

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ
ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

В. В. ЗАХАРОВ*, А. Ю. БАРАНОВ, Б. В. СОКОЛОВ

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Санкт-Петербург, Россия
valeriov@yandex.ru

Аннотация. Разработана единая информационно-аналитическая платформа (ЕИАП), представлен пример ее использования при синтезе цифрового пространства современного аэропорта с применением комплексов интеллектуальных транспортно-технологических средств (ИТТС). В основу разработки и применения ЕИАП положены конструктивное описание и практическая реализация системно-кибернетического подхода и методов проектирования, организации производства и проактивного управления эксплуатацией комплексов ИТТС в едином цифровом пространстве аэропорта на основе ЕИАП, киберфизических систем, интеллектуальных цифровых интерфейсов, которые отличаются от существующих аналогов наличием уникального универсального метаязыка для описания киберфизических систем и механизмов их взаимодействия на основе интеллектуальных интерфейсов, а также возможностью оперативной интеграции неограниченного числа киберфизических систем различных классов в одну „метакиберфизическую“ систему. На основе повсеместного внедрения комплексов ИТТС осуществлена цифровая трансформация служб и систем аэропорта в единую информационно-технологическую экосистему, в рамках которой в соответствующих службах и системах возможно перейти от специализированных монофункциональных интерфейсов к универсальным, от неформализованных, неструктурированных, неполных и недостоверных сведений — к структурированным, формализованным данным и информации. Кроме того, предлагаемая трансформация позволяет существенно сократить избыточные материальные и информационные связи, а также снизить влияние человеческого фактора на показатели безопасности и эффективности функционирования аэропорта.

Ключевые слова: *информационно-аналитическая платформа, единое информационное пространство, интеллектуальное транспортно-техническое средство, транспортно-логистические задачи*

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00301.

Ссылка для цитирования: *Захаров В. В., Баранов А. Ю., Соколов Б. В. Разработка и внедрение элементов информационно-аналитической платформы для решения транспортно-логистических задач // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 2. С. 118—124. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-2-118-124.*

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION
OF ELEMENTS OF AN INFORMATION AND ANALYTICAL PLATFORM FOR SOLVING TRANSPORT
AND LOGISTICS PROBLEMS**

V. V. Zakharov*, A. Yu. Baranov, B. V. Sokolov

*St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,
St. Petersburg, Russia
valeriov@yandex.ru*

Abstract. A unified information and analytical platform (UIAP) is developed, an example of its use in the synthesis of a single digital space of a modern airport using complexes of intelligent transport and technological means (ITTS) is presented. The development and application of the UIAP is based on a constructive description and practical implementation of the system-cybernetic approach and design methods, organization of production and proactive management of the operation of ITTS complexes in a single digital space of the airport based on the UIAP, cyber-physical systems, intelligent digital interfaces that differ from existing analogues by the presence of a unique universal metalanguage for describing cyber-physical systems and mechanisms of their interaction based on intelligent interfaces, as well as the possibility of operational integration of an unlimited number of cyber-physical systems of various classes into one "metakiberphysical" system. On the basis of the widespread introduction of ITTS complexes, the digital transformation of the airport services and systems into a single information technology ecosystem is performed, within which it is possible to move from spe-

cialized monofunctional interfaces to universal ones in the relevant services and systems, from unformalized, unstructured, incomplete and inaccurate information to structured, formalized data and information. In addition, the proposed transformation makes it possible to significantly reduce redundant material and information connections, as well as reduce the impact of the human factor on the safety and efficiency of the airport.

Keywords: information and analytical platform, single digital space, intelligent transport and technological mean, transport and logistics problems

Acknowledgment: the study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-79-00301.

For citation: Zakharov V. V., Baranov A. Yu., Sokolov B. V. Development and implementation of elements of an information and analytical platform for solving transport and logistics problems. *Journal of Instrument Engineering*. 2023. Vol. 66, N 2. P. 118—124 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-2-118-124.

В настоящее время в промышленных, строительных и иных структурах для управления сложными техническими и технологическими объектами (или сложными объектами, СЛО) функционирует множество автоматизированных информационно-аналитических систем (ИАС), разработанных на основе различных аналитическо-имитационных моделей и соответствующего программно-математического и информационного обеспечения [1—4]. Из-за отсутствия унификации эффективность большинства используемых на практике ИАС низка, так как они разработаны различными творческими коллективами и предприятиями для выполнения конкретных локальных технических и технологических задач и не имеют единой методической, системной и математической базы. Это затрудняет интеграцию таких систем в единый информационно-аналитический комплекс (единое информационное пространство) для скоординированного управления множеством СЛО различного назначения, объединенных для решения целевой задачи. При использовании таких ИАС возникают проблемы в агрегировании (обобщении) данных о состоянии СЛО, поступающих от различных киберфизических систем, а также в применении современных аналитических и интеллектуальных моделей и методов анализа функционирования данных объектов [2, 3].

Разработанная единая информационно-аналитическая платформа (ЕИАП) для проактивного управления СЛО, о которой идет речь в настоящей статье, представляет собой инструментальное средство для создания (интеграции) на единой методологической, методической и технологической основе ИАС различного назначения, способных объединяться в рамках соответствующих информационных пространств для скоординированного управления многочисленными разнотипными группировками СЛО с целью совместного выполнения ими общих задач [3, 5, 6].

В результате выполненного за последние 20 лет комплекса междисциплинарных исследований решена крупная научно-техническая задача обеспечения технологической независимости российских разработчиков от зарубежных производителей в области проектирования, создания и эксплуатации модельно-алгоритмического, технического, информационного и программного обеспечения проактивного управления жизненным циклом (ЖЦ) СЛО [3—6]. Особая актуальность решенной задачи обусловлена жесткими санкциями, которым подвергается РФ в сфере информационно-коммуникационных технологий. Рассматриваемая технологическая независимость обеспечивается за счет создания и широкомасштабного внедрения в различных отраслях экономики РФ отечественной многофункциональной унифицированной ЕИАП проактивного управления жизненным циклом сложных объектов. Разработанная в ходе создания ЕИАП теория проактивного управления жизненным циклом сложных объектов, положенная в основу ЕИАП, вносит существенный вклад в развитие информатики за счет обогащения ее фундаментальными научными результатами, полученными в классической и современной теории управления [3].

Основное достоинство предлагаемой ЕИАП и соответствующих инструментальных средств, ее реализующих, состоит в том, что они базируются на одной из наиболее перспективных концепций автоматизации — „программирование без программирования“, — позво-

ляющей конечным пользователям-технологам самим создавать и сопровождать уникальные программные модули автоматизации контроля и управления сложными техническими процессами и объектами, практически без участия профессиональных программистов.

Разработанная в рамках ЕИАП специализированная среда, базирующаяся на предлагаемой интеллектуальной информационной технологии, обеспечивает автоматическое (автоматизированное) формирование программных модулей, которые уже далее непосредственно использовались в многочисленных проектах создания конкретных ИАС [3—5]. Кроме того, рассматриваемая интеллектуальная информационная технология и соответствующая ЕИАП приобрели *принципиально новые качества* за счет использования на всех этапах проактивного управления жизненным циклом: (1) *киберфизических систем* (КФС), обеспечивающих управление с обратной связью не только на уровне технологических (традиционный подход), но и организационных процессов за счет постоянно актуализируемой и обрабатываемой информации; (2) *интеллектуальных интерфейсов* с элементами визуального программирования, позволяющих различным категориям пользователей на профессиональном языке осуществлять адаптивное взаимодействие с платформой в ходе проактивного управления жизненным циклом СЛО. При этом интеллектуальные интерфейсы обеспечивают тиражируемость извлекаемых у экспертов знаний о состоянии СЛО для последующего внедрения их в аналогичные смежные системы на основе использования новых логико-алгебраических и логико-лингвистических моделей, созданных для описания рассматриваемых объектов и базирующихся на постулатах теории искусственного интеллекта, инженерии знаний, теории управления.

Проактивное управление жизненным циклом (ЖЦ) СЛО позволяет, в отличие от традиционно реализуемого на практике реактивного управления, заранее предотвращать предпосылки возникновения (а не их последствия) нештатных (критических) ситуаций за счет целенаправленно сформированной структурно-функциональной избыточности. На рис. 1 представлена обобщенная архитектура созданной единой ИАП проактивного управления ЖЦ СЛО*



Рис. 1

Уникальность данной ИАП состоит в том, что она полностью удовлетворяет требованиям *импортозамещения*, поскольку является открытой (конверсионной) версией программного обеспечения, создаваемого с середины 1970-х гг. и по настоящее время в интересах решения задач Министерства обороны *независимо* от зарубежных информационных технологий и систем.

* <http://litsam.ru>; <https://petrocometa.ru>.

Среди представленных на рис. 1 основных подсистем ЕИАП новыми, принципиально отличающимися ее от отечественных и зарубежных ИАС данного класса, являются: подсистема обработки и анализа данных, информации и знаний (за счет реализации функций параметрической и структурной адаптации моделей к прошлым, текущим и будущим событиям, а также автоматического синтеза программ); подсистема упреждающего многовариантного прогнозирования (за счет реализации функции формирования моделей предиктивной аналитики, функции упреждающего ситуационного многовариантного прогнозирования); подсистема генерации и синтеза управленческих решений (за счет реализации функций логического и прецедентного вывода рекомендаций на основе онтологий предметной области, выбора оптимальных альтернативных решений, обоснования и объяснения этих решений, синтеза технологий и программ проактивного мониторинга и управления ЖЦ СЛО) [3].

На рис. 1 также представлена география проектов, реализованных к настоящему времени в рамках созданной ЕИАП. Видно, что многофункциональность и унифицированность программно-технических решений, положенных в ее основу, позволили на практике реализовать большое число конкретных информационно-аналитических систем, успешно используемых в космонавтике, атомной энергетике, промышленном производстве. Эта работа выполнялась в тесной кооперации СПИИРАН, СКБ „Орион“, НИО ЦИТ „Петрокомета“, АО „Аэромар“, ЗАО „Универсал Аэро“ с организациями, входящими в корпорации Роскосмос, Росатом, Минпром, МО РФ.

На базе платформы ЕИАП разработано и организовано серийное производство уникальных мобильных сервисных систем — интеллектуальных транспортно-технологических средств (ИТТС) обслуживания судов гражданской авиации в едином цифровом пространстве современных и перспективных аэропортов (рис. 2) [4—7].

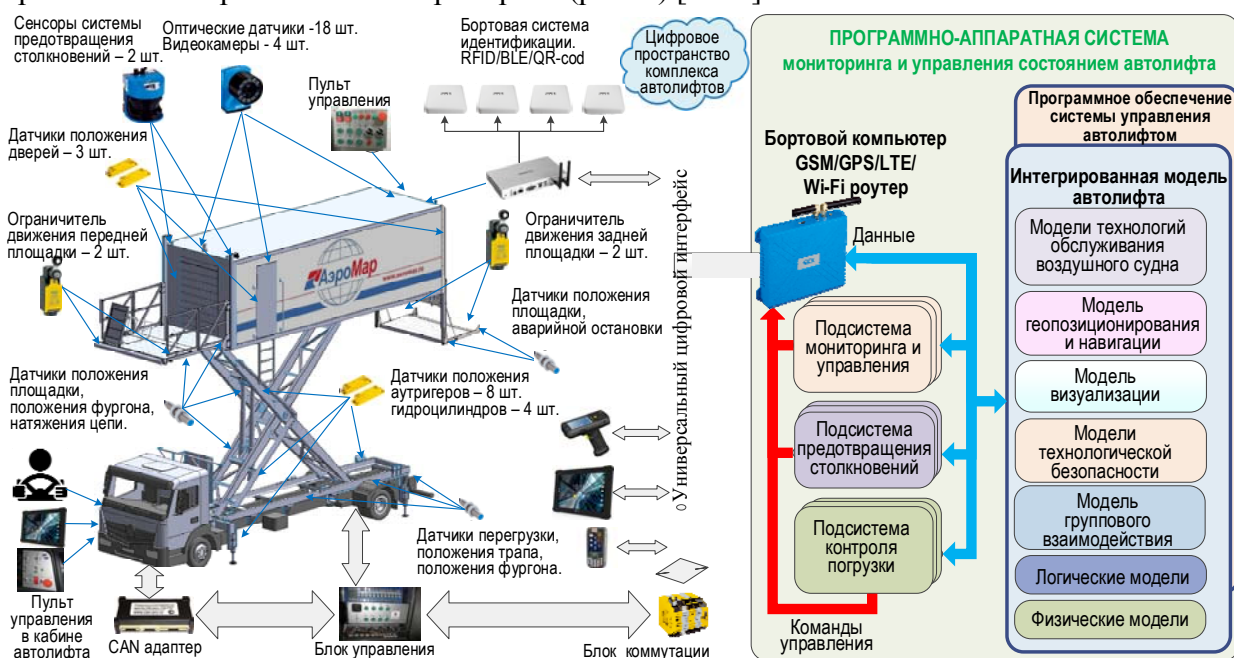


Рис. 2

Новизна ИТТС заключается в интеллектуальной системе проактивного (упреждающего) управления, которая базируется на киберфизических устройствах, а также интеллектуальных цифровых интерфейсах и позволяет согласованно и эффективно решать задачи группового взаимодействия ИТТС, управления техническим состоянием, процессами сервисного обслуживания, видеофиксации, геопозиционирования и предотвращения столкновений. На основе созданной ЕИАП разработаны методы цифровой трансформации процессов обслуживания судов гражданской авиации и методики создания единого цифрового пространства аэропорта,

в котором согласованно взаимодействуют в режиме реального времени все транспортно-технологические средства и службы аэропорта.

На рис. 3 проиллюстрированы различные варианты подключения участников технологического процесса обслуживания воздушного судна к единому цифровому пространству комплекса ИТТС [8, 9].



Рис. 3

Разработанное специальное программно-математическое обеспечение, на базе которого реализована интеллектуальная система управления комплексом ИТТС в едином цифровом пространстве, позволяет решать в автоматизированном (автоматическом) режиме транспортно-логистические задачи, к числу которых можно отнести: задачи определения числа ИТТС, необходимого для обслуживания каждого воздушного судна (ВС) на этапах подготовки к вылету (при прилете ВС); задачи синтеза технологий обслуживания и синтеза маршрутов доставки грузов и оборудования из логистического центра (склада) аэропорта до ВС; задачи определения числа операторов, необходимого для реализации синтезированных технологий; задачи определения временных интервалов обслуживания ВС; задачи группового управления ИТТС.

Главная особенность созданной системы проактивного управления сервисным обслуживанием ВС — в ней используются разработанное в ЕИАП динамическое многовариантное прогнозирование, комплексное планирование и оперативное управление ИТТС на основании информации, получаемой в режиме реального времени от всех ИТТС и от служб аэропорта. Групповое взаимодействие на базе динамического планирования (проактивного управления) позволяет существенно повысить эффективность использования ИТТС в постоянно меняющихся условиях функционирования аэропорта, и особенно — в нештатных ситуациях. Также эффективное планирование и управление позволяют существенно уменьшить парк используемых ИТТС.

В результате реализации на практике разработанных интеллектуальной информационной технологии и ЕИАП обеспечены [3—11]:

— повышение уровня обоснованности информационно-аналитической поддержки ЖЦ СЛО за счет использования данных, информации и знаний при принятии решений. Увеличение до 30 % эффективности, в частности, благодаря оперативности (до 40 %, по сравнению с существующими подходами) и достоверности (до 15 %) результатов поддержки принятия управленческих решений;

— повышение уровня автоматизации проектирования уже на этапе постановки задачи и конструктивная декомпозиция этапов разработки программного обеспечения, используемого на различных этапах ЖЦ СЛО с последовательным уточнением моделей без перехода на алгоритмический уровень;

— повышение степени соответствия разрабатываемого программного обеспечения исходным требованиям и постановке задачи, а также достоверности результатов его функционирования на основе формальных спецификаций;

— потенциальное снижение стоимости, сроков разработки и сложности масштабирования и модифицирования программного обеспечения информационно-аналитической поддержки ЖЦ СлО;

— технологичность и конструктивность процессов извлечения и представления экспертных знаний на основе графических нотаций, совместного представления бизнес-процессов, декомпозиции процесса проектирования, использования полимодельного и многоязычного принципов, комплекса средств верификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кульга К. С.* Интегрированная информационно-вычислительная система управления производством в режиме реального времени // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 4. С. 42—46.
2. *Черняк Л.* От адаптивной инфраструктуры к адаптивному предприятию // Открытые системы. 2003. № 10. С. 32—39.
3. *Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
4. *Ронжин А. Л., Соколов Б. В., Джао В. Ю.-Д., Миронова Е. Г., Стыскин М. М.* Применение технологии радиочастотной идентификации для построения системы контроля оборота бортового кухонного оборудования // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2020. Вып. 1. С. 3—10.
5. *Миротин Л. Б., Некрасов А. Г., Степанов П. В., Трегубов П. Г.* Повышение эффективности грузовых перевозок на основе создания устойчивой транспортно-логистической системы модульного типа для высокоскоростной обработки и доставки грузов // Вестн. МАДИ. 2013. № 3. С. 34—36.
6. *Трегубов П. Г.* О концепции создания транспортной системы высокоскоростной доставки грузов пассажирскими авиарейсами на базе московского авиаузла // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. № 2. С. 17—20.
7. *Степанов П. В.* Интеллектуальное транспортно-технологическое средство нового поколения и лежащая в её основе концепция „цифрового автолифта“ // Информатизация и связь. 2022. № 1. С. 22—29.
8. *Stepanov P. V., Sokolov B. V.* Problems of Using Bluetooth Tags with Low Power Consumption for Identifying and Determining the Position of Objects // IV Intern. Conf. on Control in Technical Systems (CTS). Saint Petersburg, 2021. P. 195—198. DOI: 10.1109/CTS53513.2021.9562858.
9. *Степанов П. В.* Методика использования Bluetooth технологии для решения задач идентификации и определения положения объектов // Информатизация и связь. 2021. № 5. С. 97—104.
10. *Буряк Ю. И., Желтов С. Ю.* RFID на службу сервиса авиатехники // Логистика. 2006. № 1(34). С. 22—23.
11. *Зорин В. А., Баурова Н. И., Степанов П. В., Стыскин М. М., Трегубов П. Г.* Система распознавания и мониторинга технического состояния наземных транспортно-технологических машин // Технология металлов. 2021. № 55. С. 44—49.

Сведения об авторах

- Валерий Вячеславович Захаров** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, лаборатория автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; старший научный сотрудник; E-mail: valeriov@yandex.ru
- Антон Юрьевич Баранов** — аспирант; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, лаборатория автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; младший научный сотрудник; E-mail: yuiomer1337@gmail.com
- Борис Владимирович Соколов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, лаборатория автоматизации научных исследований, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; главный научный сотрудник; E-mail: sokolov_boris@inbox.ru

Поступила в редакцию 02.09.22; одобрена после рецензирования 16.09.22; принята к публикации 27.12.22.

REFERENCES

1. Kulga K.S. *Automation and modern technologies*, 2006, no. 4, pp. 42–46. (in Russ.)
2. Chernyak L. *Open Systems*, 2003, no. 10, pp. 32–39. (in Russ.)
3. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob"yektov* (Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Technical Objects), Moscow, 2006, 410 p. (in Russ.)
4. Ronzhin A.L., Sokolov B.V., Gao V.Yu.-D., Mironova E.G., Styskin M.M. *Voprosy radioelektroniki. Ser. Tekhnika televideniya*, 2020, no. 1, pp. 3–10. (in Russ.)
5. Mirotin L.B., Nekrasov A.G., Stepanov P.V., Tregubov P.G. *Herald of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2013, no. 3, pp. 34–36. (in Russ.)
6. Tregubov P.G. *Automation and Modeling in Design and Management*, 2014, no. 2, pp. 17–20. (in Russ.)
7. Stepanov P.V. *Informatization and communication*, 2022, no. 1, pp. 22–29. (in Russ.)
8. Stepanov P.V., Sokolov B.V. *IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, St. Petersburg, 2021, pp. 195–198, DOI: 10.1109/CTS53513.2021.9562858.
9. Stepanov P.V. *Informatization and communication*, 2021, no. 5, pp. 97–104. (in Russ.)
10. Buryak Yu.I., Zheltov S.Yu. *Logistics*, 2006, no. 1(34), pp. 22–23. (in Russ.)
11. Zorin V.A., Baurova N.I., Stepanov P.V., Styskin M.M., Tregubov P.G. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2021, no. 55, pp. 44–49 (in Russ.)

Data on authors

- Valery V. Zakharov** — PhD; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation, Research Automation Laboratory; Senior Researcher; E-mail: valeriov@yandex.ru
- Anton Yu. Baranov** — Post-Graduate Student; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation, Research Automation Laboratory; Junior Researcher; E-mail: yuioomer1337@gmail.com
- Boris V. Sokolov** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation, Research Automation Laboratory; Chief Researcher; E-mail: sokolov_boris@inbox.ru

Received 02.09.22; approved after reviewing 16.09.22; accepted for publication 27.12.22.