

Модель комплексного авиационно-климатического показателя для планирования полетов на местных воздушных линиях

А. В. Степанов ✉

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,
Российская Федерация
(394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, 54а)

Аннотация. Цель – совершенствование имеющейся климатической информации путем построения модели комплексного авиационно-климатического показателя, определяемого сочетаниями высоты нижней границы облаков и полетной дальности видимости.

Материалы и методы. Исходные материалы – собственные оригинальные разработки автора. Построение модели основано на теории негоризонтальной видимости объектов (ориентиров) на земной поверхности и опыте воздушной навигации. Проверка эффективности модели проводилась путем опроса летного состава в 2023 году.

Результаты и обсуждение. Показано, что отождествление наклонной полетной дальности видимости со значениями метеорологической дальности видимости под низкими облаками не позволяет объективно оценить возможность выполнения полетов на местных воздушных линиях. В дымке значения наклонной полетной дальности видимости составили 40% от метеорологической дальности видимости в I, 55% – во II, 83% – в III, 90% – в IV типах распределения горизонтальной видимости с высотой.

Выводы. Применение комплексного авиационно-климатического показателя для планирования полетов на местных воздушных линиях под низкими облаками, и последующая коррекция возможности их выполнения за счет изменения высоты и скорости полета воздушного судна, курсового угла наблюдения позволит принимать органам организации воздушного движения метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы.

Ключевые слова: комплексный авиационно-климатический показатель, наклонная полетная дальность видимости, местные воздушные линии.

Для цитирования: Степанов А. В. Модель комплексного авиационно-климатического показателя для планирования полетов на местных воздушных линиях // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 3, с. 105-110. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/105-110>

ВВЕДЕНИЕ

При планировании полетов на местных воздушных линиях (МВЛ) для аэронавигационного метеорологического обеспечения эффективности, безопасности и регулярности необходима климатическая информация [4, 6, 7].

Климатические таблицы, предоставляемые метеорологической службой, не в полной мере позволяют оценивать степени сложности метеорологических условий (ССМУ) организациям, ответственным за планирование и обеспечения безопасности полетов, для возможности выполнения полетов под низкими облаками (облака менее 600 м [1]) на МВЛ только по высоте нижней границы облаков (ВНГО).

Причем, возможность выполнения полетов на МВЛ под низкими облаками определяется значениями ВНГО и полетной дальностью видимости (ПДВ) [1, 4, 5, 6], что является до сих пор нерешенной проблемой оценки ССМУ по значениям ПДВ, так как в климатических таблицах, которые предоставляет метеорологическая служба органам управления воздушным движением (ОрВД),

комплексный авиационно-климатический показатель (КАКП) представлен сочетаниями ВНГО и горизонтальной дальностью видимости у земли (МДВ) [7].

Поэтому при оценке возможности выполнения полетов по КАКП возникает проблема при планировании полетов под низкими облаками между значениями МДВ и ПДВ, которые определяют возможность или невозможность выполнения полетов на МВЛ под низкими облаками, а также ограничения при выполнении таких полетов [4, 6]. Решение проблемы обеспечения климатической информацией органов ОрВД при планировании полетов на МВЛ требует построения модели КАКП по значениям сочетаний ВНГО и ПДВ.

Целью статьи является совершенствование предоставляемой климатической информации, необходимой для планирования полетов на МВЛ, путем построения модели КАКП, определяемой сочетаниями ВНГО и ПДВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Под ПДВ в данном случае будет пониматься наклонная ПДВ (НПДВ) с высоты полета ($H_{пол}$) воздушного



судна (ВС)находящихся на земной поверхности объектов (ориентиров), учитывающая метеорологические, физико-географические, навигационные, психофизические факторы и летно-технические данные ВС [1-5].

Построение модели основано на теории негоризонтальной видимости объектов (ориентиров) на земной поверхности [5] и опыте воздушной навигации [2]. Рассматривалась равнинная местность Европейской территории России.

Горизонтальная дальность видимости реального объекта (S_p) на любом реальном фоне определяется уравнением:

$$S_p = \frac{1}{\mu} \ln\left(\frac{K}{\varepsilon}\right). \quad (1)$$

где K – контраст между находящимися на земной поверхности объектов (ориентиров) и фоном; ε – порог контрастной чувствительности глаза [3, 5]; μ – показатель ослабления.

При этом, исходя из [3], для практической реализации расчетов с учетом сезонов года (лето, осень, зима, весна) применяется коэффициент относительной видимости D :

$$D = \frac{\ln \frac{K}{\varepsilon}}{\ln \frac{1}{\varepsilon}}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получаем, что:

$$S_p = \frac{1}{\mu} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) \cdot D. \quad (3)$$

При расчете НПДВ в формуле (3) вместо μ необходимо применять $\bar{\mu}_{0H_{пол}}$ – средний показатель ослабления, который определяется соотношением:

$$\bar{\mu}_{0H_{пол}} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{H_{пол}} \int_0^{H_{пол}} \ln \frac{dh}{S_{H_{пол}}}, \quad (4)$$

где:

$$S_{H_{пол}} = A \cdot H_{пол}^2 + B \cdot H_{пол} + S_p, \quad (5)$$

Коэффициенты A и B определяются в зависимости от типа распределения горизонтальной видимости с высотой (ТРГВ)[5], ВНГО и S_p :

для I ТРГВ:

$$S_{H_{пол}} = \frac{0,24 S_p + 1,5 S_{mH}}{ВНГО^2} \cdot H_{пол}^2 - \frac{1,24 S_p + 0,5 S_{mH}}{ВНГО} \cdot H_{пол} + S_p, \quad (6)$$

для II ТРГВ:

$$S_{H_{пол}} = \frac{4 S_{mH} - 0,84 S_p}{ВНГО^2} \cdot H_{пол}^2 - \frac{3 S_{mH} + 0,16 S_p}{ВНГО} \cdot H_{пол} + S_p, \quad (7)$$

для III ТРГВ:

до уровня конденсации ($H_{ук} = 17(100 - R)$, где R – относительная влажность, %):

$$S_{H_{пол}} = S_p, \quad (8)$$

выше $H_{ук}$ – по формуле (6).

Для IV ТРГВ:

горизонтальная видимость высотой до ВНГО является постоянной величиной, а расчет $S_{H_{пол}}$ производится по формуле (8).

В данных уравнениях: $H_{пол}$ – высота полета ВС, м; $S_{mH} = 80$ м – горизонтальная видимость на уровне ВНГО.

ТРГВ характеризуются скоростью изменения горизонтальной видимости в зависимости от высоты. В I ТРГВ наблюдается быстрое и непрерывное ухудшение горизонтальной видимости от поверхности земли до ВНГО, во II ТРГВ – более медленное ухудшение, в III ТРГВ – видимость постоянна до уровня конденсации, выше – быстрое ухудшение (как в I ТРГВ). В IV ТРГВ видимость постоянна до ВНГО.

В построенной модели рассматривается МДВ более 1000 м, поэтому при представлении формулы (4) в конечных разностях, получаем:

для I и II ТРГВ:

$$\bar{\mu}_{0H_{пол}} = \frac{1}{H_{пол}} \cdot \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{\sqrt{B^2 - 4AS_p}} \ln \frac{H_{пол}(B^2 + \sqrt{B^2 - 4AS_p}) + 2S_p}{H_{пол}(B^2 - \sqrt{B^2 - 4AS_p}) + 2S_p}. \quad (9)$$

Для III ТРГВ:

до $H_{ук}$:

$$\bar{\mu}_{0H_{пол}} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{S_p}, \quad (10)$$

выше $H_{ук}$ – по формуле (9).

Для IV ТРГВ средний показатель ослабления вычисляется по формуле (10).

Нами разработана модель КАКП, позволяющая получить значения сочетаний ВНГО и НПДВ для различных путевых скоростей (W) и $H_{пол}$ ВС вместо сочетаний ВНГО и МДВ, что позволит усовершенствовать предоставляемую климатическую информацию, необходимую для планирования полетов на МВЛ и более объективно проводить оценку возможности выполнения таких полетов [6].

Для расчета НПДВ в формулу (3) подставляется выражение для определения $\bar{\mu}_{0H_{пол}}$ из формул (9), (10), заменяя S_p на $S_{НПДВ} = S_p / \cos \theta$. Учет явлений погоды производится коэффициентом $L_{явл}$ ($L_{дымка} = 1$, $L_{дождь} = 0,91$, $L_{снег} = 0,84$, $L_{морось} = 0,8$) [4].

Для I и II ТРГВ:

$$S_{НПДВ} = L_{явл} \frac{H_{пол}}{\cos \theta} \cdot \frac{D \cdot \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot S_p}}{\ln \frac{H_{пол} \cdot (B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot S_p}) + 2 \cdot S_p}{H_{пол} \cdot (B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot S_p}) + 2 \cdot S_p}}. \quad (11)$$

где: θ – угол визирования объектов (ориентиров) на земной поверхности с $H_{пол}$, °.

Для III ТРГВ:

до уровня конденсации:

$$S_{НПДВ} = L_{явл} \frac{S_p}{\cos \theta} \cdot D, \quad (12)$$

выше уровня конденсации – по формуле (11).

Для IV ТРГВ расчет производится по формуле (12).

Формулы (11) и (12) не учитывают влияние W на НПДВ, зависящее от θ [4]:

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad (13)$$

где $\Delta\theta$ – приращение минимального угла визирования θ_0 с $H_{пол}$, зависящее от W , времени аккомодации зрения пилота, α , ТРГВ, скорости и направления ветра на $H_{пол}$.

Скорость и направление ветра на $H_{пол}$ оказывают существенное влияние на НПДВ:

$$\alpha = UC + \alpha_0, \quad (14)$$

где α_0 – первоначальный (штилевой) курсовой угол наблюдения, °; UC – угол сноса, °.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве примера на рисунках 1-4 представлены результаты расчетов НПДВ по построенной нами модели.

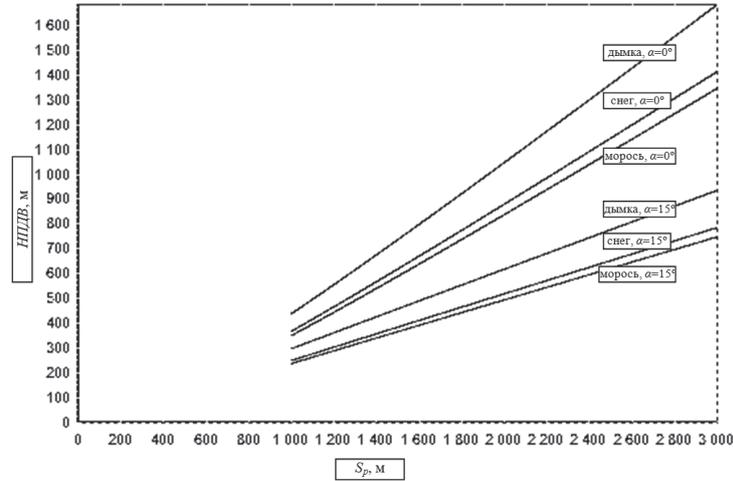


Рис. 1. Зависимость НПДВ от S_p в I ТРГВ

[Fig. 1. Dependence of slant flight visibility on horizontal in type I distribution]

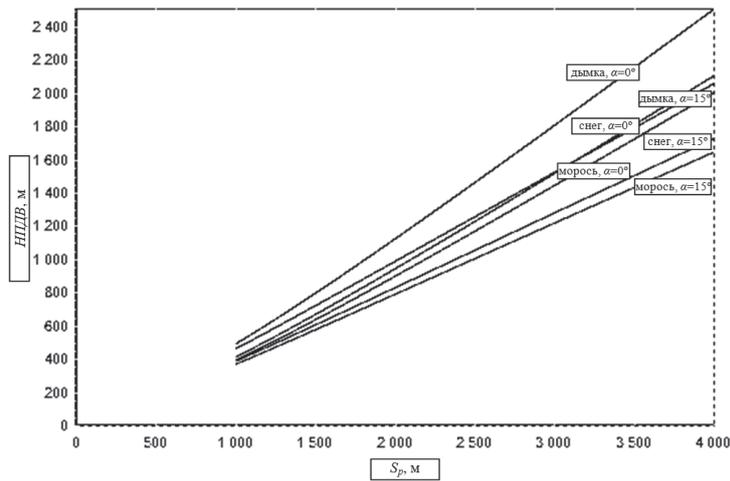


Рис. 2. Зависимость НПДВ от S_p во II ТРГВ

[Fig. 2. Dependence of slant flight visibility on horizontal in type II distribution]

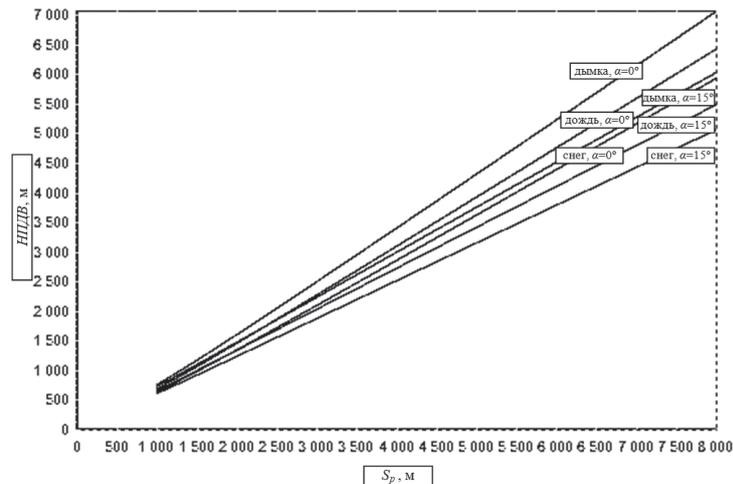


Рис. 3. Зависимость НПДВ от S_p в III ТРГВ

[Fig. 3. Dependence of slant flight visibility on horizontal in type III distribution]

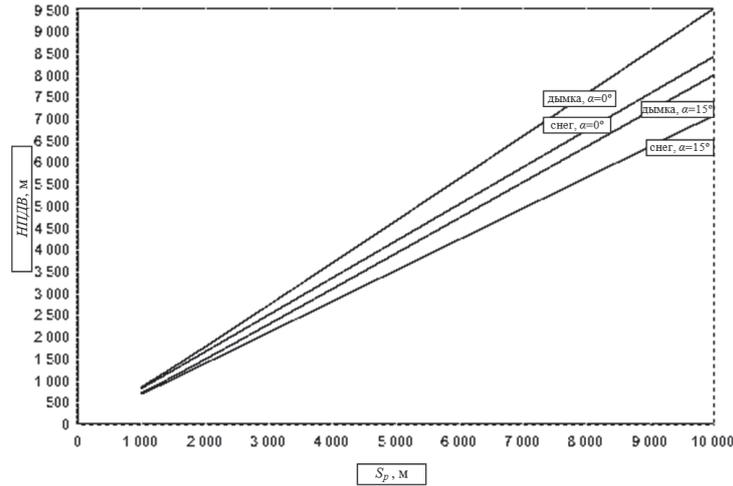


Рис. 4. Зависимость НПДВ от S_p в IV ТРГВ

[Fig. 4. Dependence of slant flight visibility on horizontal in type IV distribution]

Анализ рисунков 1-4 показывает, что НПДВ зависит от $H_{пол}$ ВС, W , α для четырех основных ТРГВ. Использование значений МДВ вместо НПДВ с $H_{пол}$ ВС под низкими облаками не позволяет объективно оценить возможность выполнения полетов на МВЛ [1, 4, 6].

Подтверждение данного вывода представлено в качестве примера в таблице 1 значениями КАКП по сочетаниям ВНГО и НПДВ в сравнении с сочетаниями ВНГО и МДВ.

Анализ таблицы 1 также показывает и подтверждает, что оценка возможности выполнения полетов по сочетаниям ВНГО и МДВ не объективна по сравнению с сочетаниями ВНГО и НПДВ. При этом в дымке значения НПДВ составили 40% от МДВ в I ТРГВ, 55% – во II ТРГВ, 83% – в III ТРГВ, 90% – в IV ТРГВ.

Исходя из современных требований к климатическому описанию [7] целесообразно определять

КАКП как сочетания ВНГО и НПДВ для различных W и $H_{пол}$, представленных, в качестве примера, в таблицах 2, 3.

Анализ таблиц 2,3 показывает, что в одной и той же ТРГВ значения КАКП существенно отличаются в зависимости от $H_{пол}$ и W . При этом условия выполнения полетов на МВЛ под низкими облаками, в зависимости от уровня подготовки экипажа, могут изменяться от СМУ до ПМУ и наоборот [6].

Оценка адекватности и достоверности построенной модели НПДВ с учетом W и $H_{пол}$ ВС проводилась с помощью экспертного опроса летного состава, выполняющего полеты на МВЛ.

Значения F -критерия Фишера построенной модели и данных согласованного экспертного опроса ($F_{крит} = 0,40$) представлены в таблице 4.

Таблица 1

Значения КАКП по сочетаниям ВНГО и НПДВ

[Table 1. Values of a complex aviation-climatic indicator based on combinations of cloud height and slant flight visibility range]

$H_{пол}$, м / flight altitude, m	ВНГО и МДВ, (м и км) / cloud base height and meteorological visibility range, (m and km)	ВНГО и НПДВ, (м и км) / cloud base height and slant visibility range, (m and km)
50	(100 и 1) I ТРГВ	(100 и 0,4)
150	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,1)
250	(300 и 3) III ТРГВ	(300 и 2,5)
350	(400 и 4) IV ТРГВ	(400 и 3,6)

Таблица 2

Значения КАКП по сочетаниям ВНГО и НПДВ во II ТРГВ для различных $H_{пол}$

[Table 2. Values of the complex aviation-climatic indicator for combinations of cloud height and slant flight visibility range in type II distribution for various flight altitudes]

$H_{пол}$, м / flight altitude, m	ВНГО и МДВ, (м и км) / cloud base height and meteorological visibility range, (m and km)	ВНГО и НПДВ, (м и км) / cloud base height and slant visibility range, (m and km)
50	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,6)
100	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,4)
150	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,1)

Таблица 3

Значения КАКП по сочетаниям ВНГО и НПДВ во II ТРГВ для различной W
 [Table 3. Values of the complex aviation-climatic indicator for combinations
 of cloud height and slant flight visibility range in type II distribution for various ground speeds]

W , км/ч / ground speed, km/h	ВНГО и МДВ, (м и км) / cloud base height and meteorological visibility range, (m and km)	ВНГО и НПДВ, (м и км) / cloud base height and slant visibility range, (m and km)
100	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,3)
200	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,2)
300	(200 и 2) II ТРГВ	(200 и 1,1)

Таблица 4

Оценка адекватности модели НПДВ
 [Table 4. Assessing the adequacy of the slant flight visual range model]

НПДВ с $H_{пол}BC$ / slant visibility range from flight altitude	F -критерий Фишера / F - Fisher test			
	I ТРГВ / I horizontal visibility distribution type	II ТРГВ / II horizontal visibility distribution type	III ТРГВ / III horizon- tal visibility distribution type	IV ТРГВ / IV horizon- tal visibility distribution type
	$H_{пол} = 50$ м	$H_{пол} = 150$ м	$H_{пол} = 250$ м	$H_{пол} = 350$ м
	0,76	0,75	0,73	0,77

Таблица 5

Оценка достоверности модели НПДВ
 [Table 5. Assessing the reliability of the slant flight visual range model]

НПДВ с $H_{пол}BC$ / slant visibility range from flight altitude	Критерии успешности / Success criteria											
	I ТРГВ / I horizontal visibility distribution type			II ТРГВ / II horizontal visibility distribution type			III ТРГВ / III horizontal visibility distribution type			IV ТРГВ / IV horizon- tal visibility distribution type		
	r	σ, M	η, M	r	σ, M	η, M	r	σ, M	η, M	r	σ, M	η, M
	0,80	181,2	143,4	0,78	189,2	151,5	0,73	369,2	292,7	0,65	521,3	417,1

Анализ таблицы 4 показывает, что построенная модель НПДВ с $H_{пол}BC$ при $W = 300$ км/ч адекватна во всех ТРГВ.

В таблице 5 представлены критерии успешности для оценки достоверности НПДВ с $H_{пол}BC$ по коэффициенту корреляции (r), средней квадратической (σ) и средней абсолютной ошибке (η).

Анализ таблицы 5 показывает, что построенную модель КАКП возможно использовать, как дополнительную климатическую информацию для планирования полетов на МВЛ с целью обеспечения их эффективности, безопасности и регулярности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение КАКП по сочетаниям ВНГО и НПДВ для планирования полетов на МВЛ под низкими облаками над равнинной местностью Европейской территории России, и последующая коррекция возможности их выполнения за счет изменения $H_{пол}BC$, и позволит принимать органам ОрВД метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы, включающей в себе современные информационно-коммуникационные технологии и предназначенной для автоматизированного поиска и принятия наиболее эффективных сценариев управ-

ления, зависящих от климатической информации, с целью повышения эффективности, безопасности и регулярности полетов на МВЛ. Значения КАКП могут существенно отличаться в зависимости от W и $H_{пол}BC$, что ведет к изменению условий выполнения полетов на МВЛ под низкими облаками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А. А. *Метеорологические условия полетов воздушных судов на малых высотах. Пособие для специалистов АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и для летного и диспетчерского состава гражданской авиации.* Ленинград: Гидрометеоздат, 1983. 90 с.
2. Жаренков Л. А., Матвеев Ю. А., Ремянников Е. П. *Воздушная навигация в различных условиях полетов.* Москва: Воениздат, 1985. 175 с.
3. Кмито А. А., Смирнов П. И. *Общий курс метеорологии. Часть II.* Ленинград: ВВИА им. проф. А. Ф. Можайского, 1959. 182 с.
4. *Метеорология специального назначения. Гидрометеорологическое обеспечение повседневной деятельности войск (сил): учебное пособие / В. В. Дорофеев, И. Е. Кузнецов, А. В. Степанов, Д. А. Черепанов* Воронеж: Цифровая полиграфия, 2021. 271 с.
5. Рацимор М. Я. *Наклонная видимость. Методическое пособие для специалистов ГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ и АМСГ.* Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. 136 с.
6. *Федеральные авиационные правила производства по-*

летов государственной авиации Российской Федерации. Москва: Воениздат, 2005. 336 с.

7. Шакина Н. П., Иванова А. Р. *Прогнозирование метеорологических условий для авиации. Научно-методическое пособие*. Москва: Гидрометцентр России, 2016. 310 с.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 25.01.2024

Принята к публикации: 30.08.2024

UDC 551.501

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/105-110>

Model of Complex Aviation and Climatic Indicator for Flight Planning on Local Airlines

A. V. Stepanov✉

*Air force academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Russian Federation
(394064, Voronezh, St. Bolshevnikov Str., 54a)*

Abstract. The purpose is to improve the provided climate information by constructing a model of a complex aviation and climatic indicator, determined by combinations of cloud base height and flight visual range.

Materials and methods. Source materials are the author's own original developments. The construction of the model is based on the theory of non-horizontal visibility of objects (landmarks) on the earth's surface and the experience of air navigation. The effectiveness of the model was tested by surveying flight personnel in 2023.

Results and discussion. It is shown that the identification of the slant flight visibility range with the values of the meteorological visibility range under low clouds does not allow an objective assessment of the possibility of performing flights on local airlines. In haze, the values of the inclined flight visibility range amounted to 40 % of the meteorological visibility range in type I, 55 % in type II, 83 % in type III, and 90 % in type IV of the distribution of horizontal visibility with height.

Conclusions. The use of a complex aviation and climate indicator for planning flights on local airlines under low clouds and subsequent correction of the possibility of their implementation by changing the altitude and speed of the aircraft, the heading angle of observation will allow air traffic management authorities to make weather-dependent decisions through the use of intelligent meteorological system.

Key words: complex aviation and climatic indicator, slant flight visibility range, local air lines.

For citation: Stepanov A. V. Model of Complex Aviation and Climatic Indicator for Flight Planning on Local Airlines. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoecologia*, 2024, no. 3, pp. 105-110. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/105-110>

REFERENCES

1. Vasil'ev A. A. *Meteorologicheskie usloviya poletov vozdukhnykh sudov na malyykh vysotakh. Posobie dlya spetsialistov AMSG, AMTs, ZAMTs i dlya letnogo i dispatcher'skogo sostava grazhdanskoj aviatsii*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 90 p. (In Russ.)
2. Zharenkov L. A., Matveev Yu. A., Remyannikov E. P. *Vozdushnaya navigatsiya v razlichnykh usloviyakh poletov*. Moscow: Voenizdat, 1985. 175 p. (In Russ.)
3. Kmito A. A., Smirnov P. I. *Obshchiy kurs meteorologii. Chast' II*. Leningrad: VVIA im. prof. A. F. Mozhayskogo, 1959. 182 p. (In Russ.)
4. *Meteorologiya spetsial'nogo naznacheniya. Gidrometeorologicheskoe obespechenie povsednevnoy deyatel'nosti voysk (sil): uchebnoe posobie / V. V. Dorofeev, I. E. Kuznetsov, A. V. Stepanov, D. A. Cherepanov*. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya, 2021. 271 p. (In Russ.)

Степанов Алексей Владимирович
кандидат географических наук, докторант кафедры гидрометеорологического обеспечения гидрометеорологического факультета ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0009-0004-6371-8551, e-mail: step_al@mail.ru

5. Ratsimor M. Ya. *Naklonnaya vidimost'. Metodicheskoe posobie dlya spetsialistov GAMTs, ZAMTs, AMTs i AMSG*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 136 p. (In Russ.)

6. *Federal'nye aviatsionnye pravila proizvodstva poletov gosudarstvennoy aviatsii Rossiyskoy Federatsii*. Moscow: Voenizdat, 2005. 336 p. (In Russ.)

7. Shagina N. P., Ivanova A. R. *Prognozirovanie meteorologicheskikh usloviy dlya aviatsii. Nauchno-metodicheskoe posobie*. Moscow: Gidrometsentr Rossii, 2016. 310 s. (In Russ.)

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 25.01.2024

Accepted: 30.08.2024

Alexey V. Stepanov
Cand. Sci. (Geogr.), Doctoral student at the Department of Hydrometeorological Support, Faculty of Hydrometeorology of the Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0009-0004-6371-8551, e-mail: step_al@mail.ru

© Stepanov A. V., 2024

✉ Alexey V. Stepanov, e-mail: step_al@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.