

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья

УДК 656.089.2:629.734/.735; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-8-16

АЛГОРИТМ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРЫ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

✉ Бобров Владимир Николаевич;

Калач Андрей Владимирович.

Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия;

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Малыгин Игорь Геннадьевич.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук,

Санкт-Петербург, Россия;

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ bvn280167@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрены методические вопросы раннего предупреждения опасных погодных явлений, оказывающих существенное влияние на безопасность полетов авиации в экстремальных условиях. Исследованы три возможных типовых сценария нахождения (полета) летательного аппарата в экстремальных условиях в атмосфере в рамках повышения безопасности полетов.

Разработан оригинальный алгоритм, позволяющий по информации о вертикальном распределении метеорологических параметров, полученной при температурно-ветровом зондировании атмосферы, однозначно судить о неоднородных слоях атмосферы, оказывающих влияние на безопасность воздушных судов на всех этапах полета.

Полученные результаты могут быть использованы для предотвращения авиационных происшествий и высокоэффективного применения авиации в условиях чрезвычайных ситуаций при выполнении специальных авиационных работ.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, безопасность полетов авиации, экстремальные условия

Для цитирования: Бобров В.Н., Калач А.В., Малыгин И.Г. Алгоритм учета влияния атмосферы на безопасность полетов авиации в экстремальных условиях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-8-16.

Scientific article

ALGORITHM FOR TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE ATMOSPHERE ON THE SAFETY OF AVIATION FLIGHTS IN EXTREME CONDITIONS

✉ Bobrov Vladimir N.

Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia.

Kalach Andrey V.

Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia;

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Malygin Igor G.

Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences,

Saint-Petersburg, Russia;

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ bvn280167@rambler.ru

Abstract. The article considers methodological issues of early warning of hazardous weather phenomena that have a significant impact on the safety of aviation flights in extreme conditions. Three possible typical scenarios of an aircraft's presence (flight) in extreme atmospheric conditions are studied in the context of improving flight safety.

An original algorithm has been developed that allows, based on information on the vertical distribution of meteorological parameters obtained during temperature and wind sounding of the atmosphere, to unambiguously judge the inhomogeneous layers of the atmosphere that affect the safety of aircraft at all stages of flight.

The obtained results can be used to prevent aviation accidents and highly effective use of aviation in emergencies when performing special aviation work.

Keywords: emergency, aviation flight safety, extreme conditions

For citation: Bobrov V.N., Kalach A.V., Malygin I.G. Algorithm for taking into account the influence of the atmosphere on the safety of aviation flights in extreme conditions // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-8-16.

Введение

В связи с интенсивным развитием авиационных технологий, автоматизации, которая позволяет снять часть нагрузки с экипажа воздушного судна (ВС), улучшением систем безопасности, авиационные происшествия продолжают происходить по всему миру. Одной из основных причин таких происшествий сегодня является человеческий фактор, который может проявляться как в ошибках экипажа ВС, так и в недостаточной квалификации персонала или неправильном выполнении процедур [1–3].

Необходимо в реальном масштабе времени наблюдать за тенденцией в поведении метеорологических характеристик, поскольку они оказывают большое влияние на выполнение и безопасность полетов ВС. Определяются минимумы погоды – минимально необходимые для безопасного полета ВС метеорологические условия [4–6].

Таким образом, актуальным является учет влияния атмосферы на безопасность полетов в задачах управления ВС для разработки и усовершенствования новых моделей, методов и эффективных алгоритмов управления в экстремальных условиях.

Цель исследования – повышение безопасности полетов за счет учета преломляющих свойств атмосферы.

Для достижения поставленной цели была решена задача получения аналитических выражений для расчета величины ошибок визуального определения местоположения наземных объектов для последующей разработки алгоритма и программы ЭВМ для расчета таких ошибок.

Постановка задачи

При расчетах рассматривали три возможных типовых сценария [7–11], при которых полагали, что ВС находится в атмосфере над приподнятым инверсионным слоем; над приземным инверсионным слоем; в приподнятом инверсионном слое (рис. 1).

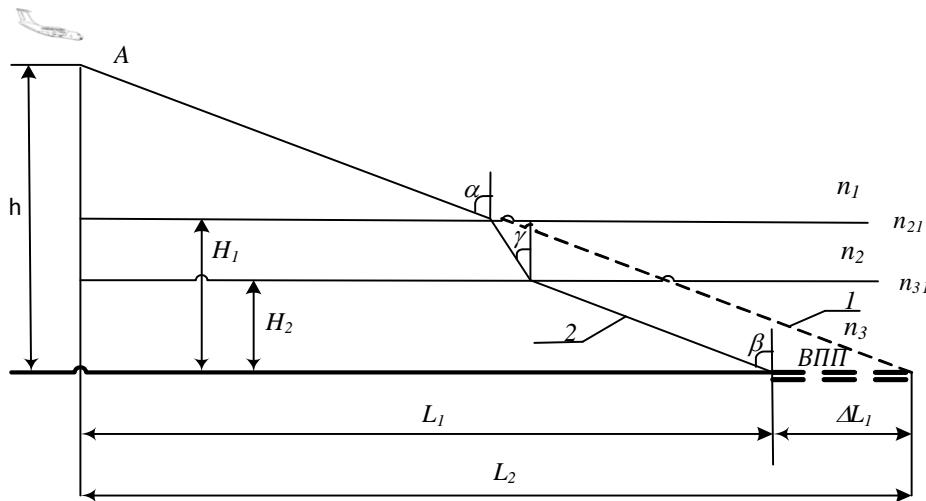


Рис. 1. Наблюдение ВПП с борта ВС

Взлетно-посадочная полоса (ВПП) наблюдается под углом глиссады планирования $\pi/2 - \alpha$ с высоты h и дальности L до зоны приземления ВПП. Границы инверсионного слоя атмосферы определяются как H_1 и H_2 (рис. 1).

Следует заметить, что угол глиссады планирования составляет $2^{\circ}40'$, в условиях горной местности – $3^{\circ}15'$.

В качестве характеристик неоднородного и прилегающего к нему слоев атмосферы предлагается использовать показатель преломления атмосферы как функции атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. Следует заметить, что при рассуждениях будем считать, что значения показателя преломления внутри каждого рассматриваемого слоя остается постоянным [11, 12].

Также будем считать, что в неоднородном слое значения показателя преломления имеет отличное значение от прилегающих к нему слоев [12].

Тогда представленные на рис. 1 углы α , γ и β будут иметь различные значения [4, 12].

При такой постановке задачи становится очевидным появление ошибки ΔL_1 , которая определяется из разности горизонтальных проекций траекторий L_1 и L_2 .

Численные значения горизонтальных проекций становятся возможным рассчитать как:

$$\begin{aligned} L_1 &= (h - H_2) \operatorname{tg} \alpha + (H_2 - H_1) \operatorname{tg} \gamma + H_1 \operatorname{tg} \beta, \\ L_2 &= h \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Величины углов γ и β рассчитываются как:

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \frac{\sin \alpha}{n_{21}}, \\ \sin \beta &= \frac{\sin \gamma}{n_{32}}. \end{aligned} \quad (2)$$

где $n_{21} = n_2/n_1$, $n_{32} = n_3/n_2$ – показатель преломления атмосферы на границах раздела соседних слоев.

$$\text{Из уравнения (2) } \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n_{21} n_{32}} = \frac{\sin \alpha}{n_{31}}.$$

Тогда ошибка может быть рассчитана с использованием выражения:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = H_2 \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right) + H_1 \left(\frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{31}^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right). \quad (3)$$

Известно, что если при проведении инструментальных измерений имеют место погрешности измерений, то их значения необходимо учитывать при проведении любых расчетов, в том числе и измеренных значений атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. Измеренные величины в полученных выражениях целесообразно заменить их оценками:

$$\hat{H}_1 = H_1 \pm \Delta H_1, \quad \hat{H}_2 = H_2 \pm \Delta H_2, \quad \hat{n}_{21} = n_{21} \pm \Delta n_{21}, \quad \hat{n}_{31} = n_{31} \pm \Delta n_{31}, \quad (4)$$

где ΔH_1 , ΔH_2 , Δn_{21} , Δn_{31} – погрешности измерений [5], величины которых много меньше их измеренных значений, $(H_1 \gg |\Delta H_1|, H_2 \gg |\Delta H_2|, n_{21} \gg |\Delta n_{21}|, n_{31} \gg |\Delta n_{31}|)$ [3].

С учетом этого замечания погрешность ошибки определяется как:

$$\hat{\Delta L}_1 = \Delta L_1 \pm \delta(\Delta L_1), \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \delta(\Delta L_1) = & \left| \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right| |\Delta H_2| + \left| \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{31}^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right| |\Delta H_1| + \\ & + \frac{(H_2 - H_1)n_{21} \sin \alpha}{(n_{21}^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}} |\Delta n_{21}| + \frac{H_1 n_{31} \sin \alpha}{(n_{31}^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}} |\Delta n_{31}|. \end{aligned}$$

Для случая, когда ВС находится над приземным неоднородным слоем, H_1 принимается равным нулю и, учитывая полученные выражения (4) и (5), имеем:

$$\begin{aligned} \hat{\Delta L}_2 &= \Delta L_2 \pm \delta(\Delta L_2) \\ \Delta L_2 &= H_2 \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right), \\ \delta(\Delta L_2) &= \left| \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right| |\Delta H_2| + \frac{(H_2 - H_1)n_{21} \sin \alpha}{(n_{21}^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}} |\Delta n_{21}|. \end{aligned} \quad (6)$$

Использование (6) позволяет оценить ошибки при определении зоны приземления с борта ВС при выполнении захода на посадку в приподнятом инверсионном слое. Здесь имеет место изменение величины показателя преломления атмосферы $n_{21} < 1$ и H_2 меняется на H_1 :

$$\begin{aligned} \Delta \hat{L}_3 &= \Delta L_3 \pm \delta(\Delta L_3) \\ \Delta L_3 &= H_1 \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right), \\ \delta(\Delta L_3) &= \left| \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \alpha}} \right| |\Delta H_1| + \frac{(H_2 - H_1)n_{21} \sin \alpha}{(n_{21}^2 - \sin^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}} |\Delta n_{21}|. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученные выражения позволяют провести расчеты величины ошибок визуального определения зоны приземления ВПП с борта ВС совершающего визуальную посадку с углом планирования $2^{\circ}40'$ и $3^{\circ}15'$, различной толщиной неоднородных слоев и значений показателя преломления атмосферы [12–14].

Полученные выражения (1–7) послужили основой для разработки алгоритмов расчета возможных ошибок при различных условиях нахождения ВС в пространстве относительно неоднородных слоев атмосферы. Схема разработанного алгоритма представлена на рис. 2.

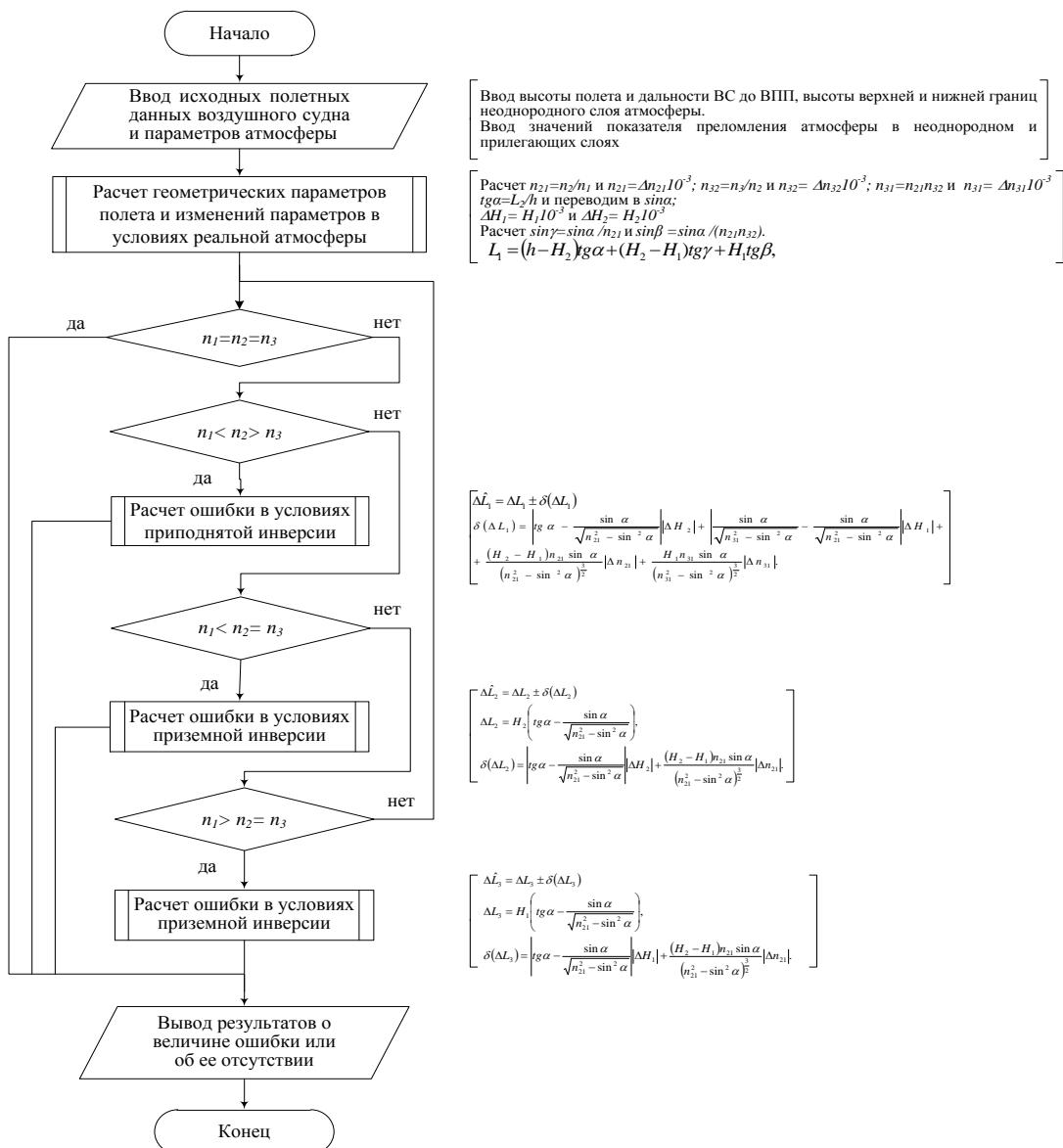


Рис. 2. Схема алгоритма расчета ошибок визуального определения положения ВПП с борта ВС

Для повышения безопасности полетов, оперативного и точного расчета возникающих ошибок была создана программная реализация разработанного алгоритма.

В качестве примера на рис. 3 представлены результаты расчетов ошибок (ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL_3) с учетом погрешностей измерений метеорологических величин атмосферы ($\delta(\Delta L_1)$, $\delta(\Delta L_2)$, $\delta(\Delta L_3)$) для трех типовых сценариев нахождения в атмосфере ВС (рис. 1) – над приподнятым инверсионным слоем (сценарий 1), в приподнятом инверсионном слое (сценарий 2) и над приземным инверсионным слоем (сценарий 3) в зависимости от изменения величины угла наблюдения α (1–10°).

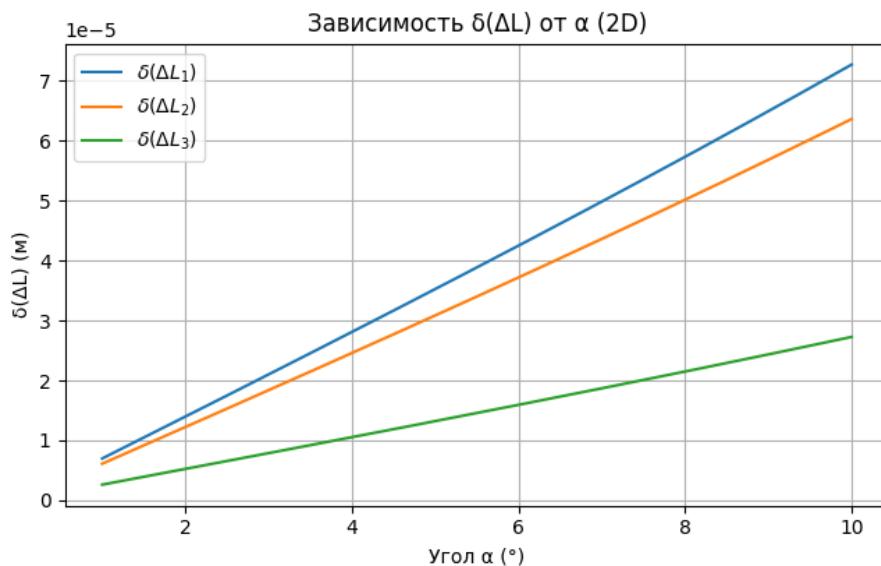


Рис. 3. Пример вывода результатов расчета величины ошибок при различных углах наблюдения α

Использование в практической деятельности разработанного программного продукта позволяет оценить влияние преломляющих свойств атмосферы (неоднородных слоев) на достоверное определение ВПП с борта воздушного судна. Полученные результаты позволяют оценивать ошибки с учетом погрешностей измерений. Результаты проведенных расчетов показывают, что при выполнении захода на посадку величина ошибки возрастает с увеличением дальности до ВПП. Также установлено, что при величине угла планирования 3°15' величина ошибок уменьшается по сравнению с ошибками, возникающими при значении угла глиссады планирования 2°40'.

Заключение

Получены выражения, позволяющие по наличию в атмосфере неоднородных слоев, рассчитать ошибки визуального определения пространственного положения ВС при выполнении им посадки.

Для обеспечения безопасности полетов авиации необходимо проводить расчет таких ошибок, поскольку район чрезвычайной ситуации характеризуется тем, что в атмосфере наблюдаются экстремальные условия, приводящие к значительным отклонениям метеорологических величин от их среднестатистических значений. Необходимо также учитывать и изменение величин угла глиссады планирования в зависимости географических особенностей места выполнения специальных авиационных работ авиацией МЧС России.

Список источников

1. Виноградова Е.С. Влияние человеческого фактора на безопасность полётов в гражданской авиации // Системный анализ и логистика. 2024. № 2 (40). С. 73–81. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-73-81.
2. Совершенствование метода прогноза опасных явлений погоды для обеспечения безопасности полетов авиации / Н.О. Моисеева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы 20-й Междунар. конф. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 435. DOI: 10.21046/20DZZconf-2022a.
3. Кузнецов А.А., Кузнецова Ю.Ю. Влияние человеческого фактора на безопасность полетов при техническом обслуживании воздушных судов // Инновации в гражданской авиации. 2017. Т. 2. № 3. С. 82–89.
4. Bobrov V.N., Nakhmanson G.S. Seasonal and diurnal variations of the vertical profile of the refractive index in the atmospheric surface layer // Russian Meteorology and Hydrology. 2002. № 12. P. 27–29.
5. Towards precision aviation emission modeling: A hybrid paradigm of convolutional neural networks and semi-empirical formulas for full flight phase gas pollutant indices / L. Chen [et al.] // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 957. P. 177414. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177414.
6. Астапенко П.Д., Баранов А.М., Шварев И.М. Погода и полеты самолетов и вертолетов. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 280 с.
7. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 203 с.
8. Stull R.B. An introduction to boundary layer meteorology // Springer Science & Business Media. 2012. Т. 13.
9. Garratt J.R. The atmospheric boundary layer. Cambridge: Cambridge atmospheric and space science series, 1992.
10. Day J.A. The Book of Cloud. Sterling Publishing Company, Inc., 2005. P. 127.
11. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 616 с.
12. Bobrov V.N., Nakhmanson G.S. The influence of vertical distribution of the atmospheric refractive index on the visual detection of a runaway from an aircraft // Russian meteorology and hydrology. 2003. № 1. P. 42–46.
13. Бобров В.Н. Учет информационных ресурсов градиентной атмосферы при проектировании электронных средств контроля // Проектирование и технология электронных средств. 2013. № 2. С. 51–54.
14. Бобров В.Н., Корчагин В.В. Построение математической модели случайного положения воздушного судна при заходе на посадку // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 22.

References

1. Vinogradova E.S. Vliyanie chelovecheskogo faktora na bezopasnost' polyotov v grazhdanskoy aviacii // Sistemnyj analiz i logistika. 2024. № 2 (40). S. 73–81. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-73-81.
2. Sovrshenstvovanie metoda prognoza opasnyh yavlenij pogody dlya obespecheniya bezopasnosti poletov aviacii / N.O. Moiseeva [i dr.] // Sovremennye problemy distacionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: materialy 20-j Mezhdunar. konf. M.: IKI RAN, 2022. C. 435. DOI: 10.21046/20DZZconf-2022a.
3. Kuznecov A.A., Kuznecova Yu.Yu. Vliyanie chelovecheskogo faktora na bezopasnost' poletov pri tekhnicheskem obsluzhivanii vozдушnyh sudov // Innovacii v grazhdanskoy aviacii. 2017. T. 2. № 3. S. 82–89.
4. Bobrov V.N., Nakhmanson G.S. Seasonal and diurnal variations of the vertical profile of the refractive index in the atmospheric surface layer // Russian Meteorology and Hydrology. 2002. № 12. P. 27–29.

5. Towards precision aviation emission modeling: A hybrid paradigm of convolutional neural networks and semi-empirical formulas for full flight phase gas pollutant indices / L. Chen [et al.] // Science of The Total Environment. 2024. Vol. 957. P. 177414. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.177414.
6. Astapenko P.D., Baranov A.M., Shvarev I.M. Pogoda i polety samoletov i vertoletov. L.: Gidrometeoizdat, 1980. 280 s.
7. Baranov A.M. Oblaka i bezopasnost' poletov. L.: Gidrometeoizdat, 1983. 203 s.
8. Stull R.B. An introduction to boundary layer meteorology // Springer Science & Business Media. 2012. T. 13.
9. Garratt J.R. The atmospheric boundary layer. Cambridge: Cambridge atmospheric and space science series, 1992.
10. Day J.A. The Book of Cloud. Sterling Publishing Company, Inc., 2005. P. 127.
11. Vorob'ev V.I. Sinopticheskaya meteorologiya. L.: Gidrometeoizdat, 1991. 616 s.
12. Bobrov V.N., Nakhmanson G.S. The influence of vertical distribution of the atmospheric refractive index on the visual detection of a runaway from an aircraft // Russian meteorology and hydrology. 2003. № 1. R. 42–46.
13. Bobrov V.N. Uchet informacionnyh resursov gradientnoj atmosfery pri proektirovaniyu elektronnyh sredstv kontrolya // Proektirovanie i tekhnologiya elektronnyh sredstv. 2013. № 2. S. 51–54.
14. Bobrov V.N., Korchagin V.V. Postroenie matematicheskoy modeli sluchajnogo polozheniya vozдушного судна при заходе на посадку // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6. S. 22.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.05.2025; одобрена после рецензирования: 30.06.2025;
принята к публикации: 03.07.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 27.05.2025; approved after review: 30.06.2025;
accepted for publication: 03.07.2025

Информация об авторах:

Бобров Владимир Николаевич, начальник факультета подготовки научно-педагогических кадров Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 а), кандидат технических наук, доцент, e-mail: bvn280167@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5474-2411>, SPIN-код: 3240-5750

Калач Андрей Владимирович, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 а); главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор химических наук, профессор, e-mail a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-6489>, SPIN-код: 2584-7456

Малыгин Игорь Геннадьевич, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я Линия В.О., д. 13); профессор кафедры Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: malygin_com@mail.ru

Information about the authors:

Bobrov Vladimir N., head of the faculty of training of scientific and pedagogical personnel of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya str., 1a), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: bvn280167@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5474-2411>, SPIN: 3240-5750

Kalach Andrey V., head of the department of information security and protection of information constituting a state secret of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya str., 1a); chief researcher of the department of fire safety of transport of the Scientific research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8193-6489>, SPIN: 2584-7456

Malygin Igor G., director of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th Line V.O., 13); professor of the department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: malygin_com@mail.ru