

Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 623—633.
Hydrometeorology and Ecology. 2025;(81):623—633.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.591.6:[551.432.8+551.515.1+551.576.2]

doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-623-633

Влияние природных зон равнинной местности на временную изменчивость динамической наклонной полетной видимости при низкой облачности в типовых синоптических ситуациях циклона

Алексей Владимирович Степанов, Виктор Васильевич Дорофеев

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж,
Россия, step_al@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются условия повышения качества метеорологического обеспечения полетов авиации общего назначения на местных воздушных линиях, а также выполнение авиационных работ путем оценки влияния природных зон в типовых синоптических ситуациях циклона на временную изменчивость динамической наклонной полетной видимости. Показано, что при прогнозировании значений динамической полетной видимости необходимо учитывать ее естественную временную изменчивость, на которую влияют природные зоны равнинной местности и типовые синоптические ситуации циклона.

Ключевые слова: динамическая полетная видимость, природные зоны равнинной местности, временная изменчивость.

Для цитирования: Степанов А. В., Дорофеев В. В. Влияние природных зон равнинной местности на временную изменчивость динамической наклонной полетной видимости при низкой облачности в типовых синоптических ситуациях циклона масштабах // Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 623—633. doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-623-633.

METEOROLOGY

Original article

The influence of natural zones of flat terrain on the temporal variability of flight visibility in low clouds

Alexey V. Stepanov, Victor V. Doroфеев

Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, step_al@mail.ru

Summary. The temporal characteristics of the variability of altitude, low clouds and horizontal visibility for various natural areas of the Russian Federation are the main factor influencing the temporal variability

© Степанов А. В., Дорофеев В. В., 2025

of dynamic inclined flight visibility. When providing meteorological support for general aviation flights on local air lines and performing aviation operations in conditions of low clouds and limited visibility, it is necessary to assess the possibility of deterioration of dynamic inclined flight visibility in various natural areas as a critically important factor affecting flight safety. At the same time, it is necessary to take into account the contradiction between the values of the temporal characteristics of the variability of horizontal visibility and dynamic inclined flight visibility in different parts of the cyclone under low clouds. This is possible by studying the temporal characteristics of the variability of altitude, low clouds and horizontal visibility over various natural areas in typical synoptic situations of a cyclone and their effect on the natural temporal variability of dynamic inclined flight visibility, which will allow them to estimate their minimum values and inform flight personnel about possible deterioration of meteorological conditions on local air lines and the performance of aviation work.

The purpose of the publication is to improve the quality of meteorological support for general aviation flights on local air lines and the performance of aviation operations by assessing the impact of natural zones in typical synoptic situations of a cyclone on the temporary variability of dynamic inclined flight visibility based on 30-minute measurements of the height of the lower cloud boundary and horizontal visibility at airfields in flat terrain. The results of the study showed that when predicting the values of dynamic inclined flight visibility, it is necessary to take into account its natural temporal variability, which is influenced by the natural zones of flat terrain in typical synoptic situations of a cyclone. At the same time, the natural temporal variability of dynamic inclined flight visibility is greater than the natural temporal variability of the height of the lower cloud boundary and horizontal visibility for all natural zones.

Keywords: dynamic inclined flight visibility, natural zones of flat terrain, temporal variability.

For citation: Stepanov A. V., Doroфеев V. V. The influence of natural zones of flat terrain on the temporal variability of flight visibility in low clouds *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydro-meteorology and Ecology*. 2025;(81):(623—633). doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-623-633. (In Russ.).

Введение

Анализ авиационных происшествий и инцидентов, произошедших в авиации общего назначения (АОН), показал, что 75 % из них произошли в условиях равнинной и холмистой местности, а 62 % от общего числа — из-за ограниченной полетной видимости [1, 2]. При метеорологическом обеспечении полетов на малых и предельно малых высотах в прогнозах погоды указывается горизонтальная видимость у поверхности земли, а не полетная видимость из кабины воздушного судна (ВС), которая используется для оценки визуальных полетов авиации [1—4], но не прогнозируется метеоспециалистами. Это обусловлено тем, что полетная видимость является динамической наклонной полетной видимостью (ДНПВ), зависящей от путевой скорости (W) и высоты полета ($H_{\text{пол}}$) ВС, изменяющихся во времени за счет естественной временной изменчивости высоты нижней границы облачности (ВНГО) и горизонтальной видимости у поверхности земли (S_0).

Поскольку большинство траекторий полета проходит над равнинной и холмистой местностью, где смена природных зон наблюдается чаще, чем над водной поверхностью, соответственно чаще меняются условия образования низкой облачности и видимости, поэтому при метеооповещении пилотов надо учитывать местность, над которой они пролетают.

Природные зоны равнинной местности [5, 6] являются постоянным фактором, влияющим на видимость. Тип синоптической ситуации является изменяющимся фактором. При этом в типовых синоптических ситуациях Zn ВНГО и S_0 различаются, поэтому ДНПВ в одной природной зоне будет зависеть от типовых синоптических ситуаций Zn . В качестве исходных данных для оценки ДНПВ

были использованы данные тридцатиминутных измерений значений ВНГО и S_0 с учетом коэффициента относительной видимости D для различных природных зон в районе аэродрома как воздушного пространства для организации выполнения аэродромных полетов.

При метеорологическом обеспечении полетов АОН на местных воздушных линиях (МВЛ) и выполнении авиационных работ (АР) в условиях низкой облачности и ограниченной видимости необходимо оценивать возможность ухудшения ДНПВ в различных природных зонах и типовых синоптических ситуациях циклона (Zn) как критически важного фактора, влияющего на безопасность полетов.

Термин ДНПВ предложен авторами. Метеоспециалисты измеряют, определяют и прогнозируют только S_0 , которая является статической характеристикой [7], а летному составу необходима информация о наклонной полетной видимости объектов (ориентиров) на земной поверхности, которая является динамической, зависящей от W , $H_{\text{пол}}$, и обеспечивает адекватную оценку возможности выполнения визуальных полетов под низкими облаками [2, 5, 6].

При этом необходимо учитывать противоречие между значениями временных характеристик изменчивости S_0 и ДНПВ в различных частях Zn под низкими облаками. Противоречие между значениями временных характеристик изменчивости горизонтальной видимости и ДНПВ в различных частях Zn заключается в невозможности их отожествления, т.к. ДНПВ определяется одновременным сочетанием ВНГО и S_0 , при различных W и $H_{\text{пол}}$ как основных влияющих факторов и зависит от распределения горизонтальной видимости с высотой под низкими облаками [2, 8].

Решение противоречия возможно на основе исследования временных характеристик изменчивости ВНГО и S_0 для различных природных зон в различных типовых синоптических ситуациях Zn и их влияния на естественную временную изменчивость ДНПВ, что позволит оценивать их средние, минимальные и максимальные значения и информировать летный состав о возможных ухудшениях метеорологических условий на МВЛ и при выполнении АР.

Диспетчеры воздушного движения передают пилотам предупреждения о возможном ухудшении условий полета по ухудшениям значений ВНГО и/или ДНПВ ниже минимальных, к которым пилот имеет допуск. Пилоты анализируют полученную информацию и принимают решения о продолжении полета, изменении маршрута или его прекращении, исходя из текущей и ожидаемой метеорологической обстановки.

В случае резкого ухудшения значений ДНПВ пилоты получают сообщения от диспетчеров и принимают решение на изменение высоты, путевой скорости или маршрута полета. Регулярные инструментальные измерения ВНГО и МДВ на аэродромах, где выполняются полеты, проводятся через 30 минут, поэтому целесообразно использовать эти данные для оценивания естественной временной изменчивости в типовых синоптических ситуациях Zn для краткосрочного прогноза погоды при метеорологическом обеспечении полетов на МВЛ и выполнении АР [2, 7].

Целью публикации является повышение качества метеорологического обеспечения полетов АОН на МВЛ и выполнении АР путем оценки влияния природных зон на временную изменчивость ДНПВ по данным тридцатиминутных измерений ВНГО и S_0 на аэродромах равнинной местности.

Методика исследования

Влияние природных зон на естественную временную изменчивость ВНГО, S_0 и ДНПВ определяется по статистическим характеристикам: среднему значению ВНГО (S_0 , ДНПВ) (ВНГО, S_0 , ДНПВ), среднеквадратическому отклонению (σ), коэффициенту относительной изменчивости (c_v) в различных частях Zn . Согласно [9, 10], $c_v \leq 0,1$ — изменчивость слабая; $0,1 < c_v \leq 0,2$ — изменчивость средняя; $c_v > 0,2$ — изменчивость сильная.

В качестве примера в табл. 1 представлены значения характеристик естественной временной изменчивости ВНГО в различных частях Zn в светлое время суток переходного периода года (весной или осенью) для природных зон смешанных и широколиственных лесов в дымке.

Таблица 1

Значение характеристик естественной временной изменчивости ВНГО в различных частях Zn для природных зон смешанных и широколиственных лесов

The significance of the characteristics of the natural temporal variability of the lower cloud boundary in different parts of the Zn for the natural zones of mixed and broad-leaved forests

| Части Zn | Характеристики изменчивости | Время, мин | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Тыл Zn | $\overline{\text{ВНГО}}$, м | 281 | 295 | 300 | 272 | 260 | 254 | 246 |
| | σ , м | 56 | 62 | 63 | 60 | 59 | 61 | 64 |
| | c_v | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,26 |
| Передняя часть Zn | $\overline{\text{ВНГО}}$, м | 243 | 249 | 258 | 251 | 246 | 245 | 244 |
| | σ , м | 27 | 30 | 36 | 38 | 37 | 39 | 41 |
| | c_v | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,17 |
| Теплый сектор Zn | $\overline{\text{ВНГО}}$, м | 216 | 226 | 205 | 176 | 187 | 163 | 156 |
| | σ , м | 13 | 16 | 12 | 16 | 15 | 16 | 17 |
| | c_v | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 0,11 |
| Центр Zn | $\overline{\text{ВНГО}}$, м | 171 | 176 | 179 | 199 | 172 | 167 | 160 |
| | σ , м | 6 | 11 | 13 | 12 | 14 | 15 | 16 |
| | c_v | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,10 |

Анализ табл. 1 показывает, что слабая естественная временная изменчивость ВНГО наблюдается в центре и теплом секторе Zn , средняя — в передней части Zn и сильная — в тылу Zn , начиная с 30 минуты в природных зонах смешанных и широколиственных лесов.

В табл. 2 представлены значения характеристик естественной временной изменчивости ВНГО в различных частях Zn в светлое время суток переходного периода года (весной или осенью) для природных зон степей в дымке.

Таблица 2

Значение характеристик естественной временной изменчивости ВНГО
в различных частях Zn для природных зон степей

The significance of the characteristics of the natural temporal variability
of the lower cloud boundary in different parts of the Zn for the natural zones of the steppes

| Части Zn | Характеристики изменчивости | Время, мин | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Тыл Zn | \bar{VNGO} , м | 297 | 302 | 306 | 312 | 323 | 332 | 335 |
| | σ , м | 50 | 54 | 58 | 62 | 67 | 73 | 77 |
| | c_v | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 |
| Передняя часть Zn | \bar{VNGO} , м | 254 | 258 | 263 | 269 | 276 | 282 | 286 |
| | σ , м | 23 | 28 | 32 | 35 | 36 | 39 | 43 |
| | c_v | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,15 |
| Теплый сектор Zn | \bar{VNGO} , м | 231 | 235 | 242 | 248 | 254 | 261 | 266 |
| | σ , м | 9 | 9 | 12 | 15 | 15 | 21 | 24 |
| | c_v | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,09 |
| Центр Zn | \bar{VNGO} , м | 183 | 186 | 189 | 192 | 202 | 207 | 212 |
| | σ , м | 5 | 7 | 9 | 10 | 12 | 14 | 17 |
| | c_v | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |

В табл. 3 представлены значения характеристик естественной временной изменчивости S_0 в различных частях Zn переходного периода года в природных зонах смешанных и широколиственных лесов в дымке.

Таблица 3

Значение характеристик естественной временной изменчивости S_0 в различных частях Zn
для природных зон смешанных и широколиственных лесов

The significance of the characteristics of the natural temporal variability of the horizontal range of visibility in different parts of the Zn for the natural zones of mixed and broadleaf forests

| Части Zn | Характеристики изменчивости | Время, мин | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Тыл Zn | \bar{S}_0 , м | 3984 | 4457 | 4921 | 3752 | 3578 | 3285 | 3114 |
| | σ , м | 717 | 847 | 984 | 788 | 787 | 756 | 747 |
| | c_v | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 |
| Передняя часть Zn | \bar{S}_0 , м | 3134 | 3345 | 4610 | 4231 | 3915 | 3651 | 3422 |
| | σ , м | 376 | 435 | 645 | 592 | 587 | 548 | 548 |
| | c_v | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,16 |
| Теплый сектор Zn | \bar{S}_0 , м | 3162 | 3545 | 2888 | 2996 | 3115 | 2887 | 2873 |
| | σ , м | 189 | 248 | 144 | 270 | 249 | 289 | 316 |
| | c_v | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 0,11 |
| Центр Zn | \bar{S}_0 , м | 2802 | 2992 | 3174 | 3496 | 3073 | 2902 | 2834 |
| | σ , м | 112 | 150 | 222 | 210 | 245 | 232 | 255 |
| | c_v | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |

Как видно из табл. 3, слабая естественная временная изменчивость S_0 наблюдается в центре и теплом секторе Zn , средняя — в передней части Zn и сильная — в тылу Zn , начиная с 90 минуты для природных зон смешанных и широколиственных лесов.

В табл. 4 представлены значения характеристик естественной временной изменчивости S_0 в различных частях Zn для природных зон степей в дымке.

Таблица 4

Значение характеристик временной изменчивости S_0 в различных частях Zn для природных зон степей

The significance of the characteristics of the temporal variability of the horizontal range of visibility in different parts of Zn for the natural zones of the steppes

| Части Zn | Характеристики изменчивости | Время, мин | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Тыл Zn | \bar{S}_0 , м | 4102 | 4230 | 4534 | 4783 | 4826 | 4963 | 5102 |
| | σ , м | 656 | 719 | 816 | 908 | 965 | 1042 | 1122 |
| | c_v | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 |
| Передняя часть Zn | \bar{S}_0 , м | 3642 | 3845 | 3957 | 4177 | 4343 | 4576 | 4684 |
| | σ , м | 364 | 423 | 474 | 543 | 608 | 641 | 703 |
| | c_v | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 |
| Теплый сектор Zn | \bar{S}_0 , м | 2895 | 3145 | 3342 | 3575 | 3756 | 3885 | 3943 |
| | σ , м | 145 | 189 | 201 | 250 | 300 | 349 | 394 |
| | c_v | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 |
| Центр Zn | \bar{S}_0 , м | 2772 | 2856 | 3074 | 3275 | 3358 | 3545 | 3647 |
| | σ , м | 83 | 114 | 154 | 197 | 235 | 248 | 292 |
| | c_v | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,08 |

Из анализа табл. 4 следует, что слабая естественная временная изменчивость S_0 наблюдается в центре и теплом секторе Zn , средняя — в передней части Zn и сильная — в тылу Zn начиная с 150 минуты для природных зон степей.

Результаты исследований

Модель ДНПВ построена авторами самостоятельно при $ВНГО \leq 150$ м, $150 < ВНГО \leq 200$ м, $200 < ВНГО \leq 400$ м на основе теории негоризонтальной видимости. Горизонтальная дальность видимости реального объекта (S_p) на любом реальном фоне определяется уравнением:

$$S_0 = \frac{1}{\mu} \ln \left(\frac{K}{\varepsilon} \right), \quad (1)$$

где K — яркостный контраст между объектом (ориентиром) и фоном; ε — порог контрастной чувствительности глаза; μ — показатель ослабления [2].

При этом, исходя из [5, 6], для практической реализации расчетов с учетом природных зон применяется коэффициент относительной видимости D :

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

Подставляя (2) в (1) получаем:

$$S_0 = \frac{1}{\mu} \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \cdot D. \quad (3)$$

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

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

где:

$$S_{H_{\text{пол}}} = A \cdot H_{\text{пол}}^2 + B \cdot H_{\text{пол}} + S_0. \quad (5)$$

Коэффициенты A и B определяются в зависимости от распределения горизонтальной видимости с высотой под низкими облаками:

- для ВНГО ≤ 150 м:

$$S_{H_{\text{пол}}} = \frac{0,24S_0 + 1,5S_{mH}}{\text{ВНГО}^2} \cdot H_{\text{пол}}^2 - \frac{1,24S_0 + 0,5S_{mH}}{\text{ВНГО}} \cdot H_{\text{пол}} + S_0, \quad (6)$$

- для $150 < \text{ВНГО} \leq 200$ м:

$$S_{H_{\text{пол}}} = \frac{4S_{mH} - 0,84S_0}{\text{ВНГО}^2} \cdot H_{\text{пол}}^2 - \frac{3S_{mH} + 0,16S_0}{\text{ВНГО}} \cdot H_{\text{пол}} + S_0, \quad (7)$$

- для $200 < \text{ВНГО} \leq 400$ м:

$$S_{H_{\text{пол}}} = S_0. \quad (8)$$

Используя выражение для определения $\bar{\mu}_{0H_{\text{пол}}}$ (формула 4), заменив S_p на $S_{\text{ДНПВ}} = \frac{S_0}{\cos \theta}$, с учетом явлений погоды ($L_{\text{явл}}$), получаем:

$$S_{\text{ДНПВ}} = L_{\text{явл}} \frac{D \cdot H_{\text{пол}}}{\cos \theta \cdot \int_0^{H_{\text{пол}}} \frac{dh}{S_{H_{\text{пол}}}}}, \quad (9)$$

где $L_{\text{явл}}$ — коэффициент, учитывающий влияние явлений погоды ($L_{\text{дымка}} = 1$, $L_{\text{дождь}} = 0,91$, $L_{\text{снег}} = 0,84$, $L_{\text{морось}} = 0,8$) [2]; $S_{H_{\text{пол}}}$ — горизонтальная видимость на высоте полета ($H_{\text{пол}}$), м; θ — угол визирования в градусах реальных объектов

(ориентиров) на земной поверхности, зависящий от аэронавигационных параметров ВС.

Учет аэронавигационных элементов полета ВС [11] выполняется по путевой скорости (W), зависящей от θ :

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta. \quad (10)$$

При этом:

$$\Delta\theta = 57,3 \frac{W \cdot t}{H_{\text{пол}}} \sin \theta_0 \sqrt{1 - \cos^2 \theta_0 \cdot \cos^2 \alpha}. \quad (11)$$

где W — путевая скорость полета ВС, м/с; $H_{\text{пол}}$ — высота полета ВС, м; t — время аккомодации зрения пилота ВС, с; θ_0 — первоначальный угол визирования без учета путевой скорости полета ВС, $^{\circ}$; α — курсовой угол наблюдения объектов (ориентиров) на земной поверхности, $^{\circ}$.

В качестве исходных данных для модели использовались средние значения ВНГО и S_0 , полученные в табл. 1—4 по данным 30-минутных метеорологических приборных измерений в пункте вылета для $H_{\text{пол}}$: 50—150 м и для $W = 300$ км/ч. Зона Zn как типовая синоптическая ситуация учитывается значениями ВНГО и S_0 для различных явлений погоды $L_{\text{явл}}$.

В качестве примера значения характеристик временной изменчивости ДНПВ для различных природных зон в тылу Zn представлены в табл. 5—6.

Таблица 5

Значения характеристик временной изменчивости ДНПВ при $H_{\text{пол}}$: 50—150 м и $W = 300$ км/ч для различных природных зон в тылу Zn ($L_{\text{дымка}} = 1$, $D = 0,8$)

The values of the characteristics of the temporal variability of the dynamic flight visibility for flight heights are: 50—150 m and flight speeds 300 km/h for natural zones in the rear of Zn ($L_{\text{дымка}} = 1$, $D = 0,8$)

| Тыл Zn | $H_{\text{пол}}$, м | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
|-----------------------|----------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | природные зоны смешанных и широколиственных лесов | | | | | | |
| ДНПВ, м | 50—150 | 3650 | 4150 | 4600 | 3450 | 3300 | 3000 | 2850 |
| σ , м | | 694 | 830 | 966 | 759 | 759 | 930 | 941 |
| c_v | | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,31 | 0,33 |
| природные зоны степей | | | | | | | | |
| ДНПВ, м | | 3800 | 3950 | 4200 | 4450 | 4500 | 4650 | 4750 |
| σ , м | | 646 | 711 | 798 | 890 | 945 | 1023 | 998 |
| c_v | | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,22 | 0,21 |

Из табл. 5 видно, что в тылу Zn естественная временная изменчивость ДНПВ в природных зонах смешанных и широколиственных лесов изменяется от средней до сильной с 60 минуты при любых W и $H_{\text{пол}}$ ($L_{\text{дымка}} = 1$, $D = 0,8$), а для зон степей изменчивость ДНПВ изменяется от средней до сильной с 120 минуты при любых W и $H_{\text{пол}}$.

В табл. 6 приводятся оценки временной изменчивости ДНПВ при $H_{\text{пол}}$: 50—150 м и $W = 300$ км/ч для различных природных зон в тылу Zn ($D = 0,2$).

Таблица 6

Значения характеристик временной изменчивости ДНПВ при $H_{\text{пол.}}: 50—150$ м и $W = 300$ км/ч для различных природных зон в тылу Zn ($D = 0,2$)

The values of the characteristics of the temporal variability of the dynamic flight visibility for flight heights are: 50—150 m and flight speeds = 300 km/h for natural zones in the rear of Zn ($L_{\text{дынка}} = 1, D = 0,2$)

| Тыл Zn | $H_{\text{пол.}}$ м | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
|------------------------------|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | природные зоны смешанных и широколиственных лесов | | | | | | |
| $\overline{\text{ДНПВ}}$, м | 50—150 | 900 | 1050 | 1150 | 900 | 800 | 750 | 700 |
| σ , м | | 187 | 221 | 257 | 205 | 205 | 255 | 255 |
| c_v | | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,33 | 0,35 |
| $\overline{\text{ДНПВ}}$, м | | природные зоны степей | | | | | | |
| σ , м | | 950 | 1000 | 1050 | 1150 | 1150 | 1200 | 1250 |
| c_v | | 150 | 200 | 215 | 225 | 250 | 250 | 275 |
| | | 0,16 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,22 |

Анализ табл. 6 показывает, что в тылу Zn естественная временная изменчивость ДНПВ изменяется от средней до сильной с 60 минуты при любых W и $H_{\text{пол.}}$ для природных зон смешанных и широколиственных лесов ($L_{\text{дынка}} = 1, D = 0,2$) и от средней до сильной со 120 минуты для зон степей.

На рис. 1 представлена зависимость естественной временной изменчивости ДНПВ в тылу Zn для природных зон смешанных, широколиственных лесов и степей ($L_{\text{дынка}} = 1, D = 0,8$), который наглядно демонстрирует полученные результаты естественной временной изменчивости ДНПВ в тылу Zn для различных

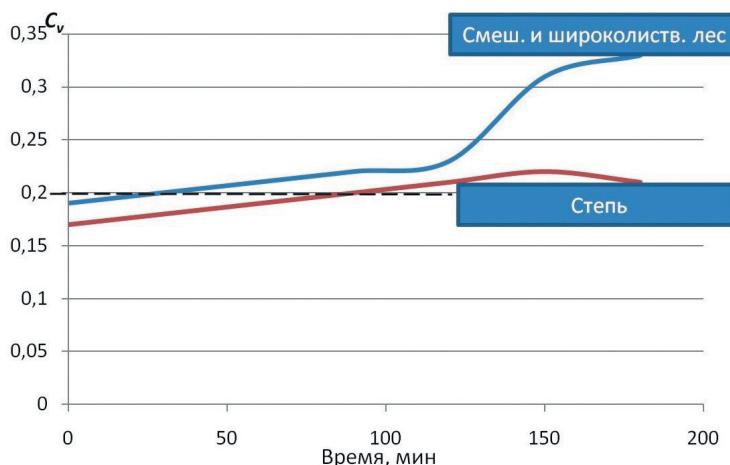


Рис. 1. Зависимость естественной временной изменчивости ДНПВ в тылу Zn для природных зон смешанных, широколиственных лесов и степей ($L_{\text{дынка}} = 1, D = 0,8$).

Fig. 1. Dependence of natural temporal variability of DNPV in the rear of Zn for natural zones of mixed, broad-leaved forests and steppes ($L_{\text{haze}} = 1, D = 0.8$).

природных зон. В зонах смешанных и широколиственных лесов изменчивость ДНПВ существенно выше.

Заключение

При прогнозировании значений ДНПВ необходимо учитывать ее естественную временную изменчивость, на которую влияют природные зоны равнинной местности. При этом сильная изменчивость c_v для ВНГО и S_0 для природных зон смешанных и широколиственных лесов в тылу Zn наступают на 90 минут раньше, чем для природных зон степей. Сильная изменчивость c_v ДНПВ для природных зон смешанных и широколиственных лесов в тылу Zn наступают на 60 минут раньше, чем для природных зон степей. Естественная временная изменчивость ДНПВ больше, чем естественная временная изменчивость ВНГО и S_0 для всех природных зон. Высокая изменчивость ДНПВ представляет опасность для авиации из-за больших колебаний, особенно в сторону минимальных значений, т.к. пилот может попасть в метеорологические условия полетов, к которым он не подготовлен. Результаты расчетов будут использоваться в автоматизированных рабочих местах авиационного метеоролога при метеорологическом обеспечении полетов на МВЛ и выполнении АР.

Список литературы

1. Богаткин О. Г. Основы авиационной метеорологии. СПб.: РГГМУ, 2009. 339 с.
2. Дорофеев В. В., Бакланов И. О., Жильчук И. А. и др. Полетная видимость. Монография. Воронеж: ЦНТИ, 2013. 250 с.
3. Sillmann J., Thorarinsdottir T., Keenlyside N. et al. Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities // Weather and Climate Extremes. 2017. Vol. 18. P. 65—74. doi: 10.1016/j.wace.2017.10.003.
4. Morss R. E., Demuth J. L., Lazarus H. et al. Hazardous Weather Prediction and Communication in the Modern Information Environment // Bulletin of the American Meteorological Society 98. 2017. Vol. 12. P. 2653—2674. doi: 10.1175/BAMS-D-16-0058.1.
5. Степанов А. В. Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности на полетную видимость. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2024. Том. 24. Вып. 4. С. 269—273. doi: 10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273.
6. Степанов А. В. Авиационная климатическая метеорологическая информация для планирования полетов авиации общего назначения // Гидрометеорология и образование. 2025. № 1. С. 23—30.
7. Guide to meteorological instrument and observing practices / WMO. 1984. Vol. 6. 600 p. doi: 10.25607/OBP-432.
8. Horvath H. Atmospheric Visibility. Atmospheric Environment. 1981. Vol. 15. P. 11—15.
9. Венцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для втузов. М.: Кнорус, 2010. 658 с.
10. Wilks D. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press. 2006. 648 p.
11. Жаренков Л. А., Матвеев Ю. А., Ремянников Е. П. Воздушная навигация в различных условиях полетов. М.: Воениздат, 1985. 175 с.

References

1. Bogatkin O. G. *Osnovy aviationsionnoy meteorologii = Fundamentals of Aviation Meteorology*. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University. 2009: 339 p. (In Russ.).
2. Doroфеев V. V., Baklanov I. O., Zhil'chuk I. A. et al. *Poletnaya vidimost'*. Monografiya = Flight visibility. The monograph. Voronezh: Center for Scientific and Technical Information. 2013: 250 p. (In Russ.).

3. Sillmann J., Thorarinsdottir T., Keenlyside N. et al. Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities. *Weather and Climate Extremes*. 2017; (18): 65—74 doi: 10.1016/j.wace.2017.10.003.
4. Morss R. E., Demuth J. L., Lazarus H. et al. Hazardous Weather Prediction and Communication in the Modern Information Environment. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017; 98(12): 2653—2674. doi: 10.1175/BAMS-D-16-0058.1.
5. Stepanov A. V. Assessment of the influence of physical and geographical conditions of a flat area on flight visibility. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Serija Nauki o Zemle = Proceedings of the Saratov University. A new series. Earth Sciences Series*. 2024; (24): (269—273). doi: 10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273. (In Russ.).
6. Stepanov A. V. Aviation climatic meteorological information for general aviation flight planning. *Hydrometeorologija i obrazovanie = Hydrometeorology and Education*. 2025; (1):(23—30). (In Russ.).
7. Guide to meteorological instrument and observing practices. *WMO*. 1984; (6):600 p. doi: 10.25607/ OBP-432.
8. Horvath H. Atmospheric Visibility. *Atmospheric Environment*. 1981; (15): 11—15.
9. Wenzel E. S. *Teoriya veroyatnostej: uchebnik dlya vtuzov = Probability Theory: a textbook for higher education institutions*. M.: Knorus, 2010: 658 p. (In Russ.).
10. Wilks D. Statistical methods in the atmospheric sciences. *Academic Press*. 2006: 648 p.
11. Zharenkov L. A., Matveev Y. A., Remyannikov E. P. *Vozdushnaya navigatsiya v razlichnykh usloviyakh poletov = Air navigation in various flight conditions*. M.: Voenizdat. 1985: 175 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Степанов Алексей Владимирович, кандидат географических наук, ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж), докторант, step_al@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>.

Дорофеев Виктор Васильевич, доктор географических наук, профессор ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж), профессор, dorofeevvatu@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8283-0796>.

Information about authors

Stepanov Alexey Vladimirovich, Candidate of Geographical Sciences, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, doctoral student, <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>.

Dorofeev Victor Vasilyevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, professor, <https://orcid.org/0009-0002-8283-0796>.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 01.06.2025
Принята к печати после доработки 27.10.2025*

*The article was received on 01.06.2025
The article was accepted after revision on 27.10.2025*