

А. В. Воробьёв, д-р техн. наук, генеральный директор — генеральный конструктор,
М. М. Сильвестров, д-р техн. наук, проф., советник генерального директора,
Ю. И. Бегичев, канд. техн. наук, доц., вед. науч. сотр., begichevy@yandex.ru,
Л. О. Котицын, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
АО "НИИ авиационного оборудования", г. Жуковский,
Д. Н. Левин, канд. техн. наук, зам. нач. отдела
ПАО "ОКБ Сухого", г. Москва

Концепция построения эргатического интерфейса многофункционального авиационного комплекса с интегрированной модульной авионикой

Рассматривается концепция построения и архитектура эргатического интерфейса перспективного авиационного комплекса с использованием интегрированной модульной авионики, которые базируются на методологии рационального согласования совокупных свойств взаимодействия человека-оператора, техники и модуля формирования образа цели управления и применения в интересах повышения эффективности деятельности экипажа и безопасности полета. Описываются системы отображения информации и контроля, формируемые на базе цифровых электронных устройств и комплексного управления информацией с разделением времени операций контроля и отображения данных и с обеспечением наиболее удобной формы представления информации. В таких системах воспроизводится только та информация, которая необходима летчику для данного режима полета, либо вызвана им по требованию. Широкие возможности в варьировании объема и вида представления отдельных параметров в зависимости от режимов полета требуют инженерно-психологического обоснования принципов рационального информационного обеспечения летчика в процессе решения профессиональных задач. Приводятся результаты сравнительных исследований принципов отображения пространственного положения ЛА для трех типов индикации: "вид с самолета на землю" (тип 1), "вид с земли на самолет" (тип 2) и "вид своего самолета и "лидера" (образа цели управления) с другого самолета, находящегося сзади на одной и той же высоте и путевой скорости" (тип 3), показавшие преимущества третьего вида индикации — информационной командно-лидерной индикации. Этот тип индикации обеспечивает формирование у летчика геоцентрического образа полета относительно земной нормальной системы координат, направлениями осей которой является вектор путевой скорости, гравитационная вертикаль и линия горизонта, а также образ цели управления и применения в виде отображения заданного пространственного положения и изменения положения его конфигурации в соответствии с принципом управления "делай как я". Рассматриваются возможности использования ИМА-технологии и мнемокадров с информационной командно-лидерной индикацией, позволяющие повысить эффективность деятельности экипажей многофункциональных авиационных комплексов.

Ключевые слова: эргатический интерфейс, информационная модель, модуль "эталонного маневрирования", образ полета, образ цели управления, интегрированная модульная авионика, информационная командно-лидерная индикация

Введение

В связи с развитием вычислительной техники, резким повышением производительности бортовых цифровых вычислительных машин, ростом объема памяти и скорости передачи информации по цифровым каналам информационного обеспечения, а также миниатюризации микропроцессорной электроники возникает необходимость перехода от федеративной архитектуры вычислительной системы к распределенной интегрированной архитектуре, получившей название "интегрированная модульная авионика" (ИМА). Глубокая интеграция бортовых комплексов связана с объективной необходимостью снижения стоимости производства оборудования и повышения его эффективности при эксплуатации. Эффективное использование летчиком потенциала, за-

кладываемого в самолет и эргатический комплекс управления, во многом определяется степенью соответствия систем информационного обеспечения, средств интеллектуальной поддержки, систем автоматизации управления и органов управления бортовым оборудованием психофизиологическим возможностям летчика при решении профессиональных задач.

Концепция построения интегрированной модульной авионики

Концепцией построения интегрированной модульной авионики предусматриваются:

- отделение функционального программного обеспечения (ПО) от аппаратного исполнения вычислительной среды;
- повторное использование ПО;

- реализация нескольких функциональных приложений на одной вычислительной платформе с применением технологии безопасных разделов;
- автономное создание и сертификация четко специфицированных модулей-функций;
- интеграция функций управления в единый модуль.

ИМА определяется как совместно используемый набор гибких, повторно используемых и взаимодействующих аппаратных и программных ресурсов, которые, будучи интегрированными, образуют разработанную и проверенную в отношении определенного набора требований к безопасности и техническим характеристикам самолета платформу, обеспечивающую надежное функционирование комплекса бортового оборудования, уменьшение его массогабаритных характеристик, облегчение технического обслуживания, уменьшение стоимости.

Информационная модель интегрированной модульной авионики

При функционировании перспективного авиационного комплекса с ИМА летчик судит о процессе пилотирования и ходе выполнения полетных задач по информационной модели, дающей совокупность текущей информации о состоянии объекта управления, положении органов управления и их воздействии на управляемый процесс.

Такая информационная модель полета представляет собой общую информационную картину, построенную на базе представленной экипажу уведомительной и предупреждающей информации, поступающей от системы отображения информации, неинструментальной информации, получаемой при систематическом обзоре внекабинного пространства и при ощущении угловых и линейных ускорений, а также за счет оценки усилий на органах управления и акустических шумов. Кроме этого, в процессе управления используется информация о цели управления в виде заданных значений полетных параметров — высоты, скорости, направления полета (курса), указаний об изменении маршрута, профиля полета и т. д.

Сравнивая информационную модель полета с желаемым образом полета, летчик путем воздействия на командные органы управления самолетом и его силовой установкой добивается совпадения информационной модели и желаемого образа полета.

Известно, что эффективность функционирования системы летчик — самолет в значительной степени зависит от рациональности построения информационно-управляющего поля. На перспективных маневренных самолетах в качестве основных индикаторов инструментальной информации используются многофункциональные экранные индикаторы и многофункциональные пульта управления с многостраничной логикой управления индикацией, режимами полета самолета и бортовым оборудованием.

В соответствии с новым подходом системы отображения информации и контроля строятся на базе цифровых электронных устройств и комплексного управления информацией с разделением времени операций контроля и отображения данных и обеспечением наиболее удобной формы представления информации. В таких системах воспроизводится только та информация, которая необходима летчику для данного режима полета, либо вызвана им по требованию. Широкие возможности в варьировании объема и вида представления отдельных параметров в зависимости от режимов полета настоятельно требуют инженерно-психологического обоснования принципов рационального информационного обеспечения летчика в процессе решения профессиональных задач. При этом необходимо учитывать необходимость максимально возможного сохранения привычной пространственной компоновки основных элементов информационно-управляющего поля кабины, объема, формы и логики представления пилотажно-навигационной и общесамолетной информации, чтобы не разрушать имеющихся у летного состава сенсорных и моторных навыков.

Информационно-управляющее поле (ИУП) объединяет все системы и устройства, создающие и поддерживающие внутрикабинный интерфейс между членами экипажа, бортовыми системами самолета и наземными пунктами управления движением и поддержки полета. Системы индикации и сигнализации становятся частью комплекса, построенного на технологии ИМА, при этом сохраняются функции внутрикабинного интерфейса, выполнение которых будет возлагаться на средства ИУП. Формирование ИУП кабины и принципов поддержки экипажа обеспечивается на основе:

- совершенствования способов индикации и управления информационным полем;
- рационального распределения функций между экипажем и бортовыми системами;
- рациональной компоновки кабины экипажа.

Основными направлениями совершенствования эргатического интерфейса кабины являются:

- переход от приборного вида пилотажных данных к визуальному представлению информации на широкоформатных экранах;
- использование информационной командно-лидерной индикации для маневренных режимов полета летательных аппаратов, обеспечивающей формирование у пилотов рациональных образов полета и цели управления с прогнозной информацией;
- переход на курсорное управление при выставке заданных значений параметров, выборе необходимого формата индикации и масштаба отображения, при управлении электронными контрольными картами и другими режимами;
- реконфигурация многоэкранной системы индикации и перераспределение функций индикации в целях обеспечения непрерывного отображения высотно-скоростных и угловых параметров движения и параметров силовой установки;
- внедрение авиационных систем улучшенного, синтезированного и интегрированного видения.

Сравнительные исследования принципов отображения пространственного положения ЛА

Сравнительные исследования принципов отображения пространственного положения ЛА проводились на диалоговом моделирующем комплексе с использованием трех типов индикации: "вид с самолета на Землю" (Тип 1), "вид с Земли на самолет" (Тип 2) и "вид своего самолета и "лидера" (образа цели управления) с другого самолета, находящегося сзади на одной и той же высоте и путевой скорости" (Тип 3). Мнемокадры трех типов индикации приведены на рис. 1, 2 и 3 (см. вторую, третью и четвертую стороны обложки).

На рис. 3 обозначены:

1 — силуэт самолета, вращающийся по крену, изменяющий длину киля в зависимости от текущей перегрузки, имеющий скобу ограничения перегрузки и меняющий конфигурацию в зависимости от тангажа; 2 — силуэт лидера, вращающийся в соответствии с заданным креном, меняющий конфигурацию в зависимости от заданного тангажа и перемещающийся по экрану в зависимости от позиционных отклонений в горизонтальной и вертикальной пло-

скостях; 3 — шкала крена; 4 — шкала угла атаки с указателем; 5 — счетчик текущей перегрузки; 6 — шкала текущей перегрузки с указателем; 7 — навигационно-пилотажный прибор; 8 — шкала вертикальной скорости с указателем и счетчиком; 9 — счетчик заданной баровысоты; 10 — счетчик текущей баровысоты; 11 — счетчик заданной приборной скорости; 12 — счетчик текущей приборной скорости; 13 — прибор измерения скорости; 14 — высотомер; 15 — индикатор направления ветра; 16 — счетчик направления и скорости ветра; 17 — группа счетчиков VOR; 18 — счетчик АРК; 19 — счетчики давления и температуры аэродрома; 20 — счетчики давления и температуры на аэродроме.

При использовании индикации Тип 3 (рис. 3) под пространственной ориентировкой следует подразумевать постоянную и активно сохраняемую осведомленность летчика о положении и характере перемещения самолета в пространстве относительно поверхности Земли, а также о состоянии и динамике отдельных параметров полета, связанных с перемещением в пространстве. Кроме того, необходимо иметь информацию о цели управления, заданных параметрах углового положения, местоположения и вектора скорости по принципу "делай, как я" и информацию о критических состояниях полета путем изменения конфигурации образа цели управления.

Такой формат обеспечивает летчику быстрое и наглядное представление о пространственном положении самолета и потребных управляющих воздействиях.

На рис. 4 для сравнения показаны схемы отображения пространственного положения ЛА для трех типов индикации (Тип 1, Тип 2, Тип 3) для следующих условий:

- угол тангажа равен -10° (пикирование),
- углы крена равны $+30^\circ$ и $+120^\circ$;
- скорость полета 700 км/ч.

Можно заметить, что при угле крена 30° различия в восприятии информации о пространственном положении ЛА между указанными типами индикации невелики. В то же время, в случае, когда угол крена составляет 120° , при быстром взгляде на индикацию Тип 1 (рис. 4, а) невозможно сходу "прочитать" положение ЛА. Более понятным является отображение положения ЛА при индикации Тип 2 (рис. 4, б). На экране, отображающем ЛА Тип 3 (рис. 4, в), совершенно однозначно определяется положение его в пространстве относительно вертикали и линии горизонта. Приведенные рассуждения

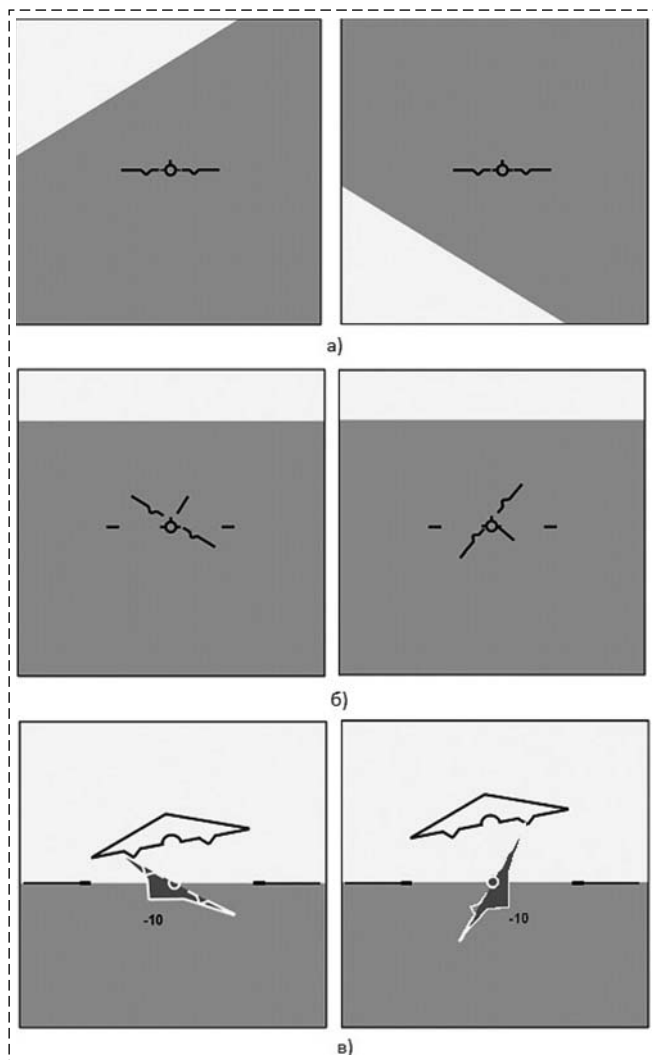


Рис. 4. Варианты индикации пространственного положения ЛА:
а — Тип 1; б — Тип 2; в — Тип 3

Fig. 4. Variants for indicating the spatial position of the aircraft:
а — Type 1; б — Type 2; в — Type 3

особенно заметно подтверждаются при выполнении экспериментов, связанных с пилотированием ЛА в сложных метеоусловиях, при отсутствии видимости линии горизонта и Земли.

Результаты экспериментальной оценки процессов пилотирования на режимах "Взлет", "Набор высоты и скорости", "Возврат", "Полет по коробочке", "Заход на посадку" "Посадка" с использованием различных систем отображения пилотажной информации на экранных индикаторах приведены на рис. 5, 6, 7.

На рис. 7 изображены траектории полета в сложных метеоусловиях при использовании различных видов индикации на режимах взлет — набор высоты и скорости — возврат — полет по коробочке — заход на посадку — посадка.

Белой сплошной линией обозначена траектория полета, полученная при использовании индикации Тип 3 (ИКЛИ), серыми точками — при использовании индикации Тип 1 (вид с самолета на Землю), белыми штрихами — при использовании индикации Тип 2 (вид с Земли на самолет).

Результаты проведенных инженерно-психологических исследований, приведенные на рис. 5—7, показали, что индикация в режиме командно-лидерного управления с использованием сигналов, формируемых модулем "эталонного маневрирования", обеспечивает повышение точности пилотирования, увеличение резерва внимания для выполнения дополнительной работы, снижение показателей психофизиологического напряжения летчика,

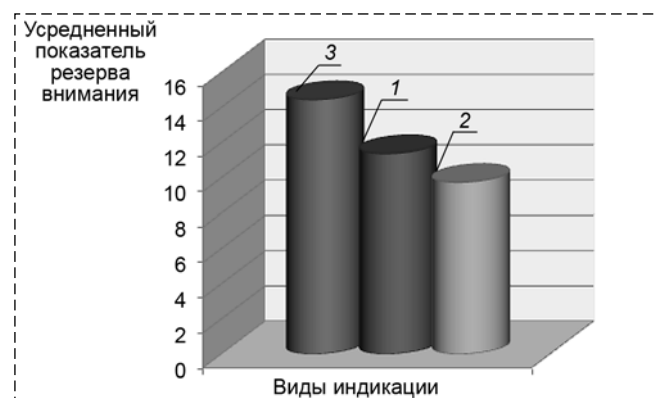


Рис. 5. Показатель резервов внимания при различных вариантах системы индикации:

1 — Тип 1, 2 — Тип 2, 3 — Тип 3, в условиях плохой видимости аэродрома

Fig.5. Indicator of reserves of attention with different versions of the display system:

1 — Type 1, 2 — Type 2, 3 — Type 3, in conditions of poor visibility of the airfield

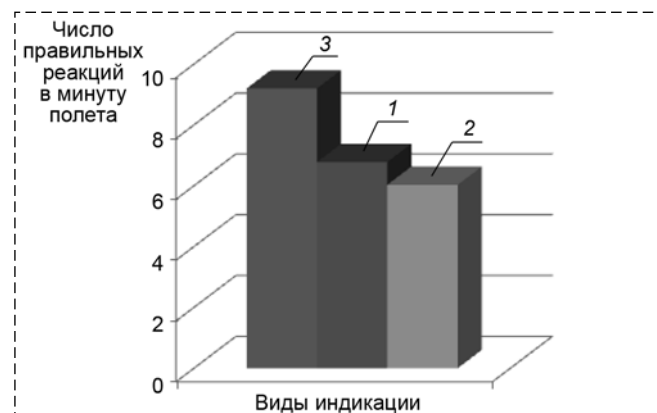


Рис. 6. Показатель правильных реакций по дополнительной работе при различных вариантах системы индикации:

1 — Тип 1, 2 — Тип 2, 3 — Тип 3

Fig.6. Index of the correct reactions for additional work with different versions of the display system:

1 — Type 1, 2 — Type 2, 3 — Type 3



Рис. 7. Траектории полета в сложных метеоусловиях при использовании различных видов индикации

Fig. 7. Flight trajectories in adverse weather conditions using different types of indications

уменьшение сложности пилотирования, увеличение среднего значения амплитудно-частотной характеристики оператора, снижение потребной скорости переработки информации. По характеристикам отказобезопасности информационная командно-лидерная индикация имеет явные преимущества перед вариантами индикации Тип 1 и Тип 2. Этот тип индикации обеспечивает формирование у летчика геоцентрического образа полета относительно земной нормальной системы координат, направлениями осей которой является вектор путевой скорости, гравитационная вертикаль и линия горизонта, а также образа цели управления и применения в виде отображения заданного пространственного и изменения положения его конфигурации в соответствии с принципом управления "делай, как я".

Таким образом, использование ИМА-технологии и мнемокадров с информационной командно-лидерной индикацией позволяет повысить эффективность деятельности экипажей многофункциональных авиационных комплексов.

Список литературы

1. **Fogel L. J.** Biotechnology: Concepts and Application. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
2. **Gagne R. M., Melton A. M.** (eds.) Psychological Principles in System Development. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1962.
3. **Woodson W. E., Conover D. W.** Human Engineering Guide for Equipment Designers. Second edition, Univ. of California Press Berkeley, Los Angeles, 1966.
4. **Бондаренко А. Г., Харитонов В. В., Сомов М. В.** Эргономические проблемы эксплуатации летательных аппаратов, оборудованных "стеклянными" кабинами // Проблемы безопасности полетов. 2014. № 5. С. 34–36.
5. **Минеева Е. А., Мухамедшина Л. Х.** К вопросу об эргономической организации рабочего места экипажа кабины самолета // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2015. № 1. С. 110–113.
6. **Пономаренко В. А.** О роли военной эргономики и авиационной медицины в создании авиационных комплексов // Военная мысль. 2000. № 2. С. 52.
7. **Харитонов В. В., Серегин С. Ф.** Эргономические недостатки кабин самолетов как факторы риска безопасности полетов // Вопросы безопасности. 2017. № 5. С. 1–11.
8. **Харитонов В. В., Бондаренко А. Г., Кокташев М. А.** Проблемы эргономического сопровождения разработки и внедрения "стеклянных кабин" в состав компоновки оборудования летательных аппаратов // Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. "АВИАТОР". Воронеж, 2015. С. 200–206.
9. **Левин Д. Н., Сильвестров М. М., Пономаренко А. В., Федоров А. В.** Эргатический информационно-управляющий комплекс многофункциональных маневренных самолетов // Полет. 2010. № 4.
10. **Левин Д. Н., Пономаренко А. В., Сильвестров М. М.** Методология построения эргатического интерфейса перспективного маневренного самолета с интегрированной модульной авионикой // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2016. Вып. 4.
11. **Сильвестров М. М., Бегичев Ю. И., Варочко А. Г., Козиоров Л. М., Луканичев В. Ю., Наумов А. И., Чернышов В. А.** Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов. М.: Филиал Воениздата, 2007. 512 с.
12. **Сильвестров М. М., Бегичев Ю. И., Варочко А. Г., Воробьев А. В., Котицын Л. О., Левин Д. Н., Насенков И. Г., Ползик В. П., Пономаренко А. В.** Методология построения эргатического интерфейса многофункциональных авиационных комплексов с интегрированной модульной авионикой. М.: Изд. МБА, 2016. 316 с.

Concept of Construction of Ergatical Interface of Multifunctional Aviation Complex with Integrated Modular Avionics

A. V. Vorobyov, M. M. Silvestrov, Y. I. Begichev, begichevy@yandex.ru, L. O. Kotitsyn,
SRI of Aeronautical Equipment, Zhukovsky, 140185, Russian Federation,
D. N. Levin, "OKB Sukhoi", Moscow, 125284, Russian Federation

Corresponding author: Begichev Yuri I., PhD, Associate Professor, Leading Researcher, "SRI of Aeronautical Equipment", Zhukovsky, 140185, Russian Federation, e-mail: begichevy@yandex.ru

Accepted on July 07, 2018

Abstract

In the focus of this research are the concept of construction and the architecture of the ergatical interface of a prospective aviation complex using integrated modular avionics, which are based on the methodology of rational coordination of the aggregate properties of human operator interaction, technology and the image forming module of the management goal and application in the interests of increasing the efficiency of crew activity and flight safety. Information display and control systems, which are based on digital electronic devices and integrated information management, with the separation of the time of operations for monitoring and displaying data and providing the most convenient form of information representation, are examined in this article. In such systems, only the information that the pilot needs for a given flight mode is reproduced, or called upon them on demand. Wide opportunities in varying the volume and type of presentation of individual parameters depending on the flight modes require engineering and psychological justification for the principles of rational information support for the pilot in the process of solving professional problems. The results of comparative studies of the principles of mapping the spatial position of aircraft for three types of indication are presented: "view from aircraft to ground" (type 1), "view from ground to plane" (type 2) and "view of aircraft and "leader" from another aircraft located behind at the same altitude and ground speed" (type 3), which showed the advantages of the third type of indication — information command-leader display. This type of indication provides the pilot with the geocentric image of the flight relative to the earth's normal coordinate system, the directions of which are the vector of the ground speed, the gravitational vertical and the horizon line, and the image of the control objective and application in the form of reflection of change in attitude and change in the configuration position in accordance with the "do as I do" management principle. The possibilities of using IMA-technology and mnemonic frames with information command-leader indication, which allow to increase the efficiency of the crew of multifunctional aviation complexes, are presented.

Keywords: ergatical interface, information model, "standard maneuvering" module, flight image, management goal image, integrated modular avionics, information command-leader display

For citation:

Vorobyov A. V., Silvestrov M. M., Begichev Y. I., Kotitsyn L. O., Levin D. N. Concept of Construction of Ergatical Interface of Multifunctional Aviation Complex with Integrated Modular Avionics, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 59—64.

DOI: 10.17587/mau.20.59-64

References

1. Fogel L. J. *Biotechnology: Concepts and Application*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
2. Gagne R. M., Melton A. M. (eds.) *Psychological Principles in System Development*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1962.
3. Woodson W. E., Conover D. W. *Human Engineering Guide for Equipment Designers*. Second edition, Univ. of California Press Berkeley, Los Angeles, 1966.
4. Bondarenko A. G., Kharitonov V. V., Somov M. V. *Ergonomicheskie problemy ekspluatatsii letatel'nykh apparatov, oborudovannykh "steklyannymi" kabinami* (Ergonomic problems of operation of aircraft equipped with glass cabins), *Problemy bezopasnosti poletov*, 2014, no. 5, pp. 34—36 (in Russian).
5. Mineeva E. A., Mukhamedshina L. Kh. *K voprosu ob ergonomicheskoi organizatsii rabochego mesta ekipazha kabiny samoleta* (To the question of the ergonomic organization of the workplace of the crew of the aircraft cabin), *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii*, 2015, no. 1, pp. 110—113 (in Russian).
6. Ponomarenko V. A. *O roli voennoi ergonomiki i aviatsionnoi meditsiny v sozdanii aviatsionnykh kompleksov* (On the role of military ergonomics and aviation medicine in the creation of aviation systems), *Voennaya mysl'*, 2000, no. 2, P. 52 (in Russian).
7. Kharitonov V. V., Seregin S. F. *Ergonomicheskie nedostatki kabin samoletov kak faktory ryska bezopasnosti poletov* (Ergonomic deficiencies in the cabin of the aircraft as a safety risk), *Voprosy bezopasnosti*, 2017, no. 5, pp. 1—11 (in Russian).
8. Kharitonov V. V., Bondarenko A. G., Koktashev M. A. *Problemy ergonomicheskogo soprovozhdeniya razrabotki i vnedreniya "steklyannykh kabin" v sostav komponentovki oborudovaniya letatel'nykh apparatov* (Problems of ergonomic support of the development and implementation of "glass cabins" in the composition of the equipment of aircraft), *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "AVIATOR"*, Voronezh, 2015, pp. 200—206 (in Russian).
9. Levin D. N., Silvestrov M. M., Ponomarenko A. V., Fedorov A. V. *Ergaticheskii informatsionno-upravlyayushchii kompleks mnogofunktsional'nykh manovrennykh samolotov* (Ergatic information and control complex multifunctional maneuverable aircraft), *Polet*, 2010, no. 4 (in Russian).
10. Levin D. N., Ponomarenko A. V., Silvestrov M. M. *Metodologiya postroyeniya ergaticheskogo interfeysa perspektivnogo manevrennogo samoleta s integrirovannoy modul'noy avionikoy* (Methodology for constructing an ergatic interface for a promising maneuverable aircraft with integrated modular avionics.), *Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*, 2016, iss. 4 (in Russian).
11. Sil'vestrov M. M., Begichev Yu. I., Varochko A. G., Koziorov L. M., Lukanichev V. Yu., Naumov A. I., Chernyshov V. A. *Ergaticheskiye integrirovannyye komplekсы letatel'nykh apparatov*. (Ergatic integrated aircraft systems.), Moscow, Filial Voenizdata, 2007, 512 p. (in Russian).
12. Sil'vestrov M. M., Begichev Yu. I., Varochko A. G., Vorob'yev A. V., Kotitsyn L. O., Levin D. N., Nasenkov I. G., Polzik V. P., Ponomarenko A. V. *Metodologiya postroyeniya ergaticheskogo interfeysa mnogofunktsional'nykh aviatsionnykh kompleksov s integrirovannoy modul'noy avionikoy* (Methodology for constructing an ergatic interface for multifunctional aviation complexes with integrated modular avionics.), Moscow, Publishing house MBA, 2016, 316 p. (in Russian).

Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала: (499) 269-5510, (499) 269-5397

Технический редактор Е. В. Конова. Корректор Н. В. Яшина.

Сдано в набор 29.10.2018. Подписано в печать 11.12.2018. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,86. Заказ МН119. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-11648 от 21.01.02

Учредитель: Издательство "Новые технологии"

Оригинал-макет ООО "Авансд солюншнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюншнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.