

УДК [621.396.96+53.082.74]

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.30.3.017](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.017)

Модель управления посадкой воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом

В.Г. Машков, В.А. Малышев

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме: В данной статье рассмотрена проблема посадки воздушного судна вертолетного типа на неподготовленную площадку, в частности предложена модель управления посадкой на водоем со снежно-ледяным покровом. Анализ штатных средств обеспечения посадки, установленных на воздушных судах вертолетного типа, в настоящее время показал, что в арктических условиях они не способны обеспечить экипаж информацией о подстилающей поверхности (месте посадки) такие как глубина снега и толщина ледяного покрова. Моделирование процесса управления посадкой воздушного судна вертолетного типа на неподготовленную площадку на водоем со снежно-ледяным покровом с предлагаемой радиолокационной системой посадки показало, что поставленная задача может быть успешно решена. Для этого производится зондирование подстилающей поверхности (места посадки) и выдача информации экипажу о возможности производства посадки, либо отсутствия таковой, сравнив измеренные значения с заданными для конкретного типа воздушного судна. Представлена логическая информационная модель, отражающая автоматизацию процесса управления посадкой оцениванием возможности безопасной посадки, путем радиолокационного определения параметров и характеристик плоскостойких сред, глубины снежного покрова и толщины ледяного покрова. Использование модели возможно при разработке радиолокационных систем обеспечения безопасной посадки воздушного судна вертолетного типа на неподготовленную площадку со снежным или снежно-ледяным покровом в условиях недостаточной информативности закабинного пространства о подстилающей поверхности.

Ключевые слова: снежно-ледяной покров, подповерхностное зондирования, посадка вертолета, место посадки, неподготовленная площадка.

Для цитирования: Машков В.Г., Малышев В.А. Модель управления посадкой воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(3). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/MashkovMalyshev_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.017

Model helicopter-type aircraft landing control on a water body with snow-ice cover

V.G. Mashkov, V.A. Malyshev

*Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named
after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin»,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: This article deals with the problem landing a helicopter-type aircraft on an unprepared site, in particular, a model landing control on a body water with snow and ice cover is proposed. The analysis the standard means landing, installed on helicopter - type aircraft, has now shown that in Arctic conditions they are not able to provide the crew with information about the underlying surface (landing site) such as the depth snow and the thickness the ice cover. Simulation the process landing control

helicopter aircraft on an unprepared site on a body water with snow and ice cover with the proposed radar landing system showed that the task can be successfully solved. To do this, the underlying surface (landing site) is probed and information is given to the crew about the possibility landing, or lack thereof, comparing the measured values with those specified for a particular type aircraft. The paper presents a logical information model that reflects the automation the landing control process by assessing the possibility a safe landing, by radar determination the parameters and characteristics flat-layered media, snow depth and ice thickness. The use the model is possible in the development radar systems to ensure the safe landing a helicopter - type aircraft on an unprepared site with snow or snow-ice cover in conditions insufficient information about the underlying surface.

Keywords: snow and ice cover, subsurface sensing, helicopter landing, landing site, unprepared site.

For citation: Mashkov V.G., Malyshev V.A. Model for controlling the landing of a helicopter - type aircraft on a reservoir with snow and ice cover. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(3). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/MashkovMalyshev_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.017 (In Russ).

Введение

Посадка на водоем со снежно-ледяным покровом может быть вызвана необходимостью, связанной с решением как гражданских, так и военных задач таких как поиск и спасение, доставка грузов, боеприпасов, эвакуация раненных, высадка десантов и т. д.

Посадка по-вертолетному на водоем со снежно-ледяным покровом должна выполняться только при видимости наземных ориентиров или естественного горизонта с предварительным зависанием над площадкой, на высоте, свободной от снежного облака, поднимаемого струей от несущего винта. Глубина снежного покрова не должна превышать пятидесяти сантиметров, а для исключения возможности образования снежного вихря на его поверхности должен присутствовать плотный наст [1]. При этом толщина ледяного покрова должна обеспечивать исключение проваливания воздушного судна вертолетного типа (ВСВТ) под лед. Минимально допустимая толщина ледяного покрова будет зависеть от типа ВСВТ (максимальной взлетной массы, типа шасси), температуры окружающей среды, времени года, суток. Особую опасность в момент приземления представляют боковые смещения при толщине снежного покрова более десяти сантиметров. В случае отсутствия горизонтальной и вертикальной видимости взлеты и посадки по-вертолетному, висения и подлеты запрещены [2].

Обеспечение безопасной посадки ВСВТ должно исключать возможность проваливания ВСВТ под снег, лед, его опрокидывание при посадке днем и ночью, в простых (ПМУ) и сложных (СМУ) метеоусловиях (туман, дымка, дождь, снег, запыленность или задымленность атмосферы), а также в случае поднятия его несущим винтом пыли или снега с грунта [3].

В настоящее время оценка возможности посадки ВСВТ на заснеженную площадку, заключающаяся в определении глубины снежного покрова, осуществляется человеком, находящимся на посадочной площадке [4]. Это может быть бортовой техник, либо человек из числа спасателей. Направление ветра и примерная его скорость у поверхности определяется по дыму, путем выстрела из ракетницы или сбросом дымовой шашки с ВСВТ. В случае отсутствия человека на предполагаемом месте посадки, оценить возможность безопасной посадки ВСВТ весьма затруднительно.

Анализ использования штатных средств обеспечения посадки, установленных на борту ВСВТ в настоящее время показал, что в условиях недостаточной информативности (УНИ) закабинного пространства при посадке на водоем со снежно-ледяным покровом они не способны обеспечить экипаж информацией о подстилающей поверхности (месте

посадки), в частности, глубине снежного и толщине ледяного покрова, что не позволяет использовать их в интересах посадки в таких условиях [5-8].

Модель принятия решения о посадке воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом

В формализованном виде логическая информационная модель принятия решения о посадке ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом

$$M_{\text{спл}} = \langle H_{\text{изм}}, H_{\text{зад}}, F, G \rangle, \quad (1)$$

где $H_{\text{изм}}$ – счетное множество измеренных значений параметров подстилающей поверхности, $H_{\text{зад}}$ – счетное множество заданных значений подстилающей поверхности, F – конечное множество аксиом, G – конечное множество отношений между аксиомами, правила вывода;

$$H_{\text{изм}} = \langle h_{\text{см}}, h_{\text{лм}} \rangle, \quad (2)$$

где $h_{\text{см}}$ – измеренная глубина снежного покрова в каждом секторе приема, $h_{\text{лм}}$ – измеренная толщина ледяного покрова в каждом секторе приема;

$$H_{\text{зад}} = \langle h_{\text{сΔ}}, h_{\text{лΔ}} \rangle, \quad (3)$$

где $h_{\text{сΔ}}$ – заданное значение глубины снежного покрова, $h_{\text{лΔ}}$ – рассчитанное значение толщины ледяного покрова;

$$F = \langle F_1, F_2, \dots, F_n \rangle, \quad (4)$$

где F_1, F_2, \dots, F_n – аксиомы;

$$G = \langle G_1, G_2, \dots, G_k \rangle, \quad (5)$$

где G_1, G_2, \dots, G_k – отношения между аксиомами, правила вывода.

При глубине снежного покрова больше заданного значения в любом из секторов

$$F_1 \rightarrow (h_{\text{см}} \geq h_{\text{сΔ}}) \leftrightarrow \text{false}, \quad (6)$$

посадку запрещают по превышению заданного значения глубины снежного покрова, при толщине ледяного покрова меньше заданного значения

$$F_2 \rightarrow (h_{\text{лм}} \leq h_{\text{лΔ}}) \leftrightarrow \text{false}, \quad (7)$$

посадку запрещают по значению толщины ледяного покрова меньше заданного.

При глубине снежного покрова меньше заданного значения во всех секторах

$$F_3 \rightarrow (h_{\text{см}} < h_{\text{сΔ}}) \leftrightarrow \text{true}, \quad (8)$$

посадку разрешают по высоте снежного покрова, при толщине ледяного покрова больше заданного значения

$$F_4 \rightarrow (h_{\text{лм}} > h_{\text{лΔ}}) \leftrightarrow \text{true}, \quad (9)$$

посадку разрешают по значению толщины ледяного покрова больше заданного.

При глубине снежного покрова больше заданного значения в любом из секторов, либо толщине ледяного покрова меньше заданного значения в любом из секторов приема, посадку запрещают

$$G_1 \rightarrow F_1 \vee F_2 \leftrightarrow \text{false}, \quad (10)$$

т. е.

$$G_1 \rightarrow (h_{\text{см}} \geq h_{\text{сΔ}}) \vee (h_{\text{лм}} \leq h_{\text{лΔ}}) \leftrightarrow \text{false}.$$

При глубине снежного покрова меньше заданного значения во всех секторах и толщине ледяного покрова больше заданного значения во всех секторах приема, посадку разрешают

$$G_2 \rightarrow F_3 \wedge F_4 \leftrightarrow true, \quad (11)$$

т. е.

$$G_2 \rightarrow (h_{cm} < h_{c\Delta}) \wedge (h_{лм} > h_{л\Delta}) \leftrightarrow true.$$

Модель принятия решения о посадке реализует способ оценки возможности посадки ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом.

Способ оценки возможности посадки ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом

Способ относится к области авиации, в частности, к системам обеспечения безопасности посадки ВСВТ и может быть использован при разработке систем обеспечения безопасной посадки ВСВТ на водоем, со снежно-ледяным покровом в УНИ закабинного пространства о подстилающей поверхности, а также возможно использование с целью прогнозирования весеннего паводка, схода лавин, в поисково-спасательных операциях.

Техническим результатом применения способа является повышение уровня безопасности посадки ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом, за счет более точного измерения глубины снежного покрова и дополнительного измерения толщины ледяного покрова.

Сущность способа состоит в том, что облучают место посадки сигналом с линейно-частотной модуляцией, принимают отраженный сигнал, выделяют частоту биения, с использованием которой определяют глубину снежного покрова, если необходимо осуществить посадку на водоем, покрытый снегом, то дополнительно измеряют толщину ледяного покрова, рассчитывают с учетом типа ВСВТ, времени года, времени суток, температуры окружающей среды пороговое значение толщины ледяного покрова, сравнивают измеренное значение толщины ледяного покрова с пороговым значением и принимают решение о возможности посадки ВСВТ при одновременном выполнении условий (8) и (9), а именно (11).

На Рисунке 1 представлено положение ВСВТ и обозначено: $h_{\text{ВСВТ}}$ – высота ВСВТ; h_c – глубина снежного покрова; $h_{л}$ – толщина ледяного покрова.

На Рисунке 2 представлена схема способа оценки возможности посадки ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом, где обозначено:

- 1 – передающее устройство;
- 2 – приемное устройство;
- 3 – блок определения глубины снежного и толщины ледяного покрова;
- 4 – схема сравнения глубины снежного покрова h_c с заданным значением глубины снежного покрова $h_{c\Delta}$ и толщины ледяного покрова $h_{л}$ с пороговым значением толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$;
- 5 – решающее устройство;
- 6 – база данных;
- 7 – блок определения порогового значения толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$.

Способ оценки возможности посадки ВСВТ на водоем со снежно-ледяным покровом может быть реализован, например, с помощью устройства, размещаемого в нижней части фюзеляжа ВСВТ, состоит в том, что перед посадкой на водоем со снежно-ледяным покровом осуществляют зондирование снежно-ледяного покрова места посадки линейно-частотным модулированным (ЛЧМ) сигналом, сформированным в передающем устройстве 1 с частотой

$$f_{\text{прд}}(t) = f_n + vt_{\text{лчм}}, \quad \forall 0 < t_{\text{лчм}} < T_{\text{лчм}}, \quad (12)$$

где f_n – начальная частота, v – скорость изменения частоты (крутизна ЛЧМ), $t_{\text{лчм}}$ – время в течение отдельного периода модуляции ЛЧМ-сигнала (быстрое время), $t = \xi T_{\text{лчм}} + t_{\text{лчм}}$, t – время облучения цели, $T_{\text{лчм}}$ – период модуляции (ЛЧМ сигнала), $\xi T_{\text{лчм}}$ – медленное время, ξ – порядковый номер зондирования и прием эхо-сигналов приемным устройством 2 с частотой

$$f_{\text{прм}}(t_{\text{лчм}}) = f_n + v(t_{\text{лчм}} - \tau_3), \quad \forall \tau_3 < t_{\text{лчм}} < T_{\text{лчм}}, \quad (13)$$

собранных по классической схеме.

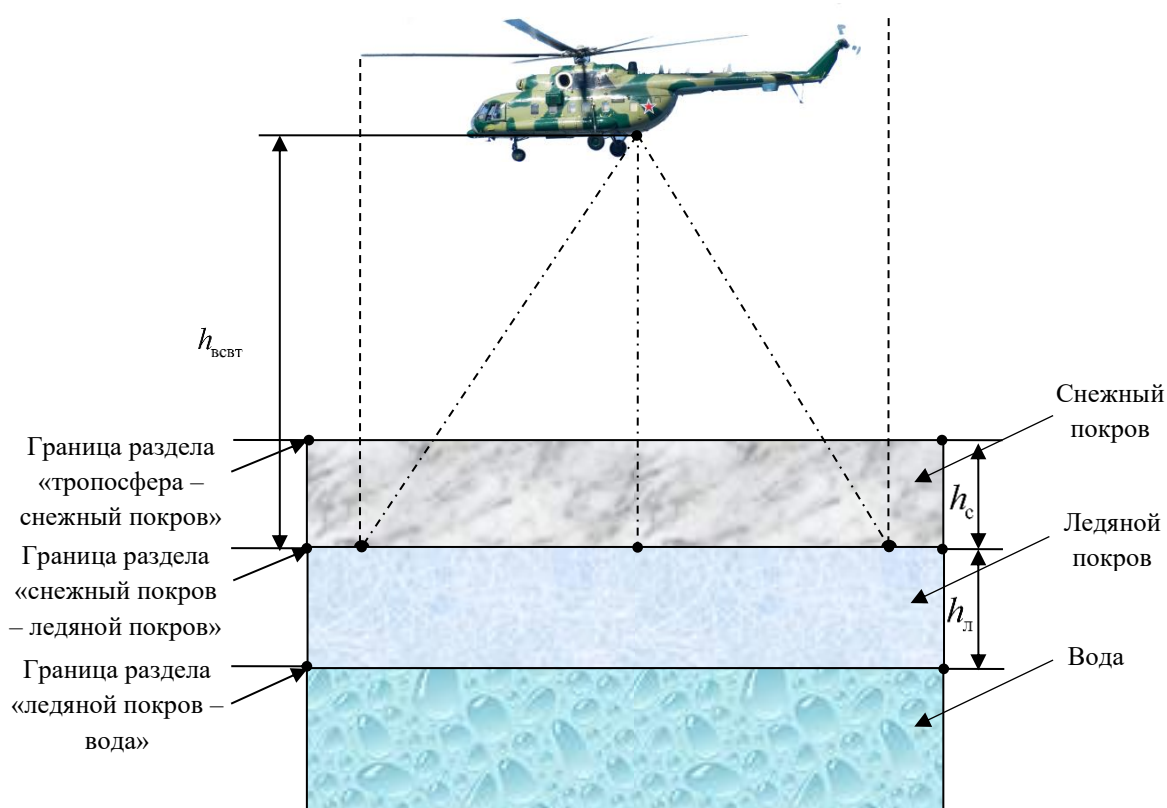


Рисунок 1 – Положение ВСВТ над водоемом со снежно-ледяным покровом
 Figure 1 – Position of АНТ over a reservoir with snow-ice cover

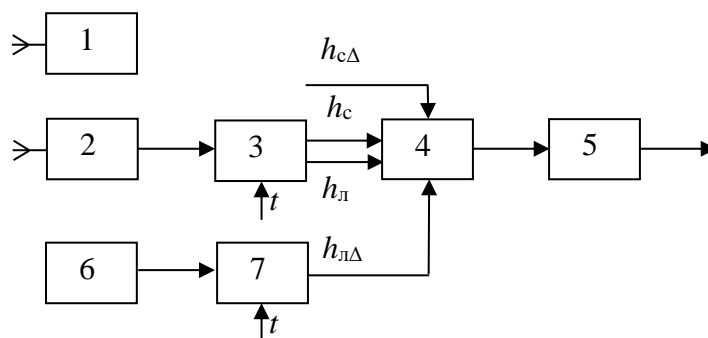


Рисунок 2 – Схема способа оценки возможности посадки воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом
 Figure 2 – Diagram of a method for evaluating the possibility landing a helicopter - type aircraft on a reservoir with snow-ice cover

Принятый эхо-сигнал от элементов снежно-ледяного покрова на расстоянии R , имеет временную задержку τ_3 , определяемую выражением

$$\tau_3 = \frac{2R}{V_{cp}}, \quad (14)$$

где V_{cp} – скорость распространения электромагнитной волны в среде [9]. Частотная составляющая биения f_6 непосредственно связана с задержкой эхо-сигнала

$$\begin{aligned} f_6(t_{лчм}) &= f_{прд}(t_{лчм}) - f_{прм}(t_{лчм}) = \\ &= \nu\tau_3(t_{лчм}) = \frac{B}{T_{лчм}} \cdot \frac{2R(t_{лчм})}{V_{cp}} = \frac{2R(t_{лчм})B}{V_{cp}T_{лчм}}, \end{aligned} \quad (15)$$

где B – ширина полосы ЛЧМ сигнала.

Блок определения глубины снежного и толщины ледяного покрова 3 осуществляет определение глубины снежного покрова h_c и толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$ возникающей разностью расстояний, которые проходят зондирующие сигналы по формуле

$$R = \frac{f_6 V_{cp} T_{лчм}}{2B}, \quad (16)$$

где V_{cp} – скорость электромагнитных волн в среде (в тропосфере $V_{тр} = 300$ м/мкс, в сухом снеге $V_{cc} = 227...279$ м/мкс, во льде $V_{л} = 170...179$ м/мкс, определяемая температурой окружающей среды T_r). Скорость распространения электромагнитной волны в снежно-ледяном покрове весьма заметно изменяется в зависимости от плотности, влажности, ориентации и формы включений льда и воздуха в снеге [9-14].

Полученные значения глубины снежного покрова h_c в блоке 4 сравнивается с заданным значением глубины снежного покрова $h_{c\Delta}$. Решающее устройство 5 (или) принимает решение о превышении заданного порогового значения. Полученное значение толщины ледяного покрова $h_{л}$ в блоке 4 сравнивается с рассчитанным пороговым значением толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$. Решающее устройство 5 (или) принимает решение о принижении заданного порогового значения.

База данных 6 содержит информацию о типе ВСВТ: максимальной взлетной массе, типе шасси.

Блок определения порогового значения толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$ 7 может быть собран, например, на мультиплексоре осуществляющий расчет порогового значения толщины ледяного покрова $h_{л\Delta}$ согласно методике в зависимости от максимальной взлетной массы ВСВТ (от 100 кг БЛА до 56 000 кг Ми-26) по формуле для колесных нагрузок (колесное шасси)

$$h_{л\Delta} = 11\sqrt{m_{max}}, \quad (17)$$

где m_{max} – разрешенная максимальная масса в тоннах [4], для гусеничных нагрузок (лыжное шасси)

$$h_{л\Delta} = 10\sqrt{m_{\max}}, \quad (18)$$

температуры окружающей среды ($-50...0$ °С, при температурах выше 0 °С 2...3-суточная оттепель снижает прочность льда на 15...25 %, 3...4-суточная на 30 %, 8...11-суточная в 2...3 раза), времени года (весенний лед слабее осеннего в 1,5...2,5 раза).

Решающее устройство 5 (или) принимает решение о возможности посадки при одновременном выполнении условий (11): $h_c < h_{c\Delta}$ (8), $h_l > h_{л\Delta}$ (9), с выдачей рекомендации летному составу на многофункциональном индикаторе и в головных телефонах. Выход с блока 5 является выходом устройства.

Заключение

Таким образом, модель принятия решения о посадке воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом которая реализует способ оценки возможности посадки воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом в условиях недостаточной информативности закабинного пространства обеспечивает принятие решения о возможности выполнения безопасной его посадки. Определение глубины снежного и толщины ледяного покрова, осуществляется за счет приема эхо-сигналов непосредственно из зоны посадки воздушного судна вертолетного типа. Информация о которых в качестве рекомендаций экипажу отображается на многофункциональном индикаторе, что позволяет ему принимать решение на выполнение посадки воздушного судна вертолетного типа на водоем со снежно-ледяным покровом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности взлетов и посадок на пыльных, песчаных или заснеженных площадках. Доступно по: <http://www.svvaul.ru/component/k2/600-osobennosti-vzletov-i-posadok-na-pylnykh-peschanykh-ili-zasnezhennykh-ploshchadkakh> (дата обращения: 07.12.2017).
2. Сажаем вертолет вслепую: обзор технологий синтетического зрения. Доступно по: <https://geektimes.ru/post/280278/> (дата обращения: 07.12.2017).
3. Приказ Минтранса РФ от 31 июля 2009 г. № 128 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации». Доступно по: <https://base.garant.ru/196235/> (дата обращения: 27.08.2020).
4. Отраслевые дорожные нормы ОДН 218.010-98. Автомобильные дороги общего пользования. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200029712> (дата обращения: 27.08.2020).
5. Малышев В.А., Машков В.Г. Малогабаритная радиолокационная система безопасной посадки вертолета. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;1(20):185-198. Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/01/MalishevMoshkov_1_1_18.pdf (дата обращения: 27.08.2020).
6. Mashkov V.G., Malyshev V.A. About safety during landing aircraft of the helicopter type on unprepared ground. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2019;12(6):724–732. Available at: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/125567> (дата обращения: 27.08.2020).
7. Malyshev V.A., Mashkov V.G. Compact radar system safe helicopter landing *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2019;12(7):792–801. Available at: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/126974> (дата обращения: 27.08.2020).

8. Машков В.Г., Малышев В.А. Модель управления посадкой воздушного судна вертолетного типа на неподготовленную заснеженную площадку. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;4(27):1–10. Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/MashkovMalishev_4_19_1.pdf (дата обращения: 27.08.2020).
9. Малышев В.А., Машков В.Г. Скорость распространения электромагнитной волны в снежно-ледяной подстилающей поверхности. *Радиотехника*. 2020;3(5):40–54.
10. Котляков В.М., Мачерет Ю.Я., Сосновский А.В., Глазовский А.Ф. Скорость распространения радиоволн в сухом и влажном снежном покрове. *Лёд и снег*. 2017;1:45-56. Доступно по: <https://ice-snow.igras.ru/jour/article/viewFile/358/202> (дата обращения: 27.08.2020).
11. Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я. Вода в ледниках. Методы и результаты геофизических и дистанционных исследований. Доступно по: http://www.igras.ru/sites/default/files/Вода_в_ледниках_Глазовский_Мачерет.pdf (дата обращения: 27.08.2020).
12. Мосин О.В. Диэлектрические свойства воды и льда. Доступно по: http://www.o8ode.ru/article/krie/Dielectric_properties_of_water_and_ice (дата обращения: 13.06.2018).
13. Мачерет Ю.Я. Оценка содержания воды в ледниках по гиперболическим отражениям. *Материалы гляциологических исследований*. 2000;89:3-10. Доступно по: <http://www.webgeo.ru/books/MGI/89.pdf> (дата обращения: 13.06.2018).
14. Robin G. de Q. Velocity of radio waves in ice by means of interferometric technique. *Journ. of Glaciology*. 1975;15(73):151-159. Доступно по: https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/1EA7027D7D939767B326340CD543A781/S0022143000034341a.pdf/velocity_of_radio_waves_in_ice_by_means_of_a_borehole_interferometric_technique.pdf (дата обращения: 13.06.2018).

REFERENCES

1. Osobennosti vzletov i posadok na pyl'nykh, peschanykh ili zasnezhennykh ploshchadkakh. Available at: <http://www.svvaul.ru/component/k2/600-osobennosti-vzletov-i-posadok-na-pyl'nykh-peschanykh-ili-zasnezhennykh-ploshchadkakh> (accessed: 07.12.2017).
2. Sazhaem vertolet vslepuyu: obzor tekhnologii sinteticheskogo zreniya. Available at: <https://geektimes.ru/post/280278/> (data obrashcheniya:07.12.2017).
3. Prikaz Mintransa RF ot 31 iyulya 2009 g. № 128 «Ob utverzhdenii Federal'nykh aviatsionnykh pravil «Podgotovka i vypolnenie poletov v grazhdanskoj aviatsii Rossiiskoi Federatsii». Available at: <https://base.garant.ru/196235/> (accessed: 27.08.2020).
4. Otrasleye dorozhnye normy ODN 218.010-98. Avtomobil'nye dorogi obshchego pol'zovaniya. Instruktsiya po proektirovaniyu, stroitel'stvu i ekspluatatsii ledovykh pereprav. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200029712> (accessed: 27.08.2020).
5. Malyshev V.A., Mashkov V.G. Malogabaritnaya radiolokatsionnaya sistema bezopasnoi posadki vertoleta. Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2018;1(20):185-198. Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2018/01/MalishevMoshkov_1_1_18.pdf (accessed: 27.08.2020).
6. Mashkov V.G., Malyshev V.A. About safety during landing aircraft of the helicopter type on unprepared ground. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2019;12(6):724–732. Available at: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/125567> (accessed: 27.08.2020).

7. Malyshev V.A., Mashkov V.G. Compact radar system safe helicopter landing Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2019;12(7):792–801. Available at: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/126974> (accessed: 27.08.2020).
8. Mashkov V.G., Malyshev V.A. Model' upravleniya posadkoi vozdušnogo sudna vertoletnogo tipa na nepodgotovlennuyu zasnezhennuyu ploshchadku. Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2019;4(27):1–10. Available at: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/MashkovMalishev_4_19_1.pdf (accessed: 27.08.2020).
9. Malyshev V.A., Mashkov V.G. Skorost' rasprostraneniya elektromagnitnoi volny v snezhno-ledyanoi podstilayushchei poverkhnosti. Radiotekhnika. 2020;3(5):40–54.
10. Kotlyakov V.M., Macheret Yu.Ya., Sosnovskii A.V., Glazovskii A.F. Skorost' rasprostraneniya radiovoln v sukhom i vlazhnom snezhnom pokrove. Led i sneg. 2017;1:45–56. Available at: <https://ice-snow.igras.ru/jour/article/viewFile/358/202> (accessed: 27.08.2020).
11. Glazovskii A.F., Macheret Y.Y. Voda v lednikakh. Metody i rezul'taty geofizicheskikh i distantsionnykh issledovaniy. Available at: http://www.igras.ru/sites/default/files/Voda_v_lednikakh_Glazovskii_Macheret.pdf (accessed: 27.08.2020).
12. Mosin O.V. Dielektricheskie svoystva vody i l'da. Available at: http://www.o8ode.ru/article/krie/Dielectric_properties_of_water_and_ice (accessed: 13.06.2018).
13. Macheret Y.Y. Otsenka sodержaniya vody v lednikakh po giperbolicheskim otrazheniyam. Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy. 2000;89:3-10. Available at: <http://www.webgeo.ru/books/MGI/89.pdf> (accessed: 13.06.2018).
14. Robin G. de Q. Velocity of radio waves in ice by means of interferometric technique. Journ. of Glaciology. 1975;15(73):151-159. Available at: https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/1EA7027D7D939767B326340CD543A781/S0022143000034341a.pdf/velocity_of_radio_waves_in_ice_by_means_of_a_borehole_interferometric_technique.pdf (accessed: 13.06.2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Малышев Владимир Александрович, профессор кафедры «Общевенных дисциплин», доктор технических наук, профессор, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: yamalyshev@list.ru

Vladimir A. Malyshev, professor of the department «Common military discipline», doctor of engineering, professor, Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh , Russian Federation.

Машков Виктор Георгиевич, докторант 112 кафедры, кандидат технических наук, доцент, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: mygblaze@mail.ru

Victor G. Mashkov, doctoral student of the 112th department, candidate of technical sciences, associate professor, Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh , Russian Federation.