. Чинючин // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020. Т. 23. №6. С. 28-37. DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-6-28-39.

Котлов Ю. В. АвиаТехПом: Состояние и перспективы / Ю. В. Котлов, А. Ю. Юрин // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 1. С. 146-156. DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_146.

Котлов Ю. В. Использование деревьев событий при автоматизации и интеллектуализации диагностирования и ремонта авиационной техники / Ю. В. Котлов, О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2023. № 4. С. 222-228. EDN IZWSAJ.

Котлов Ю. В. Модели и алгоритмы многокритериальной диагностики авиационных систем // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции. Иркутск, 2022. С. 165-173. EDN AZXXRM.

Макаров Н. Н. Синтез алгоритма функционирования информационно-управляющей системы контроля и диагностики состояния общесамолетного оборудования // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2008. № 1. С. 46-50. EDN KEZFRN.

Перфильев О. В. Интеллектуальная система поиска неисправности на самолете / О. В. Перфильев, С. Г. Рыжаков, В. А. Должиков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. № 4(3). С. 326-331. EDN YVOAHR.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024615812 Российская Федерация. АвиаТехПом.Терминал : № 2024614860 : заявл. 13.03.2024 : опубл. 13.03.2024 / А. Ю. Юрин ; заявитель ООО «Альтаир-ИИ». EDN UKSFMB.

Сухих Н. Н. Экспертные системы – средства информационной поддержки принятия решений экипажем самолета / Н. Н. Сухих, Рукавишников В. Л. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2022. № 2. С. 19-25. EDN XYERNU.

Aamodt A. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Aamodt, E. Plaza // *AI Communications*. 1994. Vol. 7, No. 1. P. 39-59. DOI 10.3233/AIC-1994-7104.

AirNav-Maintenance // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://www.airnav.com> (дата обращения: 06.10.2024).

An Intelligent Assistant for Decision Support in the Case of Aircraft Troubleshooting / N. O. Dorodnykh, A. B. Stolbov, O. A. Nikolaychuk, A. Yu. Yurin. // *Proceedings of IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*. 2023. P. 1–5. DOI 10.1109/ITNT57377.2023.10139242.

Chiu C., Chiu N.H., Hsu C.I. Intelligent aircraft maintenance support system using genetic algorithms and case-based reasoning / C. Chiu, N. H. Chiu, C.I. Hsu // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2004. Vol. 24. P. 440–446. DOI 10.1007/s00170-003-1707-x.

iDSS.Desktop. Робо АвиаТех (PSS RRJ-95) // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=idss> (дата обращения: 06.10.2024).

Knowledge representation and reuse model of civil aircraft structural maintenance cases / R. Lin, H. Wang, J. Wang, N. Wang // *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 216. pp. 119460. DOI 10.1016/j.eswa.2022.119460.

MyBoeingFleet // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://www.myboeingfleet.com> (дата обращения: 06.10.2024).

Pollack S. L. *Decision Tables: Theory and Practice* / S. L. Pollack, Jr. H. T. Hicks, W. J. Harrison. John Wiley & Sons Inc., 1974. 192 p.

ReleaseCMS // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: https://yakovlev.ru/upload/doc/software/Presentation-ReleaseCMS_2021_RU-new.pdf (дата обращения: 06.10.2024).

Seagle J. P. Acquiring expert rules with the aid of decision tables / J. P. Seagle, P. Duchessi // *European Journal of Operational Research*. 1995. Vol. 84(1). P. 150-162. DOI 10.1016/0377-2217(94)00323-5.

Towards an Intelligent Decision Support System for Aircraft Troubleshooting / Y. Kotlov, V. Popov, S. Mishin, A. Yurin // *Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. P. 77-91. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_7.

References

Aamodt A., Plaza E. (1994). Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*. 7(1): 39-59. DOI 10.3233/AIC-1994-7104.

AirNav-Maintenance (2024). Available at: <https://www.airnav.com> (accessed 06 October 2024).

Certificate of state registration of software. № 2024615812. АвиаТехПом.Терминал. А. Ю. Юрин EDN UKSFMB. (in Russian)

Chiu C., Chiu N. H., Hsu C.I. (2004). Intelligent aircraft maintenance support system using genetic algorithms and case-based reasoning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 24: 440-446. DOI 10.1007/s00170-003-1707-x.

- Dorodnykh N. O., Stolbov A. B., Nikolaychuk O. A., Yurin A. Yu. (2023). An Intelligent Assistant for Decision Support in the Case of Aircraft Troubleshooting. *Proceedings of IX International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*. 1–5. DOI 10.1109/ITNT57377.2023.10139242.
- IDSS.Desktop. Robo AviaTech (PSS RRJ-95) (2024). Available at: <http://www.knowledge-core.ru/index.php?p=idss> (accessed 06 October 2024).
- Jackson P. (2001). Introduction to expert systems. Moscow: Williams, 2001. 623 p. (in Russian)
- Kirpichev I. G., Petrov D. V., Chinyuchin Yu. M. (2020). Multifunctional integrated platform for maintenance of technical operation of aircraft. *Scientific Bulletin of MSTU GA*. 23(6): 28-37. DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-6-28-39. (in Russian)
- Kotlov Y., Popov V., Mishin S., Yurin A. (2023). Towards an Intelligent Decision Support System for Aircraft Troubleshooting // Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 77-91. DOI 10.1007/978-981-19-3788-0_7.
- Kotlov Yu. V. (2022). Models and algorithms of multi-criteria diagnostics of aviation systems. In the collection: Current problems and prospects for the development of civil aviation. *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*. 165-173. EDN AZXXRM. (in Russian)
- Kotlov Yu. V., Nikolaychuk O. A., Yurin A. Yu. (2023). Using the Event Trees in the Automation and Intellectualization of Aircraft Diagnostics and Repair. *Russian Aeronautics*. 66(4): 222-228. DOI 10.3103/S1068799823040323.
- Kotlov Yu. V., Yurin A. Yu. (2024). AviaTekhPom: State and prospects. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 1: 146-156. DOI 10.51955/2312-1327_2024_1_146. (in Russian)
- Lin R., Wang H., Wang J., Wang N. (2023). Knowledge representation and reuse model of civil aircraft structural maintenance cases. *Expert Systems with Applications*. 216: 119460. DOI 10.1016/j.eswa.2022.119460.
- Makarov N. N. (2008). Synthesis of the algorithm for the functioning of the information control system for monitoring and diagnostics of the state of general aircraft equipment. *Russian Aeronautics*. 1: 46-50. DOI 10.3103/S1068799808010108.
- MyBoeing Fleet (2024). Available at: <https://www.myboeingfleet.com> (accessed 06 October 2024).
- Perfiliev O. V., Ryzhakov S. G., Dolzhikov V. A. (2018). Intelligent fault finding system on an airplane. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 4(3): 326-331. EDN YVOAHR. (in Russian)
- Pollack S. L., Hicks Jr. H. T., Harrison W. J. (1974). Decision Tables: Theory and Practice. John Wiley & Sons Inc., 1974. 192 p.
- ReleaseCMS (2024). Available at: https://yakovlev.ru/upload/doc/software/Presentation-ReleaseCMS_2021_RU-new.pdf (accessed 06 October 2024).
- Seagle J. P., Duchessi P. (1995). Acquiring expert rules with the aid of decision tables. *European Journal of Operational Research*. 84(1): 150–162. DOI 10.1016/0377-2217(94)00323-5.
- Sukhoi N. N., Rukavishnikov V. L. (2022). Expert systems – means of information support for aircraft crew decision making. *Russian Aeronautics*. 2: 19-25. DOI 10.3103/s1068799822020039.
- Varshavskii P. R., Ereemeev A. P. (2010). Modeling of case-based reasoning in intelligent decision support systems. *Scientific and Technical Information Processing*. 37(5): 336-345. EDN OMLMAZ. (in Russian)
- Zryachev S. A., Larin S. N. (2022). Development of a knowledge base for after-sales service of aviation equipment. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 5: 48-53. DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-5-48-53. (in Russian)