

КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ МЕТЕОЗАВИСИМЫХ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ АВИАЦИИ

В.В. Дорощев, А.В. Степанов, Д.В. Булгин, А.В. Гавриленко

В статье предлагается квалиметрическая модель метеорологической обстановки на основе количественной оценки метеорологических условий по возможности выполнения (ограничения) полетов, позволяющая адекватно на всех уровнях управления метеорологическим обеспечением осуществлять поддержку принятия метеозависимых решений на выполнение авиационных задач.

Ключевые слова: полётная видимость, горизонтальная дальность видимости, комплексный показатель метеорологической обстановки, оптическая модель

Анализ решаемых оперативно-тактической авиацией (ОТА) задач показывает, что повышение эффективности их выполнения зависит от вида метеорологической информации представляемой органам управления на всех уровнях метеорологического обеспечения [1-5]. Метеорологическая информация, представленная в виде текстовой, визуальной метеосводки и карт погоды не в полной мере соответствует современным информационно-аналитическим материалам для поддержки принятия решений соответствующих авиационным задачам ОТА [1,3,4,7,8].

Повысить качество метеорологического обеспечения ОТА (особенно на предельно-малых и малых высотах) возможно путём представления органам управления метеорологической информации в виде количественной оценки метеорологических условий выполнения (ограничения) полетов.

Для эффективной поддержки принятия метеозависимых решений метеорологическая информация, как основной информационно-аналитический материал для оценки возможности выполнения (ограничения) полетов, должна быть представлена с использованием топографической подложки и районирования территории полётов по метеорологическим условиям выполнения (ограничения) полетов. Это позволит разработать комплекс мероприятий по штурманскому обеспечению решения органов управления (командира) на выполнение авиационных задач ОТА [3,4].

Поэтому, целью статьи является повышение эффективности метеорологического обеспечения авиационных задач путем разработки квалиметрической модели метеорологической обстановки по критерию количественной оценки метеорологических условий в виде комплекса значений высоты нижней границы облаков (ВНГО) и полетной видимости (ПВ) выполнения (ограничения) полетов с использованием электронной топографической карты.

Современные прогностические модели позволяют получать карты погоды для авиации в виде зон различных значений ВНГО и зон различных значений метеорологической дальности видимости (МДВ). Эти карты значительно облегчают оценку метеорологических условий, но не позволяют оценивать возможность выполнения авиационных задач ОТА, так как эта возможность определяется не МДВ, а ПВ в сочетании с значениями ВНГО [3,4,7,8].

Следовательно, метеорологическую информацию для поддержки принятия метеозависимых решений необходимо представить в виде комплекса значений ВНГО и ПВ. Такой комплекс можно назвать комплексным показателем метеорологической обстановки ($KП_{мо}$).

$KП_{мо}$ зависит от ВНГО, МДВ, типа распределения горизонтальной видимости с высотой, геометрических характеристик и контраста объекта, фона, освещенности, времени года, и условий воздушной навигации. Поэтому $KП_{мо}$ можно представить как функцию (формула 1):

$$KП_{мо} = f(S, H, K, OM, h, W, ЯП), \quad (1)$$

где S – МДВ, м; H – ВНГО, м; K – контраст между объектом и фоном; OM – тип распределения горизонтальной видимости с высотой (оптическая модель); h – превышение местности над уровнем моря, м; W – путевая скорость, км/ч; $ЯП$ – явления погоды.

При практическом применении $KП_{мо}$ для оценки метеорологических условий используется следующее решающее правило:

$$KП_{мо} = \left\{ \begin{array}{l} (S_n \geq S_{нкp}) \wedge (H \geq H_{кp}) \wedge \overline{OЯП}, 1 - \text{полёты выполняются} \\ (S_n < S_{нкp}) \vee (H < H_{кp}) \wedge \overline{OЯП}, 0 - \text{полёты не выполняются} \\ (S_n \geq S_{нкp}) \wedge (H < H_{кp}) \wedge \overline{OЯП}, 0 - \text{полёты не выполняются} \\ (S_n < S_{нкp}) \wedge (H \geq H_{кp}) \wedge \overline{OЯП}, 0 - \text{полёты не выполняются} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где S_n – ПВ, м; $S_{нкp}$ – минимальное допустимое значение ПВ, м; H – ВНГО, м; $H_{кp}$ – минимально допустимое значение ВНГО, м.

Обоснованием к такому способу представления метеорологической информации являются требования руководящих документов [7,8], где указано, что при принятии решения на выполнение полётов метеорологические условия оцениваются по значениям ВНГО и ПВ, которые определяют профиль, продолжительность полёта, возможность ведения ориентировки, выхода на цель и применения авиационных средств поражения.

Важнейшим условием определения $KП_{мо}$ является его расчёт и прогноз по данным наземных метеорологических наблюдений с учетом влияющих факторов в типовых синоптических ситуациях.

Квалиметрическая модель реализована на основе расчетных формул ПВ для четырех основных ОМ под облаками для различных значений ВНГО и условий аэронавигации [3,4].

ПВ (наклонная дальность видимости из кабины воздушного судна (ВС)) любого реального объекта ($S_{p.НК}$) на любом реальном фоне определяется уравнением [3]:

$$S_{p.НК} = \frac{1}{\bar{\mu}_{0H}} \ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right], \quad (3)$$

где K_0 – первоначальный, не искаженный дымкой контраст между объектом и фоном; B_ϕ – истинная яркость фона, т. е. яркость, не искаженная атмосферной дымкой; B – коэффициент, характеризующий состояние яркостного насыщения слоя помутнения; ε – порог контрастной чувствительности глаза, $\bar{\mu}_{0H}$ – средний показатель ослабления.

Формула (3) применима, как и все формулы для горизонтальной МДВ, при условии, что слой атмосферы, сквозь который производится наблюдение, оптически однороден. Средний показатель ослабления в слое от поверхности земли до высоты полета под облаками $H_{пол}$ для I и II ОМ определяется соотношением [3]:

$$\bar{\mu}_{0H_{ВВО}} = \frac{\ln 1/\varepsilon}{H_{пол}} \int_0^{H_{ВВО}} \frac{dh}{Ah^2 + Bh + C}, \quad (4)$$

где коэффициенты A , B , и C являются коэффициентами уравнений относительно h :

$$S_{mh} = \frac{0,24S_0 + 1,5S_{mH}}{H^2} \cdot h^2 - \frac{1,24S_0 + 0,5S_{mH}}{H} \cdot h + S_0, \quad (5)$$

$$S_{mh} = \frac{4S_{mH} - 0,84S_0}{H^2} \cdot h^2 - \frac{3S_{mH} + 0,16S_0}{H} \cdot h + S_0, \quad (6)$$

В данных уравнениях S_{mh} – горизонтальная МДВ на высоте h , м (при $h=0$ имеем $S_{mh}=S_0$); S_0 – горизонтальная МДВ у земли, м; S_{mH} – МДВ на нижней границе облаков ($S_{mH}=80$ м), H – ВНГО, м.

Для формулы .2 могут быть три решения [3]:

1) при $B^2 > 4AC$

$$\bar{\mu}_{0H_{пол}} = \frac{1}{H_{пол}} \cdot \frac{\ln 1/\varepsilon}{\sqrt{B^2 - 4AC}} \ln \frac{H_{пол}(B + \sqrt{B^2 - 4AC}) + 2C}{H_{пол}(B - \sqrt{B^2 - 4AC}) + 2C}, \quad (7)$$

2) при $B^2 < 4AC$

$$\bar{\mu}_{0H_{\text{пол}}} = \frac{1}{H_{\text{пол}}} \cdot \frac{2 \ln \frac{1}{\varepsilon}}{\sqrt{4AC - B^2}} \operatorname{arctg} \frac{H_{\text{пол}} \sqrt{4AC - B^2}}{B \cdot H_{\text{пол}} + 2C}, \quad (8)$$

3) при $B^2 = 4AC$

$$\bar{\mu}_{0H_{\text{пол}}} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{(2AH_{\text{пол}} + B) \cdot B}, \quad (9)$$

Для III OM в случае двухслойной атмосферы видимость на высоте уровня конденсации будет равна видимости у земли S_0 , а видимость выше уровня конденсации рассчитывается по формуле (5).

Для IV OM средний показатель ослабления будет равен [1,3,8]:

$$\bar{\mu} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{S_0}, \quad (10)$$

Подставив в формулу (3) выражение для определения $\bar{\mu}_{0H_{\text{вво}}}$ из формул (7-9), заменив S_p на $S_p^{\text{НК}} = S_p / \cos \theta$, и подставив коэффициент $L_{\text{явл}}$ – экспериментально установленный коэффициент ($L_{\text{дождь}} = 0,91, L_{\text{снег}} = 0,84, L_{\text{морось}} = 0,8$) [3] получим:

для I и II OM:

1) при $B^2 > 4AC$

$$S_{p,\text{НК}} = L_{\text{явл}} \frac{H_{\text{пол}}}{\cos \theta} \cdot \frac{\sqrt{B^2 - 4AC}}{2 \ln \frac{1}{\varepsilon}} \cdot \frac{\ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right]}{\ln \frac{H_{\text{пол}} \cdot (B + \sqrt{B^2 - 4AC})}{H_{\text{пол}} \cdot (B - \sqrt{B^2 - 4AC}) + 2C}}, \quad (11)$$

2) при $B^2 < 4AC$

$$S_{p,\text{НК}} = L_{\text{явл}} \frac{H_{\text{пол}}}{\cos \theta} \cdot \frac{\sqrt{4AC - B^2}}{2 \ln \frac{1}{\varepsilon}} \cdot \frac{\ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right]}{\operatorname{arctg} \frac{H_{\text{пол}} \sqrt{4AC - B^2}}{B \cdot H_{\text{пол}} + 2C}}, \quad (12)$$

3) при $B^2 = 4AC$

$$S_{p,\text{НК}} = L_{\text{явл}} \frac{(2A \cdot H_{\text{пол}} + B) \cdot B}{\cos \theta} \cdot \frac{\ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right]}{\ln \frac{1}{\varepsilon}}, \quad (13)$$

для III OM:

$$S_{p,\text{НК}} = L_{\text{явл}} \frac{H_{\text{пол}}}{\cos \theta} \cdot \frac{\ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right]}{\left(\frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{S_0} - \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{S_{mh_2}} \right) \cdot H_{\text{УК}} + \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{S_{mh_2}} \cdot H_{\text{пол}}}, \quad (14)$$

для IV OM:

$$S_{p.HK} = L_{явл} \frac{S_0}{\cos \theta} \cdot \frac{\ln \left[1 + \left(\frac{K_0}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_\phi}{B} \right]}{\ln \frac{1}{\varepsilon}}, \quad (15)$$

В формулах (11-15) $S_{p.HK}$ представляет собой наклонную полетную дальность видимости объекта с учетом контраста между объектом и фоном, порога контрастной чувствительности глаза, типа OM и явлений погоды.

Учёт условий навигации [3, 4, 6] осуществляется по формуле (17):

$$\theta = \theta_0 + 57,3 \frac{W \cdot t}{H_{пол}} \sin \theta_0 \sqrt{1 - \cos^2 \theta_0 \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (16)$$

где θ_0 – минимальный угол визирования для высоты полета в конкретной OM без учета путевой скорости, град.

$$\theta_0 = \arctg \frac{H_{пол}}{S_{mh}}, \quad (17)$$

$$W = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 E} + U \cos E, \quad (18)$$

где V – воздушная скорость ВС, м/с; U – скорость ветра на высоте полёта, м/с; E – угол ветра, град.

Физико-географические условия (ландшафт) влияют на степень заметности (оптическую маскировку) объектов и учитываются по значениям K_o [1, 2] (незаметный объект – $K_o = 0,02-0,2$; малозаметный объект – $K_o = 0,2-0,3$; заметный объект – $K_o = 0,3-0,6$; резко заметный объект – $K_o = 0,6-0,9$).

Прогностические значения $KП_{мо}$ должны наноситься на электронную топографическую карту в виде районирования территории полётов по их значениям в реальном времени и текущем прогнозировании.

Предлагаемый способ представления метеорологических условий для оценки метеорологической обстановки по прогностическим значениям $KП_{мо}$, нанесённым на электронную топографическую карту, позволяет её оценивать с учётом условий оптической маскировки объектов (ориентиров). В качестве примера рассмотрим традиционную [5] (рисунок 1) и предлагаемую (рисунки 2,3) формы представления метеорологической информации для оценки метеорологической обстановки.

Оценка метеорологической обстановки (ограничения на выполнение полетов ОТА по ВНГО – 200 м и ПВ – 2000 м) по картам погоды, путём выделения зон однотипных метеорологических условий по району выполнения полётов (рисунок 1), не позволяет оценить возможность выполнения полетов. Это обусловлено тем, что на картах погоды наносятся значения ВНГО и МДВ (горизонтальная дальность видимости ориентира на фоне неба), а возможность выполнения полётного задания определяется значениями ВНГО и ПВ. Если отождествить МДВ и ПВ, тогда по маршруту и в районе полигона метеорологические условия соответствуют выполнению задачи.

Оценка метеорологической обстановки по $KП_{мо}$ (рис. 2) для заметных объектов (ориентиров) по условиям оптической маскировки ($K_o = 0,6$) показывает, что в районе полигона метеоусловия не соответствуют выполнению полётного задания, а для малозаметных объектов по условиям оптической маскировки ($K_o = 0,2$) (рис. 3) не соответствуют и на маршруте и на полигоне.

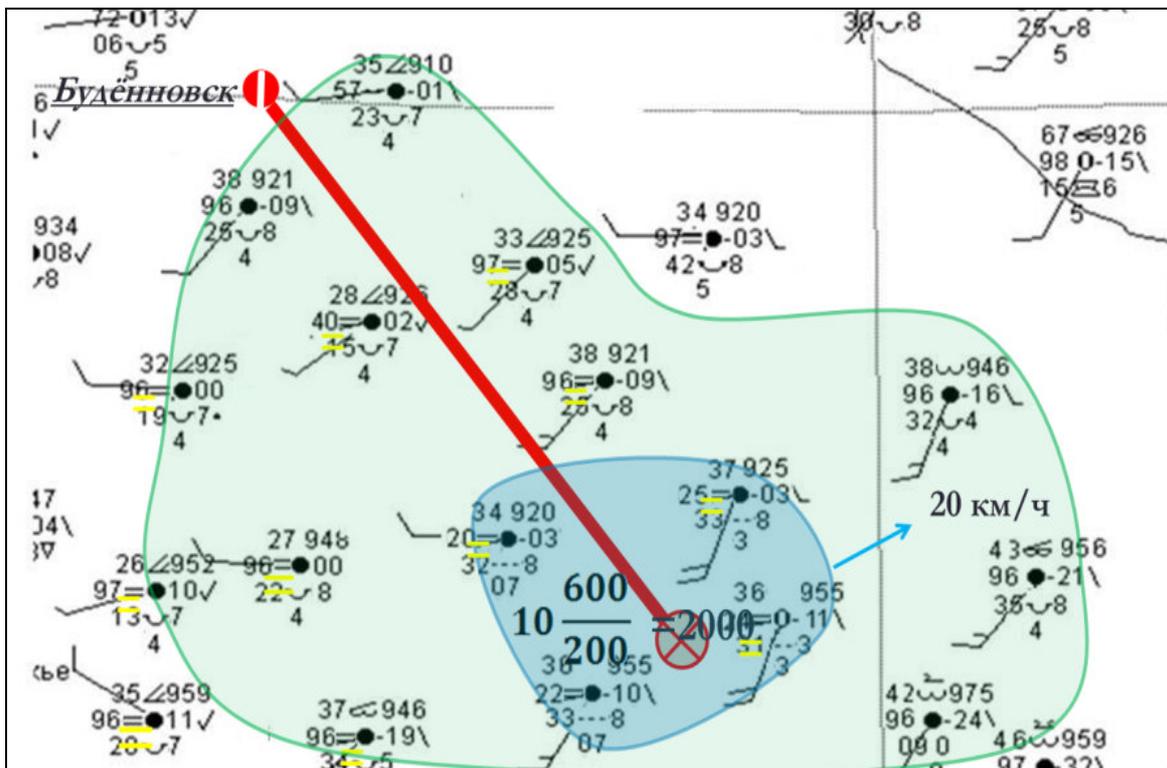


Рис.1. Микрокольцевая карта с выделенной зоной однотипных метеорологических условий по району выполнения полётов

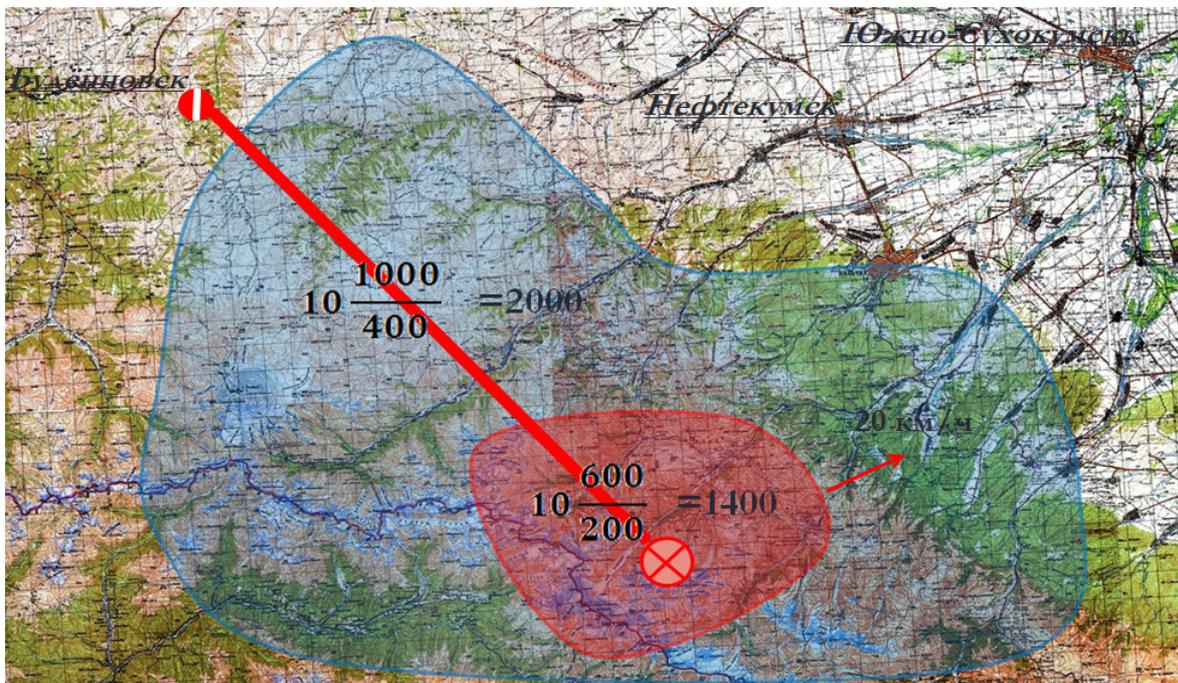


Рис.2. Топографическая карта с нанесённым комплексным показателем метеорологической обстановки для заметных объектов по условиям оптической маскировки ($K=0,6$), $H_{пол}=150$ м, $W=200$ км/ч.

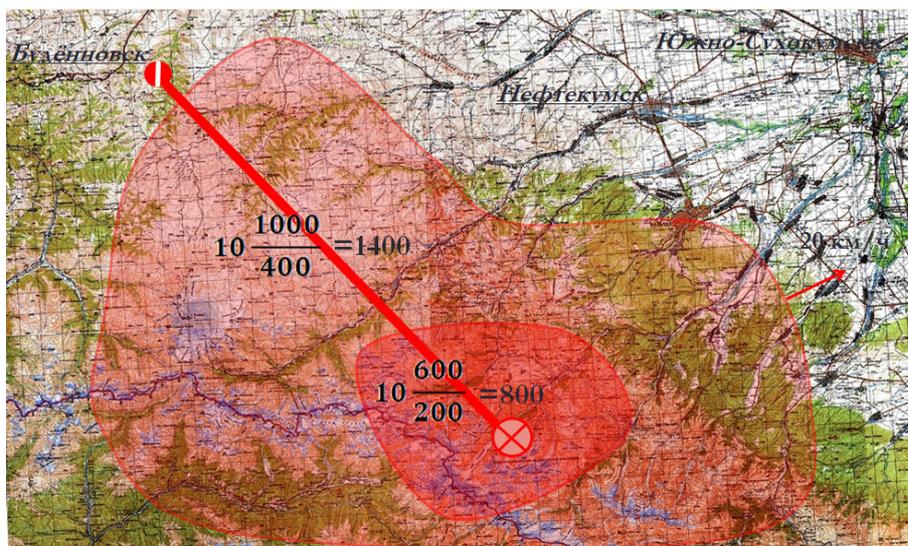


Рис.3. Топографическая карта с нанесённым комплексным показателем метеорологической обстановки для малозаметных объектов по условиям оптической маскировки ($K=0,2$), $H_{пол}=150$ м, $W=200$ км/ч.

Оценка успешности проведена методом сравнения прогностических значений $KП_{мо}$ с данными полученными от экипажей разведчиков погоды ОТА (табл. 1).

Таблица 1

Критерии успешности прогноза (r, σ, η) комплексного показателя метеорологической обстановки

Критерии успешности											
$H \leq 150 м$			$150 < H \leq 200 м$			$200 < H \leq 400 м$			$400 < H \leq 800 м$		
r	$\sigma, м$	$\eta, м$	r	$\sigma, м$	$\eta, м$	r	$\sigma, м$	$\eta, м$	r	$\sigma, м$	$\eta, м$
0,79	182	146	0,77	191	153	0,71	372	298	0,61	736	590

Значения критериев успешности (r – коэффициент корреляции, σ – средняя квадратическая ошибка, η – средняя абсолютная ошибка) показывают на возможность использования прогностических значений $KП_{мо}$ для поддержки принятия метеозависимых решений ОТА.

Таким образом, проведённые исследования позволяют предложить квалиметрическую модель для оценки метеорологических условий, которая реализуется по следующему алгоритму:

1. Определяются и рассчитываются основные факторы, влияющие на $KП_{мо}$.
2. Прогнозируются значения ВНГО и МДВ и определяются зоны однотипной погоды.
3. Рассчитываются прогностические значения $KП_{мо}$ по зонам однотипной погоды для различных условий оптической маскировки объектов (ориентиров).
4. Прогностические значения $KП_{мо}$ наносятся на электронную топографическую карту.

Рассмотренные методические аспекты повышения качества метеорологического обеспечения авиационных задач ОТА на основе прогностической модели $KП_{мо}$ и представление метеорологических условий на электронной топографической карте, позволят органам управления, руководящему и лётному составу объективно и оперативно оценивать метеорологическую обстановку с учётом физико-географических, метеорологических, психофизических и навигационных факторов и могут быть использованы в автоматизированной системе управления войсками.

QUALIMETRIC MODEL METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR DECISION SUPPORT SOLUTIONS TACTICAL AVIATION

V.V. Dorofeev, A.V. Stepanov, D.V. Bulgin, A.V. Gavrilenko

The article offers a qualitative model of the meteorological conditions on the basis of the number-based assessment of meteorological conditions on feasibility (constraints) flights adequately at all levels of government meteorological software to support the adoption of weather-sensitive decisions on the implementation of aviation tasks.

Key words: flight visibility, horizontal visibility range, a comprehensive index of the meteorological situation, the optical model

ЛИТЕРАТУРА

1. Бут Д.В., Васильев В.А., Дорофеев В.В., Степанов А.В. Научно-методический подход к формализации критерия видимости объекта в условиях оптической маскировки. // Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естественные и технические науки, 2013, т.18, С.2459– 466.
2. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере – Л. Гидрометеиздат, 1966. 323 с.
3. Дорофеев В.В., Бакланов И. О., Степанов А.,С., Жильчук И.А., Ковалёв В.И. Полетная видимость. Монография. Воронеж, Воронежский ЦНТИ, 2013.250с.
4. Жаренков Л.А., Матвеев Ю.А., Ремянников Е.П. Воздушная навигация в различных условиях полетов. М. Воениздат, 1985.175 с.
5. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил. – М. Воениздат, 1992. 488 с.
6. Рацимор М.Я. Наклонная видимость. Методическое пособие для специалистов ГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ и АМСГ. – Л. 1988, 236 с.
7. Федеральные авиационные правила по производству полетов государственной авиации Российской Федерации (ФАППП - 2004). М. Воениздат, 2004.104 с.
8. Федеральные авиационные правила штурманского обеспечения полетов государственной авиации Российской Федерации (ФАПШО – 2011). М. Воениздат, 2011.88 с.