

А.Г. Тарасов, К.А. Карпенко, А.В. Колесниченко

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЛЕКСНЫМ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ОБУЧАЮЩИМ СИСТЕМАМ,
ПРИМЕНЯЕМЫМ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ РАСЧЕТОВ
ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Проведен анализ современных комплексных автоматизированных обучающих систем, применяемых в различных областях человеческой деятельности, в том числе систем подготовки личного состава расчетов по эксплуатации ракетно-космической техники. Определены основные недостатки, характерные для большинства существующих комплексных автоматизированных обучающих систем. На основании статистики отказов, произошедших при подготовке к пуску ракеты космического назначения, и анализа руководящих документов, регламентирующих требования к изделиям ракетно-космической техники, сформированы предложения по обоснованию требований назначения к комплексным автоматизированным обучающим системам подготовки личного состава расчетов частей запуска космических аппаратов.

Ключевые слова: комплексные автоматизированные обучающие системы, специалист расчета, уровень подготовленности, требования назначения.

A.G. Tarasov, K.A. Karpenko, A.V. Kolesnichenko

JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR INTEGRATED AUTOMATED
TRAINING SYSTEMS USED TO TRAIN SPECIALISTS IN CALCULATIONS
FOR THE OPERATION OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

Abstract. An analysis of modern integrated automated training systems used in various fields of human activity, including ISTS for personnel training in rocket-space technology operation, is carried out. The main shortcomings typical of the majority of existing integrated automated training systems were identified. On the basis of failures statistics that occurred during the preparation for launch of space rockets, and analysis of guidance documents governing the requirements for rocket and space technology products, proposals were formed to justify the requirements of assignment to integrated automated training systems for personnel training of spacecraft launch parts.

Keywords: complex automated training systems, calculation specialist, level of preparedness, assignment requirements.

Введение

Анализ технических отчетов о результатах подготовки к пуску, пуска и полета ракеты-носителя (далее – РН) «Союз-2» в период с 2004 года по настоящее время показал, что в 76 % случаев время подготовки РН выходит за рамки, определенные технологическим графиком. Происходит это вследствие возникновения неисправностей наземного технологического оборудования и бортовой аппаратуры РН, время поиска и устранения которых может превышать время, отведенное на процесс подготовки в целом. Как правило, такие задержки связаны с большой продолжительностью поиска причин возникновения неисправностей, которая, в свою очередь, обусловлена уровнем подготовленности

Тарасов Анатолий Геннадьевич

доктор технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: разработка учебно-тренировочных средств подготовки операторов автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения; методология повышения безопасности эксплуатации технологического оборудования с применением робототехнических систем и комплексов. Автор более 100 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vka_kaf26_1@mil.ru

Карпенко Кирилл Андреевич

начальник лаборатории. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: разработка учебно-тренировочных средств подготовки операторов автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения. Автор 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vka_kaf26_1@mil.ru

Колесниченко Александр Валериевич

слушатель. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: разработка учебно-тренировочных средств подготовки операторов автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения. Автор 3 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vka_kaf26_1@mil.ru

личного состава расчета к действиям при нештатных ситуациях. При отсутствии строгих временных и ресурсных ограничений такие задержки не влияют на успешное выполнение задачи по подготовке и запуску космического аппарата (далее – КА) за счет использования временных резервов для поиска и устранения возникших неисправностей. Однако при необходимости оперативного (в условиях жестких временных ограничений) наращивания (восполнения) орбитальной группировки (далее – ОГ) КА временные задержки в процессе подготовки ракеты космического назначения (далее – РКН) могут привести к срыву выполнения задачи по выведению КА [2].

Особенности комплексных автоматизированных обучающих систем для подготовки номеров расчета подготовки и пуска ракеты космического назначения

Среди разработчиков и изготовителей КАОС для подготовки специалиста расчета (далее – СР) подготовки и пуска РКН следует выделить следующие предприятия: ООО «Софтаэро» – системный диспетчерский тренажер управления воздушным движением; «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» (ЦТиПП) – тренажеры для подготовки космонавтов; АО «НИЦ СПб ЭТУ»; АО «ЭКА» – автоматизированный комплекс подготовки расчетов РКН «Союз-2».

Несмотря на то, что в настоящее время не существует единой терминологической базы КАОС, среди них можно выделить следующие виды [1] (Рисунок 1).

1. Мультимедийные энциклопедии, справочники, словари.
2. Компьютерные системы тестирования (далее – КСТ).
3. Компьютерные обучающие средства (далее – КОС).

Обоснование требований к комплексным автоматизированным обучающим системам, ..

4. Тренажерные комплексы.
5. Компьютерные системы обучения и тренажа (далее – КСОТ).
6. Интерактивные электронные технические руководства (далее – ИЭТР).



Рисунок 1. Достоинства и недостатки КАОС

Представленные виды КАОС различаются реализацией теоретической, практической и групповой подготовок [6]. Разработка и внедрение КАОС направлены на повышение уровня профессиональной подготовленности НР, который, исходя из этапов подготовки, предлагается разбить на три составляющие: $K_p = \{K_s, K_g, K_t\}$, где K_s – уровень теоретической подготовленности СР; K_g – уровень практической подготовленности СР; K_t – уровень подготовленности СР к выполнению задач в составе группы.

Общий уровень профессиональной подготовленности СР определяется как аддитивная свертка частных уровней с соответствующими коэффициентами значимости (Рисунок 2).

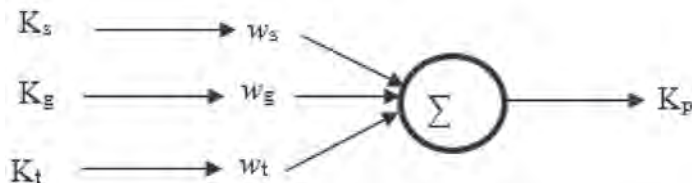


Рисунок 2. К определению общего уровня профессиональной подготовленности СР

Коэффициенты значимости соответствующих уровней подготовленности СР определяются экспертным опросом с учетом профессиональной деятельности оператора (см. Рисунок 3) при условии $w_s + w_g + w_t = 1$.

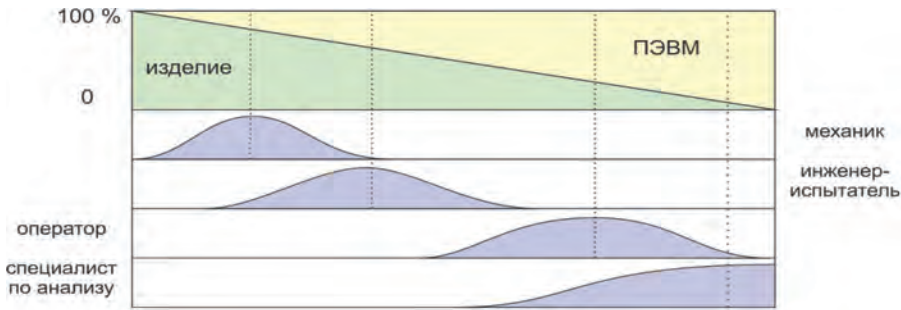


Рисунок 3. Степень задействования ПЭВМ и изделия в УТС

Уровень теоретической подготовленности $CP K_s$ с использованием КАОС определяется множеством описаний объектов технической системы, режимов ее функционирования и множеством способов взаимодействия оператора с технической системой, реализованных в КАОС [4; 5]:

$$K_s = \frac{\sup_{x_m \in X} X}{Pos(X)} + \frac{\sup_{j_k \in J} J}{Pos(J)}. \quad (1)$$

Уровень практической подготовленности НБР по подготовке РКН K_g определяется реализацией множества задач функциональной деятельности, множества алгоритмов деятельности CP , множества характеристик факторов внешней среды, множества психофизиологических характеристик оператора в виде параметров восприимчивости воздействий факторов рабочей среды:

$$K_g = \sum_{i=1}^n z_i a_i t_i + \sum_{j=1}^{\tau} v_j f_j + \sum_{l=0}^m r_l \pi_l, \quad (2)$$

где z_i – степень реализации i -й функциональной задачи;

$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{если оператор не задействован при решении } i\text{-й задачи,} \\ 1, & \text{если оператор задействован при решении } i\text{-й задачи;} \end{cases}$$

$$t_i = \begin{cases} 1, & \text{не имеется возможности масштабирования времени} \\ & \text{при решении } i\text{-й задачи,} \\ 2, & \text{имеется возможность масштабирования времени} \\ & \text{при решении } i\text{-й задачи;} \end{cases}$$

v_j – степень реализации влияния факторов внешней среды на деятельность оператора;

$$f_j = \begin{cases} 1, & \text{не имеется возможности ослабления / усиления} \\ & \text{воздействия } j\text{-го фактора,} \\ 2, & \text{имеется возможность ослабления / усиления} \\ & \text{воздействия } j\text{-го фактора;} \end{cases}$$

r_l – степень реализации психофизиологической характеристики оператора в виде параметров восприимчивости воздействий факторов рабочей среды;

Обоснование требований к комплексным автоматизированным обучающим системам, ..

$$\pi_t = \begin{cases} 0, \text{если не имеется датчика для определения} \\ \text{психофизиологической характеристики оператора,} \\ 1, \text{если имеется датчик для определения} \\ \text{психофизиологической характеристики оператора.} \end{cases}$$

Уровень практической подготовленности СР по подготовке РКН в составе расчета определяется его способностью организовать взаимодействие между номерами расчета [3], выбрать оптимальное распределение номеров расчета по выполняемым работам для достижения поставленной цели и своевременно реализовать данное управление:

$$K_t = \sum_{h=1}^q u_h \alpha_h \beta_h, \tag{3}$$

где u_h – степень реализации вида управления;

$$\alpha_h = \begin{cases} 0, \text{если оператор не способен организовать} \\ \text{взаимодействие между номерами расчета,} \\ 1, \text{если оператор способен организовать} \\ \text{взаимодействие между номерами расчета;} \end{cases}$$

$$\beta_h = \begin{cases} 1, \text{если выбранное распределение номеров расчета} \\ \text{не является оптимальным,} \\ 2, \text{если выбранное распределение номеров расчета} \\ \text{является оптимальным.} \end{cases}$$

Учитывая опыт подготовки специалистов с использованием различных типов тренажерных средств, можно сформулировать следующие требования к КАОС для подготовки специалистов расчетов подготовки РКН [1; 6].

1. КОС должны обеспечивать возможность автоматизированного выбора программы обучения с учетом начального уровня теоретической подготовленности СР.

2. На рабочих местах специалистов расчетов должна быть создана в реальном масштабе времени имитируемая обстановка, близкая к реальной, и система оценки готовности специалистов расчетов к выполнению возложенных на них учебных и специальных задач [7].

3. В КАОС должны быть реализованы унифицированные модули выбора задач тренировки в зависимости от начального уровня подготовки, контроля и автоматизированного оценивания подготовленности оператора, документирования уровня подготовки специалистов расчетов.

4. Оптимизация структуры построения и реализации КАОС должна вестись в направлении увеличения прироста уровня профессиональной подготовленности СР и уменьшения затрат на разработку и построение КАОС [7; 8].

Необходимо отметить положительный опыт создания КАОС для подготовки специалистов расчетов подготовки РКН (систем и агрегатов ТК и СК, заправочно-нейтрализационных станций космодромов Байконур и Плесецк) (см. Таблицу).

Обеспеченность КАОС персонала объектов НКИ по группам наземного оборудования в ракетно-космической отрасли

| Основные группы оборудования объектов НКИ | Степень обеспеченности | Примечания |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| <i>Технические комплексы подготовки СЧ РКН (РН, КА, РБ, КГЧ, РКН)</i> | | |
| Монтажно-технологическое оборудование | Есть | «Союз-2», «Протон-М» |
| Оборудование СУ, ТМИ и СНЭСТ | Есть | «Союз-2» |
| Оборудование газоснабжения и пневмовакуумных испытаний | Есть | «Союз-2» |
| Технические системы ТК | Частично | «Союз-2», «Протон-М» |
| <i>Стартовые комплексы РКН</i> | | |
| Стартовое, транспортно-установочное оборудование | Есть | «Союз-2», «Протон-М», «Рокот», «Зенит» |
| Заправочное оборудование | Есть | «Союз-2», «Протон-М» |
| Оборудование газоснабжения | Есть | «Союз-2», «Протон-М» |
| Оборудование СУ, ТМИ и СНЭСТ | Есть | «Союз-2» |
| Технические системы СК | Частично | «Союз-2», «Протон-М» |
| <i>Заправочные станции КА и РБ</i> | | |
| Заправочное оборудование, оборудование нейтрализации КРТ | Частично | Плесецк |
| Оборудование газоснабжения и пневмовакуумных испытаний | Частично | Плесецк |

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- существующие КАОС ориентированы на обучение штатным режимам функционирования техники, порядок действий (принятия обоснованных решений) при возникновении непредвиденных нештатных ситуаций по выходу из них практически не рассматривается;
- КАОС не интегрированы с системой подготовки и принятия решений и системами поддержки повседневной профессиональной деятельности лица, принимающего решение.

Заключение

Используемые в настоящее время КАОС весьма разнородны по своей структуре и модельному наполнению, спроектированы индивидуально для решения конкретных задач обучения на уникальных образцах техники. Очевидно, что при такой широкой номенклатуре КАОС требования к ним должны определяться на этапе проектирования ракетно-космических комплексов с учетом их функционального назначения и технико-экономических ограничений.

Основным видом требований в случае применения КАОС является требования назначения, определяющие характеристики, обеспечивающие выполнение задачи обучения в заданных условиях. Требования к КАОС в первую очередь должны быть направлены на формирование модельного обеспечения, определение вида и уровня правдоподобия используемых моделей, алгоритмов их работы, порядка взаимодействия и обмена данными, функциональную зависимость теоретической и практической части обучения. КАОС должно включать модель оценки качества обучения, которая позволит оценивать влияние уровня подготовленности специалистов расчета на целевые показатели реальных процессов подготовки РКН.

Литература

1. Белов В.В., Водиченков Д.А., Власов Н.Н. Анализ принципов и российского опыта построения учебно-тренировочных средств // Прикладные исследования. 2016. № 1.
2. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор // Наука и образование. 2011. № 7.
3. Куренков В.И. Методы исследования эффективности ракетно-космических систем. Методические вопросы. Самара: Самарский гос. аэрокосмический ун-т им. С.П. Королева, 2012. 201 с.
4. Нечай А.А., Борисов А.А., Борисова Ю.И. Точечный анализ данных дистанционного зондирования Земли средствами языка программирования Python // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2019. № 1. С. 49–55.
5. Свиначук А.А., Калинин С.В., Нечай А.А. Использование графического процессора для ускорения распределенных вычислений при прогнозе экстремальных значений температуры воздуха // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2017. № 4. С. 33–38.
6. Тарасов А.Г. Требования к составу и структуре учебно-тренировочных средств подготовки специалистов по эксплуатации ракетно-космической техники // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. 2016. Т. 1. С. 263–267.
7. Тарасов А.Г., Доильнищын К.А., Карика В.Н. Обоснование состава аппаратно-программных средств учебно-тренировочных комплексов // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. 2018. С. 374–379.
8. Шаймарданов А.М., Нечай А.А., Лепехин С.В. Математические модели систем автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2019. № 2. С. 27–39.

References

1. Belov V.V., Vodichenkov D.A., Vlasov N.N. (2016) *Analiz printsipov i rossiiskogo opyta postroeniya uchebno-trenirovochnykh sredstv* [Analysis of the principles and Russian experience of building educational and training facilities]. *Prikladnye issledovaniya*, No. 1 (in Russian).
2. Karpenko A.P. (2011) *Model'noe obespechenie avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem. Obzor* [Model support of automated training systems. Review]. *Nauka i obrazovanie*, No. 7 (in Russian).
3. Kurenkov V.I. (2012) *Metody issledovaniya effektivnosti raketno-kosmicheskikh sistem. Metodicheskie voprosy* [Methods for studying the effectiveness of rocket and space systems. Methodological issues]. Samara: Samarskiigos. aerokosmicheskii un-t im. S.P. Koroleva, 201 p. (in Russian).
4. Nechaj A.A., Borisov A.A., Borisova Yu.I. (2019) *Tochechny janaliz dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli sredstvami yazyka programmirovaniya Python* [Point analysis of Earth remote sensing data using the Potkhon programming language]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnyesistemy: modeli, analiziupravlenie*, vol. 1, pp. 49–55 (in Russian).
5. Svinarchuk A.A., Kalinichenko S.V., Nechaj A.A. (2017) *Ispol'zovanie graficheskogo protsessora dlya uskoreniya raspredelennykh vychislenij pri prognoze ekstremal'nykh znachenij temperatury vozdukhha* [Using a GPU to Accelerate Distributed Computing in Predicting Extreme Air Temperatures]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnyesistemy: modeli, analiziupravlenie*, vol. 4, pp. 33–38 (in Russian).
6. Tarasov A.G. (2016) *Trebovaniya k sostavu I structure uchebno-trenirovochnykh sredstv dlya podgotovki spetsialistov po ekspluatatsii raketno-kosmicheskoi tekhniki* [Requirements for the composition and

structure of educational and training facilities for training specialists in the operation of rocket and space technology]. *Sovremennye problem sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoi i spetsial'noi tekhniki*, vol. 1, pp. 263–267 (in Russian).

7. Tarasov A.G., Doilnitsyn K.A., Karika V.N. (2018) *Obosnovanie sostava apparatno-programmnykh sredstv uchebno-trenirovochnykh kompleksov* [Substantiation of the composition of the hardware and software of training complexes]. *Sovremennye problem sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoi i spetsial'noi tekhniki*, pp. 374–379 (in Russian).

8. Shajmardanov A.M., Nechaj A.A., Lepekhin S.V. (2019) *Matematicheskie modeli sistem avtomaticheskogo upravleniya s hirotno-impulсноj modulyatsiej* [Mathematical models of automatic control systems for pulse-width modulation]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnyesistemy: modeli, analizi upravlenie*, vol. 2, pp. 27–39 (in Russian).