

УДК 551.502

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Насонов А. А.¹, Дорофеев В. В.², Кузнецов И. Е.³,

Степанов А. В.⁴, Закусилов В. П.⁵

Российская Федерация Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
E-mail: ⁴step_al@mail.ru

В статье представлена методика прогнозирования видимости для обеспечения авиационно-спасательных работ над равнинной местностью с применением вертолётов под низкими облаками. Разработаны модели полётной дальности видимости и визуального обнаружения объектов, терпящих бедствие, которые учитывают влияние физико-географических и метеорологических условий, характер подстилающей поверхности, распределение видимости объектов с высотой полёта поискового вертолёта, линейные размеры и коэффициенты контрастности объектов поиска, а также высоту и скорость полёта поискового вертолёта.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, авиационно-спасательные работы, авиационные происшествия и авиационные катастрофы, объекты, терпящие бедствие, малоразмерные наземные объекты, полётная дальность видимости и визуальное обнаружение.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации показал, что подавляющее большинство авиационно-спасательных работ проводится при авиационных происшествиях и авиационных катастрофах. Положительный результат авиационно-спасательных работ зависит от того, насколько оперативно и эффективно спланирован и проведён поиск и спасание терпящих или потерпевших бедствие пассажиров и экипажей воздушных судов (далее именуются по тексту, как объект, терпящий бедствие (ОТБ)). Шансы выжить людей, получивших телесные повреждения различных степеней тяжести, по истечению первых суток поиска и спасания снижаются на 80%, а не получившие никаких телесных повреждений умирают в течение трёх суток [1].

В настоящее время практически ни одна спасательная операция не обходится без применения вертолётов, так как они в отличие от самолетов могут выполнять визуальные полеты под низкими облаками при высоте нижней границы облаков (ВНГО) менее 600 м и совершать посадку на необорудованные площадки [2,3].

Результативность визуального поиска и спасания ОТБ с применением вертолётов зависит от условий видимости объектов на земной поверхности, на которые, в свою очередь, оказывают влияние физико-географические, климатические и погодные условия [2,4-6].

Конечным этапом авиационно-спасательных работ является обнаружение ОТБ визуальным способом [4-6].

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

Условия видимости ОТБ определяются полётной дальностью видимости (ПДВ). ПДВ обеспечивает оценку соответствия погоды уровню подготовки экипажей поисковых воздушных судов, а также технологию выполнения полетов для визуального поиска и спасания [7,8].

Наиболее значимые исследования по видимости наземных типовых объектов с борта воздушного судна над равнинной и холмистой местностью при выполнении авиационно-спасательных работ визуальным способом проведены С.В. Николаевым в 929 ГЛИЦ г. Ахтубинск в 2017 году. Автором предложены математические модели, позволяющие оценивать при поиске вероятность визуального обнаружения типового наземного объекта в зависимости от горизонтальной дальности до него [9].

В данном исследовании расчёты производились по визуальному поиску с применением воздушных судов и использовались значения метеорологической (горизонтальной) дальности видимости у земли (МДВ) (определяемой на фоне неба и не учитывающей распределение горизонтальной видимости с высотой), а не действительные значения ПДВ из кабины воздушного судна (определяемой на фоне местности и учитывающей распределение горизонтальной видимости с высотой), что приводит к необъективным результатам выполнения визуального поиска [9].

Исследования по прогнозированию ПДВ под низкими облаками, необходимые для оценки соответствия погодных условий выполнению визуального поиска и спасания ОТБ – как малоразмерных наземных объектов, с применением вертолётов в различных физико-географических условиях в настоящее время отсутствуют.

Анализ существующих моделей прогнозирования видимости при выполнении авиационно-спасательных работ и поиске ОТБ визуальным способом в различных физико-географических условиях в РФ и за рубежом выявил практическое противоречие, заключающееся в отождествлении МДВ с необходимой ПДВ ОТБ.

Отождествление ПДВ с МДВ приводит к субъективному принятию метеозависимых решений руководящим составом авиационно-спасательных работ, что влечёт за собой ошибки в планировании и руководстве поисковой операцией, нерациональному и бессмысленному использованию имеющихся поисково-спасательных сил (средств) и значительному увеличению времени поиска [7,8].

Противоречия требует решение научной задачи по разработке методики прогнозирования видимости ОТБ под низкими облаками для равнинной местности, которая обеспечивает точность и достоверность метеорологической информации при выполнении полётов по поиску и спасанию визуальным способом, с применением вертолётов, с учётом высоты и скорости полёта, характера подстилающей поверхности, яркостного контраста ОТБ на фоне местности и характеристик пространственно-временной изменчивости ВНГО и МДВ [7,8].

В качестве исходных данных использовались топографические карты; аэросиноптические материалы; метеорологические наблюдения на аэродромах Европейской территории России за 2015-2021 годы; данные экипажей, выполняющих задачи авиационно-спасательных работ; результаты лётного эксперимента по визуальному обнаружению типовых наземных объектов, полученных в 929 ГЛИЦ г. Ахтубинск [9].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ авиационных происшествий и авиационных катастроф на территории РФ за 25 лет (рис. 1) показывает, что их количество с годами не уменьшается, а наоборот растёт [10, 11, 12, 13, 14].



Рис.1. Количество авиационных происшествий (катастроф), произошедших за 25 лет.

Так, с 1996 года по 2021 год произошло 1064 авиационных происшествий (катастроф), это привело к гибели 2345 человек. Высокое количество, прежде всего, связано с увеличением выполняемых полётов малой авиации.

Проведённый анализ архивной выборки за 15 лет показал, что наибольшее количество авиационно-спасательных работ осуществлялось по поиску и спасанию воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации — 88,78%, поиск и спасание людей при тушении пожаров составляет — 1,05%, а на воде — 10,65% (рис. 2) [10, 11, 12, 13, 14].



Рис.2. Причины и количество авиационно-спасательных работ.

Анализ физико-географических условий федеральных округов по типам местности показывает, что наибольшее количество авиационных катастроф происходит над равнинной и холмистой местностью — 74,9%, так как основное количество выполняемых полётов проходит над данной местностью (рис. 3) [10, 11, 12, 13, 14].

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

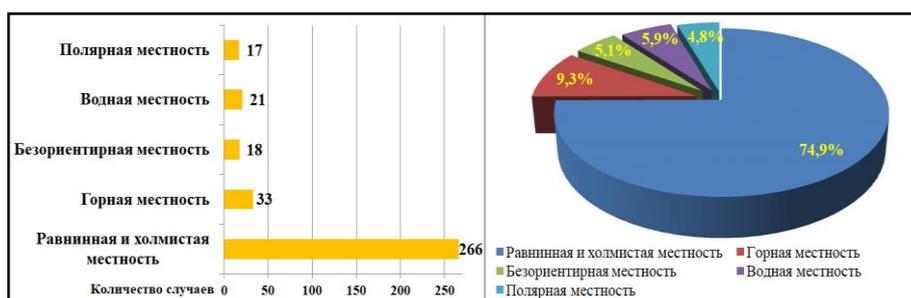


Рис. 3. Распределение авиационных катастроф по типам местности.

Проведённый анализ позволяет заключить, что непосредственное влияние погодных условий на возникновение авиационных происшествий (катастроф) выявлено в 12% случаев, а в 30% случаев погодные условия явились сопутствующим фактором. К ним относятся: ухудшение видимости — 62%, сильная болтанка — 11%, грозовые явления — 11%, обледенение — 7% и воздействие других параметров атмосферы — 9% [10, 11, 12, 13, 14].

Повышения качества прогнозирования видимости на выполнение авиационно-спасательных работ, возможно достичь дополнительным исследованием пространственно-временной изменчивости характеристик ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях для полётов вертолётов над равнинной местностью [7,8].

Оценка пространственных размеров зон сложных метеорологических ситуаций проводилась по территории Воронежской, Липецкой и Московской области, как по ширине, так и по направлению смещения (рис. 4).



Рис. 4. Пространственные размеры зон сложных метеорологических условий по направлению смещения и по ширине.

Анализ рисунка 4 показал, что зимой максимальная протяжённость зон сложных метеорологических условий по ширине составляет 2000 км, а весной максимальная по направлению смещения 1300 км, осенью и летом минимальные размеры зон по направлению смещения и по ширине составляют от 60 км до 80 км. Пространственные характеристики размеров зон соответствуют мезомасштабным атмосферным процессам масштабов α , β , γ [7, 8].

Повторяемости периодов различной непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий (до 3-х часов и до 12 часов) представлены на рис. 5.

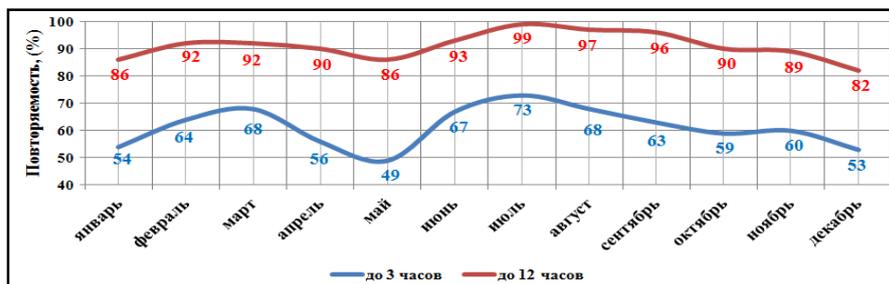


Рис.5. Повторяемость периодов различной непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий

Из рис. 5 видно, что период непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий до 3 часов с минимальной повторяемостью, наблюдаются весной в мае — 49%, с максимальной летом в июле — 73%, а до 12 часов наблюдается максимальная повторяемость, также летом в июле — 99%, минимальной зимой в декабре — 82% [7, 8].

Проанализировав данные, полученные по всем периодам непрерывной продолжительности зон сложных метеорологических условий, делаем вывод о том, что они полностью соответствуют временным характеристикам мезомасштабных атмосферных процессов α , β , γ [7, 8].

Характеристики временной изменчивости ВНГО и МДВ (среднее значение (\bar{S}_0 , \bar{H}), среднеквадратическое отклонение (σ), коэффициент вариации (c_v)) приведены на основании данных 30 минутных наблюдений и представлены в таблицах 1 и 2. Наибольшая изменчивость наблюдается с 60 по 120 минуту времени измерений и составляет 30% от средних значений ВНГО и МДВ.

Таблица 1.

Значения характеристик временной изменчивости (\bar{H} , σ , c_v) высоты нижней границы облачности в различных типовых синоптических ситуациях циклона при наличии мороси

Типовые синоптические ситуации	Характеристики изменчивости ВНГО	Время измерений						
		0 мин.	30 мин.	60 мин.	90 мин.	120 мин.	150 мин.	180 мин.
Центральная часть циклона	\bar{H} , м	117	107	105	111	116	108	112
	σ , м	31	29	22	35	31	29	30
	c_v	0,26	0,27	0,2	0,31	0,26	0,26	0,26
Тёплый сектор циклона	\bar{H} , м	145	130	128	130	129	129	130
	σ , м	34	45	44	44	44	43	45
	c_v	0,23	0,34	0,34	0,33	0,34	0,33	0,34

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Превышение рельефа местности и характер подстилающей поверхности определяют пространственную и временную изменчивость ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях [7, 8].

Из таблицы 1 видим, что в мороси во всех представленных типовых синоптических ситуациях циклона средние значения ВНГО в период всего времени явления в основном уменьшаются. Изменчивость ВНГО меняется от средней до сильной.

Таблица 2.

Значения характеристик временной изменчивости ($\overline{S_0}$, σ , c_v)
метеорологической дальности видимости в различных типовых синоптических
ситуациях циклона в дожде

Типовые синоптические ситуации	Характ. изменчивости МДВ	Время измерений						
		0 мин.	30 мин.	60 мин.	90 мин.	120 мин.	150 мин.	180 мин.
Тыл циклона	$\overline{S_0}$, м	3541	3634	3835	3741	3631	3547	3642
	σ , м	922	1091	1228	1086	982	888	839
	c_v	0,26	0,30	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23
Передняя часть циклона	$\overline{S_0}$, м	5114	4697	4224	3966	3795	3522	3220
	σ , м	2150	2020	1900	1626	1367	1268	1128
	c_v	0,42	0,43	0,45	0,41	0,36	0,36	0,35
Теплый сектор циклона	$\overline{S_0}$, м	2573	2848	3267	3088	2904	2695	2376
	σ , м	851	1000	1210	1112	1020	900	758
	c_v	0,33	0,35	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32
Центр циклона	$\overline{S_0}$, м	2445	2655	3136	2980	2773	2503	2133
	σ , м	761	879	1130	1050	920	780	621
	c_v	0,31	0,33	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29

Анализ таблицы 2 показал, что в основном происходит уменьшение средних значений МДВ с течением времени. Изменчивость МДВ сильная.

Полученные зависимости позволяют оценить влияние физико-географических условий на пространственные и временные характеристики изменчивости ВНГО и МДВ в типовых синоптических ситуациях, определить тип распределения горизонтальной видимости с высотой, условия видимости объектов на земной поверхности и метод текущего прогнозирования видимости при выполнении визуального поиска и спасания ОТБ [7, 8].

Однако, этих характеристик недостаточно для прогнозирования видимости при обеспечении авиационно-спасательных полётов вертолёт над равнинной местностью, поэтому, необходимо разработать модель ПДВ (соответствующая требованиям руководящих документов по производству полётов вертолёт под низкими облаками) и модель визуального обнаружения ОТБ из кабины поискового вертолёт.

МОДЕЛИ ПОЛЁТНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ И ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, ТЕРПЯЩИХ БЕДСТВИЕ

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ построены для выполнения визуального поиска и спасания при авиационно-спасательных работах с использованием вертолётов, так как вертолёт является основным средством осуществления поиска и спасания ОТБ.

Модель ПДВ ОТБ — это дополнительная информация о видимости, необходимая для оценки соответствия метеорологических условий уровню подготовки экипажей поисковых вертолётов при выполнении авиационно-спасательных работ. Командир воздушного судна и наблюдатели на борту осуществляют поиск и обнаружение ОТБ исходя из значений ПДВ.

Модель визуального обнаружения необходима, как дополнительная информация о видимости ОТБ в районе поиска, которая обеспечивает более полное представление об ожидаемой погоде в районе авиационного происшествия (катастрофы), позволяет учитывать изменчивость погодных условий и принимать объективные метеозависимые решения с учётом степени сложности метеорологических условий (простые (сложные) метеорологические условия), высоты и скорости полёта поискового вертолёта над равнинной местностью.

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ позволяют учитывать метеорологические и физико-географические условия местности.

Модель ПДВ ОТБ ($S_{ПДВОТБ}$) представлена формулой (1).

$$S_{ПДВОТБ} = L_{явл} \frac{H_{пол}}{20 \cdot \cos \theta \cdot \int_0^{H_{пол}} \frac{dh}{S_{mh}}} \cdot \ln \left[1 + \left(\frac{K}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{B_{\phi}}{B} \right] \quad (1)$$

где $H_{пол}$ — высота полета поискового вертолёта, м; K — контраст объекта на фоне местности (не искажённый атмосферной дымкой); B_{ϕ} — действительная яркость фона (не искажённая атмосферной дымкой); B — коэффициент состояния яркостного «насыщения» слоя помутнения; ε — пороговая чувствительность глаза изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,07 (в целях обеспечения безопасности полетов и согласно рекомендациям ИКАО $\varepsilon = 0,05$); θ — угол визирования в градусах; dh — слой распределения горизонтальной видимости с высотой, м; S_{mh} — горизонтальная видимость на высоте (зависит от ВНГО и табличных данных дальности видимости порога обнаружения) [7,8], м; $L_{явл}$ — экспериментально установленный коэффициент для различных явлений (в дымке = 1, в дожде = 0,91, в снеге = 0,84, в моросе = 0,8).

Входными параметрами модели являются: линейный размер ОТБ, яркостный контраст объекта на фоне местности, высота и скорость полёта поискового вертолёта, дальность видимости порога обнаружения [7, 8].

$$P_{BOOTB} = P_{\text{вых.рп.ОТБ}} \cdot P_{\text{нев.ОТБ}} \quad (2)$$

где $P_{\text{вых.рп.ОТБ}}$ — показатель вероятности визуального выхода вертолета в район поиска ОТБ; $P_{\text{нев.ОТБ}}$ — показатель вероятности визуального выхода вертолётa в положение обеспечивающее экипажем (наблюдателям) прямую видимость ОТБ (при работе аварийного радиомаяка и за счёт маневренных характеристик вертолётa принимается равной 1) [15].

Входными параметрами модели визуального обнаружения ОТБ являются: показатель вероятности выхода вертолётa в положение, обеспечивающее экипажу (наблюдателям) прямую видимость объекта и показатель вероятности выхода вертолета в район поиска, зависящий от ПДВ с кабины поискового вертолётa и дальность видимости порога обнаружения ОТБ.

Выходным параметром модели является вероятность визуального обнаружения ОТБ при различных яркостных контрастах, линейных размеров объектов поиска, а также скоростях и высотах полётa поисково-спасательного вертолётa.

Отличительной особенностью модели является учёт $S_{\text{ПДВ}}$ (видимости ОТБ из кабины поискового вертолётa) в сложных метеорологических условиях, а в простых $S_{\text{пор.обн}}$ (максимально допустимой дальности видимости порога обнаружения ОТБ).

При расчёте вероятности выхода ($P_{\text{вых.рп.ОТБ}}$) поискового вертолётa в район поиска ОТБ в простых метеорологических условиях полётная дальность обнаружения ОТБ рассчитывается по эмпирической формуле (3) [15]:

$$S_{\text{обн ПМН}} = 0,1 \sqrt{H \sqrt{S_{\text{пор.обн}}}} \cdot e^{-0,12 \frac{V}{100} + 0,78} \quad (3)$$

где H — где высота полётa вертолётa, м; V — скорость полётa вертолётa, км/ч; $S_{\text{пор.обн}}$ — дальность видимости порога обнаружения ОТБ, м (табличные данные).

В сложных метеорологических условиях полётная дальность обнаружения ОТБ рассчитывается по эмпирической формуле (3) [15], по значениям ПДВ ОТБ с кабины вертолётa (расчётные значения модели ПДВ).

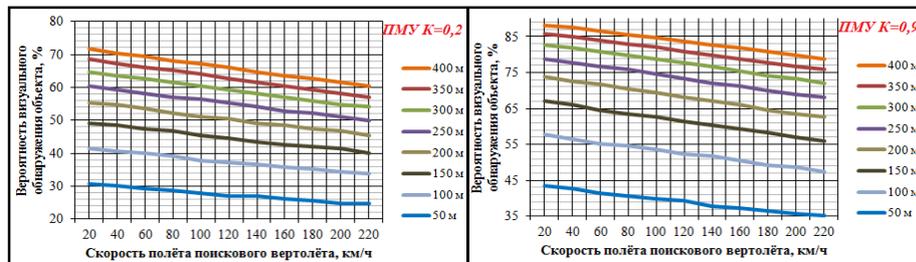


Рис. 7. Зависимости вероятности визуального обнаружения ОТБ (%) от скорости и высоты полётa поискового вертолётa в простых метеорологических условиях при коэффициенте контрастности 0,2 и 0,9, линейным размером 2 метра

В качестве примера на рис. 7 и 8 представлены зависимости расчётных значений вероятности визуального обнаружения ОТБ для различных размеров,

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

яркостных контрастов ОТБ, высоты и скорости полёта поискового вертолёта в простых и сложных метеорологических условиях.

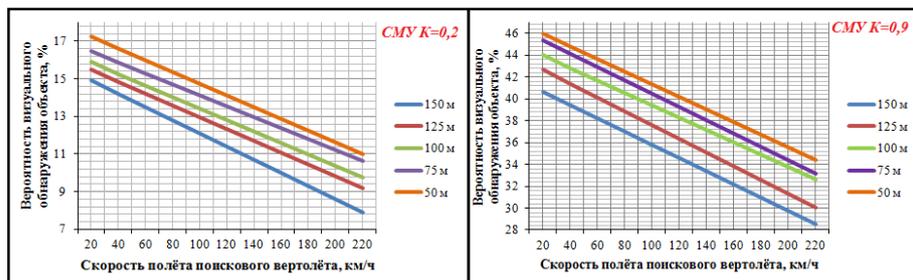


Рис. 8. Зависимости вероятности визуального обнаружения ОТБ (%) от скорости и высоты полёта поискового вертолёта в сложных метеорологических условиях при коэффициенте контрастности 0,2 и 0,9, линейным размером 2 метра

Анализ рис. 7 и 8 показывает, что с увеличением яркостного контраста, линейного размера ОТБ, уменьшением скорости полёта и в зависимости от погодных условий с изменением высоты полёта поискового вертолёта — обнаружение объекта увеличивается, тем самым предоставляется возможным достичь максимальной (гарантийной) вероятности визуального обнаружения ОТБ.

Модели расчёта ПДВ и визуального обнаружения ОТБ представлены в виде программных продуктов для ЭВМ [16, 17, 18].

Модели ПДВ и визуального обнаружения ОТБ обеспечивают более полное представление об ожидаемой погоде в районе АП и АК, позволяют учитывать изменчивость погодных условий и объективно принимать метеозависимые решения по выполнению визуального поиска с применением вертолётов над равнинной местностью в простых и сложных метеорологических условиях.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Прогнозирование видимости (ПДВ и визуального обнаружения ОТБ) под низкими облаками производится для поисково-спасательных полётов визуальным способом выполняемых на малых и предельно малых высотах, отличающейся от других специальных прогнозов погоды учётом дальности видимости порога обнаружения объекта, распределения горизонтальной видимости с высотой, рельефа и характера подстилающей поверхности местности района поиска, высоты и скорости полёта поискового вертолёта.

Прогноз видимости ОТБ является прогнозом второго рода и реализован по следующему алгоритму [7,8]:

1. По топографическим картам крупного масштаба с помощью палетки с сеткой для визуального поиска определяется квадрат поиска (место крушения воздушного судна), оцениваются физико-географические факторы (рельеф и растительный

покров), ориентиры, определяется предположительный яркостный контраст ОТБ на фоне местности.

2. На карту наносится маршрут полёта поискового вертолёта к заданному квадрату поиска и определяется относительное превышение рельефа местности.

3. По району и маршруту поискового полёта определяется тип синоптической ситуации, разрабатывается прогноз синоптического положения.

4. По классическим методикам (применяемым Гидрометцентром России) прогнозируются ВНГО и МДВ, с учётом их пространственно-временной изменчивости (таблица 1 и 2).

5. При отсутствии метеорологической информации прогноз ВНГО и МДВ производится с учётом относительного превышения рельефа по отношению к пункту вылета (известные методики, разработанные для каждого района).

6. По прогностическим значениям ВНГО определяется тип распределения горизонтальной видимости с высотой и рассчитывается приборная безопасная высота полёта поискового вертолёта над рельефом местности и наивысшей точкой препятствия по маршруту выполнения полёта.

7. По прогностическим значениям ВНГО и МДВ, с учётом явлений погоды, контраста ОТБ на фоне местности, скорости и высоты полёта поискового вертолёта рассчитываются прогностические значения ПДВ по маршруту выполнения полёта и в районе поиска (формула 1).

8. По прогностическим значениям ПДВ прогнозируется вероятность визуального обнаружения ОТБ для различных высот и скоростей полёта поискового вертолёта (формула 2).

9. В сложных метеорологических условиях значения вероятности визуального обнаружения прогнозируются с учётом прогностических значений ПДВ, а в простых с учётом значений дальности видимости порога обнаружения (формула 3).

10. Выполнение визуального поиска с применением вертолётов считается эффективным, при достижении не менее 70% вероятности визуального обнаружения ОТБ.

С учётом методических рекомендаций предоставления данных о неопределённости вероятностных прогнозов (Всемирная метеорологическая организация) разработано решающее правило для принятия метеозависимых решений при проведении авиационно-спасательных работ под низкими облаками:

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения более 70% поиск и спасание визуальным способом с применением вертолётов проводится без ограничений, при этом определяется оптимальная высота и скорость полета поискового вертолета;

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения от 50% до 70% выполнение визуального, поискового полёта вертолёта проводить с ограничениями, принимается решение на проведение авиационного или наземного поиска ОТБ с использованием дополнительных ресурсов (поисковых сил и средств);

– визуальное обнаружение ОТБ с вероятностью обнаружения менее 50% поисково-спасательные мероприятия с применением вертолётов выполнять из-за

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

неблагоприятных погодных условий не целесообразно, поиск следует осуществлять с привлечением наземных поисковых средств.

Решающее правило позволит руководящему составу спасательной операции, принимать решения, оценивать возможность выполнения визуального поиска в конкретных погодных условиях, на определённых высотах и скоростях полёта поискового вертолёта, с учётом линейного размера и яркостного контраста ОТБ. В настоящее время метеорологическая информация для поиска и спасания по маршруту и в районе поиска включает в себя только горизонтальную видимость у поверхности земли и явления её ухудшающие

Отличительной особенностью предложенной методики является возможность достичь гарантийной вероятности (не менее 70%) визуального обнаружения ОТБ путём изменения высоты и скорости полёта поискового вертолёта, что в последующем позволит принимать эффективные метеозависимые решения.

На конкретном примере представлена визуализация методики при принятии метеозависимого решения и повышение эффективности выполнения полётов при авиационно-спасательных работах (рис. 9). Поиск и спасание осуществлялся над равнинной местностью с линейными размерами объекта поиска 4 м, яркостным контрастом на фоне местности 0,9, высотой полёта 150 м и скоростью полёта поискового вертолёта 120 км/ч.

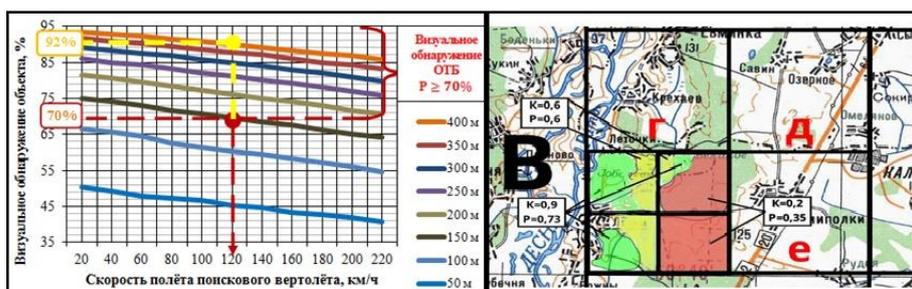


Рис. 9. Определение эффективности выполнения визуального поиска с учётом высоты и скорости полёта поискового вертолёта под низкими облаками

Методика показывает, что при скорости полёта поискового вертолёта 120 км/ч и высоте полёта 150 м эффективность выполнения визуального поиска составит 70%, а при высоте полёта 400 м — 92%.

При выполнении визуального поиска используя разработанную методику, возможно определить высоты и скорости поискового вертолёта с учётом характера подстилающей поверхности, метеорологических условий, яркостного контраста и линейного размера объекта поиска и тем самым повысить эффективность визуального обнаружения ОТБ.

В результате работы выявлено, что прогностические значения вероятности визуального обнаружения ОТБ по данным МДВ не соответствуют прогностическим значениям данных ПДВ, так как при расчётах по значениям МДВ не учитывается распределение горизонтальной видимости с высотой под низкими облаками для полётов вертолётов. Прогностические значения вероятности визуального

обнаружения, рассчитанные по МДВ, завышаются по отношению к прогностическим значениям, рассчитанным по ПДВ, в среднем на 30%. Поэтому отождествлять вероятность визуального обнаружения ОТБ по значениям МДВ недопустимо.

Достоверность прогностических значений ПДВ проведена по критериям успешности (r — коэффициент корреляции, σ — средняя квадратическая ошибка, η — средняя абсолютная ошибка) путём сравнения расчётных значений ПДВ с данными, полученными от экипажей разведчиков погоды [7, 8].

Значения критериев успешности показывают на возможность использования расчётных значений ПДВ для оценки соответствия метеорологических условий уровню подготовки экипажей, выполняющих полёты на авиационно-спасательные работы (таблица 3) [7, 8].

Таблица 3

Значения критериев успешности (R , η , σ) расчётных значений полётной дальности видимости

Критерии успешности полётной дальности видимости											
100 м < ВНГО ≤ 150 м			150 м < ВНГО ≤ 200 м			200 м < ВНГО ≤ 400 м			600 м < ВНГО ≤ 600 м		
R	η , м	σ , м	R	η , м	σ , м	R	η , м	σ , м	R	η , м	σ , м
0,79	146	182	0,77	153	191	0,71	298	372	0,7	304	380

Оценка достоверности расчётных значений визуального обнаружения ОТБ проведена путем сравнения расчётных значений разработанной модели с результатами модели «Выход ЛА» (929 ГЛИЦ г. Ахтубинск) и экспертного опроса лётного состава выполняющих полёты по задачам авиационно-спасательных работ в простых и сложных метеорологических условиях (таблица 4) [6,9].

В сложных метеорологических условиях дальность до объекта и вероятность визуального обнаружения разработанной модели оценивалась, как ПДВ малоразмерного наземного объекта из кабины поисково-спасательного вертолёта. В простых метеорологических условиях дальность до объекта и вероятность визуального обнаружения оценивалась, как дальность видимости порога обнаружения малоразмерного наземного объекта.

Оценка достоверности расчётных значений вероятности визуального обнаружения ОТБ по разработанной модели в сравнении с расчётными значениями по модели «Выход ЛА» [9] и данными экспертного опроса лётного состава показала, что разработанная модель по своим результатам не противоречит, согласуется и более близка к данным экспертного опроса. Разработанная модель эффективней модели «Выход ЛА» [9] на 5% в простых метеорологических условиях, кроме того она позволяет производить расчёты по обнаружению ОТБ в сложных метеорологических условиях. Расчётные значения, выполненные в СМУ, по своим значениям согласуются с данными экспертного опроса лётного состава.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

Таблица 4

Значения дальности (км) и вероятности (%) визуального обнаружения (ВВО)
ОТБ по различным моделям и результатам экспертного опроса в простых и
сложных метеорологических условиях

Объект поиска	Дальность до объекта (км) и ВВО (%) по расчётам модели «Выход ЛА» (г. Ахтубинск)	Дальность до объекта (км) и ВВО (%) по расчётам модели «Поиск» (г. Воронеж)	Результаты данных экспертного опроса лётного состава, дальность до объекта (км) и ВВО (%)
Простые метеорологические условия			
Один человек (группа людей)	1,6-1,8 км с вероятностью 0,65 1,0-1,4 км с вероятностью 0,8-0,9	1,6-1,8 км с вероятностью 0,70 1,0-1,4 км с вероятностью 0,87	1,6-1,8 км с вероятностью 0,69 1,0-1,4 км с вероятностью 0,88
Самолёт (вертолёт)	2-4 км с вероятностью 0,7-0,9	2-4 км с вероятностью 0,74-0,93	2-4 км с вероятностью 0,72-0,91
Сложные метеорологические условия			
Один человек (группа людей)	отсутствует	0,8 км с вероятностью 0,5 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,47 (летом)	0,8 км с вероятностью 0,49 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,48 (летом)
Самолёт (вертолёт)	отсутствует	0,8 км с вероятностью 0,6 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,51 (летом)	0,8 км с вероятностью 0,61 (зимой) 0,5 км с вероятностью 0,52 (летом)

ВЫВОДЫ

1. Анализ пространственно-временных характеристик изменчивости ВНГО и МДВ при выполнении полётов вертолётов под низкими облаками показал:

- непрерывная продолжительность зон сложных метеорологических условий не превышает 3-х часов с повторяемостью от 49% до 73%, а 12 часов от 82% до 99%;
- временная изменчивость средних значений ВНГО и МДВ не превышает 30% в течение 3-х часов.
- изменчивость ВНГО в дымке, мороси изменяется от средней до сильной, в дожде от слабой до сильной, в снеге изменчивость ВНГО абсолютно во всех типовых синоптических ситуациях наблюдается сильная;
- изменчивость МДВ во всех типовых синоптических ситуациях и явлениях погоды отмечается сильная.

2. В процессе выполнения работы и проведённого экспертного опроса лётного состава удалось получить и проверить результаты прогностических значений ПДВ и визуального обнаружения ОТБ в сложных метеорологических условиях.

3. Анализ значений вероятности визуального обнаружения ОТБ показал, что в зависимости от яркостного контраста, линейного размера, высоты и скорости полёта

поисково-спасательного вертолёта достигает от 21% до 94%, а в сложных метеорологических условиях от 1% до 65%. Модель визуального обнаружения ОТБ предоставляет возможность определить наиболее эффективные высоты и скорости полёта и принять метеозависимое решение на выполнение визуального поиска в конкретном районе.

4. Разработанная методика позволит повысить эффективность и выполнения полётов при авиационно-спасательных работах под низкими облаками.

5. Визуализация методики в программно-аппаратном комплексе позволяет оперативно принимать метеозависимые решения на проведения авиационно-спасательных работ с применением вертолётов визуальным способом над равнинной местностью под низкими облаками.

Список литературы

1. Береснев, Д.С. Информационно-аналитические модели и алгоритмы поддержки управления поисково-спасательными операциями в природной среде: автореферат диссертации на соискание учен. степ. канд. техн. наук (05.13.10) / Береснев Денис Сергеевич; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. М., 2019. – 25 с.
2. Учебник спасателя / С.К. Шойгу, М. И. Фалеев, Г. Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. 528 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95) (1995). М.: Транспорт. 204 с.
4. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 3 июня 2014 г. № 148 "Об утверждении требований к подготовке авиационного персонала органов и служб единой системы авиационно-космического поиска и спасания в Российской Федерации» [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/70788870/> (дата обращения: 14.12.2021).
5. Организация и проведение поисково-спасательных операций (работ): учеб. пособие /сост. В.А. Попов, А.В. Селезнев. Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2015- 160с.
6. Руководство по поисковому и аварийно-спасательному обеспечению полетов гражданской авиации СССР (РПАСОП ГА-91): Пр. МГА СССР №65 от 28.03.91г.-М.;1991. 205с.
7. Дорофеев, В.В. Наклонная дальность видимости в сложных метеорологических условиях / В.В.Дорофеев: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук: 25.00.30. Воронеж, ВВАИИ, 2007. 306 с.
8. Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С., Ковалев В.И. Полетная видимость. – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. 280 с.
9. Николаев С.В. Определение в испытаниях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата. Научный вестник МГТУ ГА. 2017;20(5):131–144.
10. Федеральное агентство воздушного транспорта Российской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://m.favt.gov.ru> (дата обращения: 03.06.2021).
11. Авиационные происшествия: причины, анализ, отчеты, расследования: [Электронный ресурс] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnyye-proisshestviya> (дата обращения: 03.11.2021).
12. Содружество авиационных экспертов: [Электронный ресурс] URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (дата обращения: 04.11.2021).
13. Анализ состояния безопасности полётов в гражданской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (дата обращения: 05.11.2021).
14. Межгосударственный авиационный комитет: [Электронный ресурс] URL:<https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 04.11.2021).
15. Арбузов И.В., Болховитинов О.В. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 224с.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020660805. «Расчет полетной дальности видимости при планировании полетов»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов,

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ

В.В. Дорофеев, А. В. Степанов. Заявка № 2020660011. Дата поступления 03.09.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.09.2020г.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663409. «Расчет полетной видимости с учетом линейного размера объекта (ориентира)»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов, В.В. Дорофеев, А. В. Степанов. – Заявка № 2020662725. Дата поступления 13.10.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.10.2020 г.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666495. «Расчет влияния местности на высоту нижней границы облачности и метеорологическую дальность видимости»: программа для ЭВМ / А.А. Насонов, А.В. Степанов, В. А. Сенькин. Заявка № 2020665241. Дата поступления 24.11.2020 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.12.2020 г.

VISIBILITY PREDICTION TECHNIQUE FOR AVIATION AND RESCUE WORK OVER PLAIN TERRAIN

*Nasonov A. A.¹, Dorofeev V. V.², Kuznetsov I. E.³,
Stepanov A. V.⁴, Zakusilov V. P.⁵*

^{1,2,3,4,5} Russian Federation Military Educational and Scientific Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”

E-mail: ⁴ step_al@mail.ru

An analysis of emergency situations on the territory of the Russian Federation showed that the vast majority of aviation rescue operations are carried out in case of aviation accidents and aviation accidents. A positive result of the aviation rescue work depends on how quickly and effectively the search and rescue of passengers and crews of aircraft in distress or in distress hereinafter referred to as the object in distress is planned and carried out. The chances of surviving people who have received bodily injuries of various degrees of severity after the first day of search and rescue are reduced by 80%, and those who have not received any bodily injuries die within three days.

Currently, almost no rescue operation is complete without the use of helicopters, since, unlike aircraft, they can perform visual flights under low clouds at a cloud base height of less than 600 m and land on unequipped sites.

The effectiveness of the visual search and rescue of object in distress using helicopters depends on the conditions of visibility of objects on the earth's surface, which, in turn, are influenced by physical-geographical, climatic and weather conditions.

The final stage of aviation rescue work is the visual detection of object in distress.

The visibility conditions of the object in distress are determined by the flight visibility range. The flight visibility range provides an assessment of the compliance of the weather with the level of training of crews of search aircraft, as well as the technology for performing flights for visual search and rescue.

The most significant studies of the visibility of ground-based typical objects from an aircraft over flat and hilly terrain during the performance of aviation rescue operations by the visual method were carried out by Nikolaev. The author proposes mathematical models that make it possible to estimate the probability of visual detection of a typical ground object during search, depending on the horizontal distance to it.

In this study, the calculations were based on a visual search using aircraft and used the values of the horizontal visibility range near the ground (determined against the sky and does not take into account the distribution of horizontal visibility in height), and not the actual visibility values from the cockpit of a search and rescue aircraft (determined by background of the terrain and taking into account the distribution of horizontal visibility in height), which leads to biased results of visual search.

The identification of the meteorological visibility range with the flight visibility range leads to the subjective adoption by the leadership of aviation rescue operations of meteorological decisions, which entails errors in planning and managing the search operation, irrational and senseless use of the available search and rescue forces (objects) and a significant increase in the time spent to search.

Contradictions require the solution of a scientific problem to develop a methodology for predicting the visibility of objects in distress under low clouds for flat terrain, which ensures the accuracy and reliability of meteorological information when performing search and rescue flights visually, using helicopters, taking into account the height and speed of the flight, the nature of the underlying surface, brightness contrast of the search object against the background of the terrain and the characteristics of the spatiotemporal variability of the cloud base height and the meteorological visibility range.

Keywords: emergencies, aviation accidents and aviation accidents, objects in distress, small-sized ground objects, flight visibility range and visual detection.

References

1. Beresnev, D.S. Information-analytical models and algorithms for supporting the management of search and rescue operations in the natural environment: abstract of the dissertation for the scientific competition. step. cand. tech. Sciences (05.13.10) / Beresnev Denis Sergeevich; Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia. Moscow, 2019. - 25 p. (in Russian).
2. The textbook of the rescuer / S.K. Shoigu, M. I. Faleev, G. N. Kirillov and others; under total ed. Yu. L. Vorobiev. - 2nd ed., revised. and additional. Krasnodar: "Owls. Kuban", 2002. - 528 p. (in Russian).
3. Manual on the meteorological support of civil aviation in Russia (NMO GA-95) (1995). M.: Transport. 204 p. (in Russian).
4. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 3, 2014 No. 148 "On approval of the requirements for the training of aviation personnel of bodies and services of the unified system of aerospace search and rescue in the Russian Federation" [Electronic resource] URL: <https://base.garant.ru/70788870/> (date of access: 12/14/2021). (in Russian).
5. Organization and conduct of search and rescue operations (works): textbook. allowance / comp. V.A. Popov, A.V. Seleznev. Ulyanovsk: UVAU GA (I), 2015. 160s. (in Russian).
6. Guidelines for search and rescue support for civil aviation flights of the USSR (RPASOP GA-91): Pr. MGA of the USSR No. 65 dated 03.28.91. M.; 1991. 205 s. (in Russian).
7. Dorofeev, V.V. Oblique visibility range in difficult meteorological conditions / V.V. Dorofeev: dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences: 25.00.30. Voronezh, VVAII, 2007. 306 p. (in Russian).
8. Dorofeev V.V., Nakhmanson G.S., Kovalev V.I. flight visibility. - Voronezh: Voronezh TSNTI - branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 2013. 280 p. (in Russian).
9. Nikolaev S.V. Determination in tests of the probability of detecting ground objects from the aircraft. Scientific Bulletin of MSTU GA. 2017. 20(5). 131–144. (in Russian).
10. Federal Air Transport Agency of the Russian Aviation: [Electronic resource] URL: <https://m.favt.gov.ru> (date of access: 06/03/2021). (in Russian).

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВИАЦИОННО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НАД РАВНИННОЙ МЕСТНОСТЬЮ**

11. Aviation accidents: causes, analysis, reports, investigations: [Electronic resource] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnye-proisshestiya> (date of access: 03.11.2021). (in Russian).
12. Commonwealth of Aviation Experts: [Electronic resource] URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (date of access: 04.11.2021). (in Russian).
13. Analysis of the state of flight safety in civil aviation: [Electronic resource] URL: <https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (date of access: 05.11.2021). (in Russian).
14. Interstate Aviation Committee: [Electronic resource] URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (date of access: 04.11.2021). (in Russian).
15. Arbuzov I.V., Bolkhovitinov O.V. Combat aviation systems and their effectiveness. М.: VVIA im. prof. NOT. Zhukovsky, 2008. 224p. (in Russian).
16. Certificate of state registration of the computer program No. 2020660805. "Calculation of the flight visibility range during flight planning": computer program / A.A. Nasonov, V.V. Dorofeev, A. V. Stepanov. – Application No. 2020660011. Date of receipt 09/03/2020. Registered in the Register of computer programs on 09/11/2020. (in Russian).
17. Certificate of state registration of the computer program No. 2020663409. "Calculation of flight visibility taking into account the linear size of the object (landmark)": computer program / A.A. Nasonov, V.V. Dorofeev, A. V. Stepanov. Application No. 2020662725. Date of receipt 10/13/2020. Registered in the Register of computer programs on 10/27/2020. (in Russian).
18. Certificate of state registration of the computer program No. 2020666495. "Calculation of the influence of the terrain on the height of the lower cloud cover and meteorological visibility range": computer program / A.A. Nasonov, A.V. Stepanov, V. A. Senkin. Application No. 2020665241. Date of receipt 11/24/2020. Registered in the Register of computer programs on 12/10/2020. (in Russian).

Поступила в редакцию 07.10.2023 г