

УДК 533.657

ЭКСПЛУАТАЦИЯ САМОЛЕТОВ-АМФИБИЙ НА ЗАСНЕЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А.Н. ВАРЮХИН, В.В. ВЕСЕЛОВ, С.В. ДИКИЙ, М.А. ОВДИЕНКО

Статья представлена доктором технических наук Масловым Л.А.

Работа посвящена анализу возможности эксплуатации гидросамолетов и самолетов-амфибий на поверхностях, покрытых глубоким снегом. Представлен обзор известных случаев такой эксплуатации. На основании существующих данных по сопротивлению и перегрузкам, действующим на корпуса глиссирующих аэросаней, выполнен анализ возможных нагрузок, действующих на днище самолета-амфибии, близкого по характеристикам к Бе-200, при движении его по снегу. Оценки показали возможность осуществления взлета такого самолета при движении днищем по снегу. Вертикальные перегрузки и посадочный удар при условии толщины снежного покрова более 1 м не будут превышать предельно допустимые.

Ключевые слова: самолет-амфибия, гидросамолет, взлет, посадка, снежный покров, эксплуатация.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация гидросамолетов на большей части РФ при взлете и посадке на реки и озера ограничена летним периодом, когда поверхность воды не покрыта льдом и отсутствуют плавающие льдины. В этой связи для расширения области применения гидросамолетов актуальной является задача обеспечения взлета и посадки на ледовую и заснеженную поверхность.

По сравнению с сухопутными самолетами, гидросамолеты имеют усиленную нижнюю часть фюзеляжа, специально спроектированную, чтобы выдерживать высокие нагрузки и давления при взлете и посадке на воду. Обычно закладывается максимальная избыточная перегрузка при взлете и посадке на воду на уровне $n_y = 3,5$. Поэтому есть все основания полагать, что правильно спроектированный гидросамолет сможет безопасно приземлиться на снежную поверхность и совершить взлет. Основным вопросом является величина максимальных перегрузок и сопротивление движению по снежной поверхности.

В истории были примеры эксплуатации гидросамолетов на заснеженных поверхностях, например, самолеты-амфибии ДАР (Дальний арктический разведчик) Л.Р. Бартини и Grumman HU-16 Albatross.

ДАР был спроектирован в 1935 году, он был способен садиться и взлетать с заснеженной и ледовой поверхности. Причем, если ДАР осуществлял посадку на воду, то мог выруливать на лед для взлета.

Совершению подобных маневров способствовали малая взлетная скорость (около 80 км/ч), малая нагрузка на крыло (72 кг/кв.м), плоский участок днища в районе редана, амортизирующие полозья по краям редана, амортизированные щитки-лыжи; "жабры" с поплавками, имеющими симметричную "колею".

Самолет-амфибия Grumman HU-16 Albatross начал выполнять полеты в 1947 году, в 1953 году был модернизирован: добавлены специальные лыжи, позволяющие производить посадку на снег, лед, мягкий грунт. Вес лыж составлял всего 305 кг. Основные убирающиеся лыжи были установлены под килем лодки и имели специальную амортизирующую стойку, поглощающую толчок при посадке на снег. Также самолет был оборудован дополнительными лыжами, установленными на подкрыльевых поплавках. Эти лыжи были оборудованы масляными амортизаторами и могли прижиматься к поплавку (угол разворота стойки составлял 85°). Также на днище самолета была установлена антиобледенительная система.

На рис. 1 представлена фотография самолета, на котором установлены лыжи на подкрыльевых поплавках и амортизированная лыжа в районе редана.

Grumman HU-16 Albatross имеет следующие характеристики: взлетная скорость 119 км/ч; максимальная взлетная масса 17 т; ширина корпуса в районе редана 2400 мм; длина носовой части лодки 8300 мм; гидродинамическая длина лодки 15200 мм; угол поперечной килеватости в районе редана 23°; площадь крыла 96,2 м². При таких характеристиках Albatros имеет удельную нагрузку на редан $C_{\Delta} = \frac{G}{\rho g B^3} = 1,22$, где G – вес самолета, B – ширина фюзеляжа по скуле в районе редана, давление корпуса на снег $q = G/S = 8900$ Па.



Рис.1. Grumman HU-16 Albatross, оборудованный амортизированными лыжами на днище корпуса и на подкрыльевых поплавках

Таким образом, в истории существуют примеры успешной эксплуатации самолетов-амфибий и гидросамолетов на заснеженных и покрытых льдом поверхностях. Но при этом для снижения сопротивления и снижения перегрузок необходимо применение дополнительных технических решений в виде амортизированных лыж и полозьев.

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭРОСАНЕЙ-АМФИБИЙ

Определенную помощь в исследовании возможности совершения посадки конкретного гидросамолета может дать опыт строительства и эксплуатации аэросаней-амфибий [1].

Аэросани имеют вид лодки с кабиной, имеющей глассирующие обводы и воздушным толкающим винтом. В отличие от гидросамолетов лодка аэросаней имеет малое удлинение $L/B \sim 2,5$, что обеспечивает малую скорость начала глассирования и более жесткий корпус. Нижняя часть корпуса сделана плоской в виде лыжи для обеспечения низкого давления на подстилающую поверхность.

Для снижения сопротивления при движении по льду и улучшения устойчивости вдоль донной части корпуса могут быть установлены коньки. На некоторых аэросанях кабина и силовая установка установлены на амортизаторах относительно глассирующего корпуса-лыжи. Это позволяет существенно снизить перегрузки, действующие на экипаж и оборудование. В ФГУП "ЦАГИ" выполнялись испытания аэросаней, оборудованных амортизированной подвеской. При движении по снежной поверхности с застругами высотой 300 мм – 400 мм, со скоростью 50 км/ч – 60 км/ч максимальные перегрузки в носовой части корпуса-лыжи составили $n_y = 5,6$, в центральной части 4,8, в кормовой части 3,1. При этом в кабине перегрузки составили не выше $n_y = 1,14$. При движении аналогичных аэросаней без амортизированной подвески пере-

грузки достигают $n_y = 2,5$. Таким образом, за счет эффективной работы амортизаторов возможно почти в 2 ÷ 2,5 раза снизить вертикальные перегрузки.

В монографии [1] собран обширный материал и даны рекомендации по проектированию, выбору основных параметров глссирующих снегоходов-амфибий. Приведены некоторые обобщающие данные по характеристикам снежного покрова и зависимостям коэффициента сопротивления движущихся по нему объектов.

На основе многочисленных исследований в [1] сделан вывод, что движение лыжи по снегу эквивалентно глссированию по воде. Но в отличие от воды снег представляет собой неньютоновскую сплошную среду. Его поведение лучше всего описывается бингамовской жидкостью. Аэросани выходят на глссирование на скоростях уже более 1 м/с. При этом сопротивление трения составляет 20 % ÷ 90 % от общего сопротивления, увеличиваясь при увеличении скорости. С уменьшением температуры сила сопротивления увеличивается. Поверхность корпуса, облицованная фторопластом или полиэтиленом низкого давления, имеет существенно более низкое сопротивление, чем металлическая. Кроме того, было показано, что при увеличении плотности снега величина обратного качества уменьшается при любых облицовывающих материалах.

Практический интерес представляет зависимость величины обратного гидродинамического качества ϵ от угла атаки, центровки, удлинения корпуса и числа Эйлера $Eu = \frac{2G}{B^2 \rho g V^2}$.

Эти зависимости для корпуса, изготовленного из дюралю, при температуре $-5^\circ\text{C} \div -10^\circ\text{C}$ представлены на рис. 2 – 4.

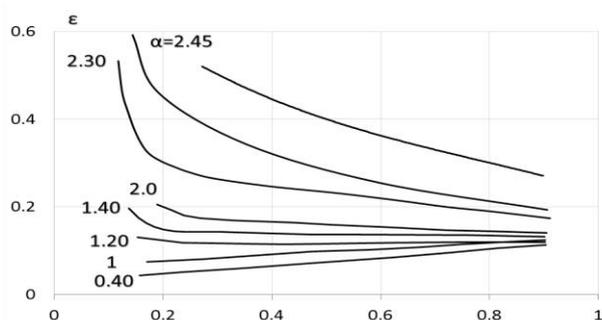


Рис. 2. Зависимость величины ϵ от числа Eu при разных углах атаки

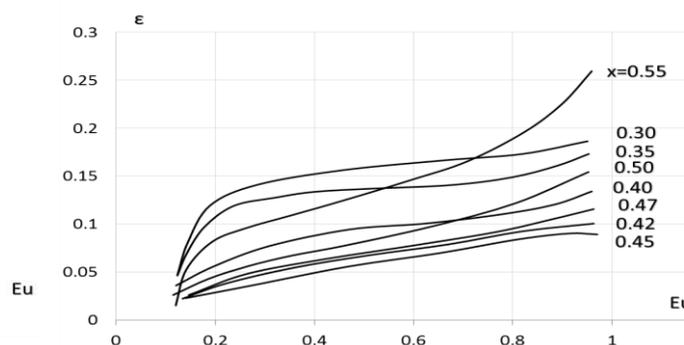


Рис. 3. Зависимость величины ϵ от числа Eu при различных центровках ($x = x_g/B$ – относительная центровка)

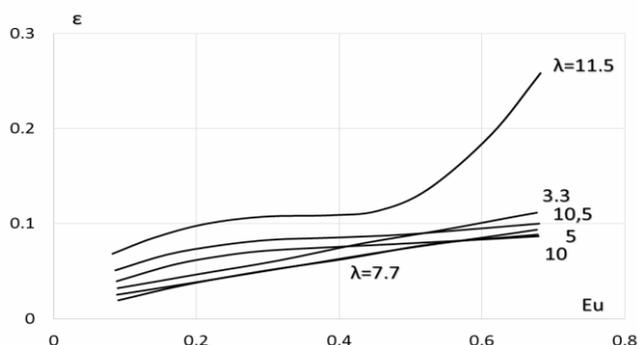


Рис. 4. Зависимость величины ϵ от числа Eu при удлинении корпуса $\lambda = L/B$

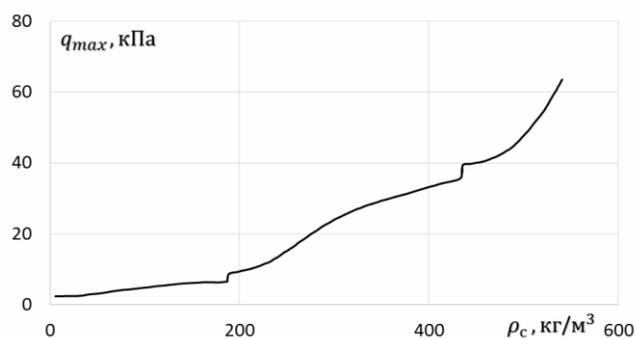


Рис. 5. Зависимость допустимой удельной нагрузки на опорную поверхность от плотности снега

Из графиков следует, что оптимальным, с точки зрения получения минимального ϵ в диапазоне значений $Eu = 0,1 \div 0,7$, следует считать угол атаки $1,3^\circ \div 1,6^\circ$, относительную цен-

тровку $x = 0,45$ и удлинение опорной поверхности $\lambda = 5 \div 7$. В то же время характер кривых показывает, что при более высоких значениях числа Eu выгоднее иметь удлинение $\lambda = 8 \div 10$. При оптимальных углах атаки при уменьшении числа Eu сопротивление также снижается.

Для обеспечения хорошей проходимости опорной поверхности по снегу рекомендуется, чтобы величина удельной нагрузки на снег не превышала в среднем $q = G/S = 6000$ Па, для авиационных лыжных шасси рекомендуется давление 9000 Па \div 20000 Па [2]. На рис. 5 показана зависимость допустимой удельной нагрузки от плотности снега.

ОЦЕНКА НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОРПУС САМОЛЕТА-АМФИБИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СНЕГУ

Рассмотрим самолет-амфибию с близкими к Бе-200 характеристиками: взлетная масса 37 тонн, взлетная скорость $V_0 = 191$ км/ч, ширина днища в районе первого редана $B = 2160$ мм, суммарная тяга двигателей 15000 кгс. Примем эффективную длину днища фюзеляжа, где изменение угла килеватости не выше 4° , равным $L = 9000$ мм. Движение по снегу происходит при достаточно малых углах дифферента, порядка $1^\circ \div 2^\circ$, поэтому не будем учитывать межреданную часть и 2-й редан.

При таких исходных данных в случае движения на полной ширине давление на снег составит $q = 20000$ Па, что существенно выше, чем у Grumman Albatross (8900 Па). Это давление соответствует минимальной плотности снега 320 кг/м³ и является максимально допустимым для авиационных лыж [2]. Удлинение корпуса для рассматриваемого случая составит $\lambda = L/B = 8$, что соответствует оптимальному значению в соответствии с графиками на рис. 4. Повышенная удельная нагрузка корпуса на снег приведет к увеличению сопротивления движению, однако при этом будут ниже вертикальные перегрузки при движении по неровностям [3, 4].

Центровка самолета находится на расстоянии 500 мм от редана, что соответствует величине $x = x_g/B = 0,23$. Это значение в два раза меньше рекомендуемого 0,45. В таком случае следует предположить увеличенные углы дифферента при движении по снегу.

Следует отметить, что представленных на рис. 2 – 4 данных не достаточно для полноценного определения сопротивления самолета, т.к. они приводятся для оптимальной центровки, удлинения или угла атаки, и при нулевых углах поперечной килеватости днища. В то же время с их помощью возможно оценить сопротивление, испытываемое самолетом при движении фюзеляжем по снегу для осуществления взлета.

Для пересчета данных, представленных на рис. 2 – 4, на килеватое днище воспользуемся данными о том, что при $Eu = 0,06$ угол килеватости 25° снижает гидродинамическое качество примерно на 30 % по сравнению с плоским днищем [3].

При скорости движения 25 м/с, соответствующей "горбу сопротивления" при движении по воде, число Эйлера составит $Eu = \frac{2G}{\rho g B^2 V^2} = 0,03$, при скорости 10 м/с – $Eu = 0,16$, при

5 м/с – $Eu = 0,64$. Таким образом, при скоростях движения выше 10 м/с при углах атаки менее 1° обратное гидродинамическое качество $\varepsilon < 0,1$. Т.е. сила сопротивления при движении по снегу на этих скоростях с учетом поправки на угол килеватости будет менее 4800 кгс. Аэродинамическое качество самолета типа Бе-200 на взлетно-посадочных режимах составляет примерно $K = 10$. Таким образом, при скорости выше 10 м/с суммарное сопротивление будет менее 9000 кгс. Т.е. при суммарной тяге двигателей выше 15000 кгс самолет будет способен набрать скорость для осуществления взлета.

При скоростях менее 10 м/с обратное гидродинамическое качество составит порядка $\varepsilon = 0,2$, с учетом поправки на ненулевой угол килеватости сопротивление составит порядка 10000 кгс. Таким образом, и в этом случае тяги двигателей будет достаточно для преодоления силы сопротивления.

Оценим перегрузки, действующие на корпус самолета-амфибии. Обычно на снежной поверхности имеются заструги высотой до 400 мм, расположенные в среднем на расстоянии 60 м ÷ 70 м. При движении аэросаней массой 2500 кг и шириной корпуса 2000 мм максимальные перегрузки лодки составляют до 2,5 единиц. Коэффициент удельной нагрузки на днище у данных аэросаней составляет $C_{\Delta} = \frac{G}{\rho g B^3} = 0,31$, что более, чем в 10 раз ниже, чем удельная

нагрузка на днище рассматриваемого самолета-амфибии $C_{\Delta} = 3,9$. У самолета Grumman-Albatros $C_{\Delta} = 1,22$, что также ниже рассматриваемого случая. Как показано в [3] при увеличении удельной нагрузки на днище снижаются вертикальные перегрузки и увеличивается мореходность. Аналогичный результат следует ожидать и при движении самолета-амфибии по снегу. Таким образом, вертикальные перегрузки, действующие на самолет-амфибию при движении по типовым снежным застругам, будут меньше эксплуатационно допустимых 3,5 единиц.

При посадке на воду рекомендуется выдерживать вертикальную скорость не выше – 0,5 м/с. Это обеспечивает уровень вертикальной перегрузки при посадке не выше допустимой. В соответствии с [4] величина посадочного удара пропорциональна плотности, поэтому, т.к. плотность снега ниже плотности воды и если снежный покров более 1 м, то следует ожидать уровень посадочных перегрузок при посадке на снег ниже, чем при посадке на воду. В любом случае рекомендуется осуществлять посадку на снег с как можно меньшими вертикальными скоростями и минимальными углами дифферента.

Выше не рассматривался вопрос устойчивости по крену. Очевидно, что для совершения взлета или посадки на снег необходимо устанавливать дополнительные лыжи, обеспечивающие устойчивость по крену. Оптимальным, по-видимому, является установка небольших амортизированных лыж на подкрыльевые поплавки, аналогично самолету Grumman HU-16 Albatross (рис. 1).

В районе редана также целесообразна установка двух амортизированных лыж шириной не менее 200 мм (по одной с каждого борта), оканчивающихся за реданом на расстоянии 1000 мм ÷ 1500 мм (рис. 6). Это обеспечит снижение угла дифферента при движении по снегу. Амортизация позволит снизить посадочный удар.

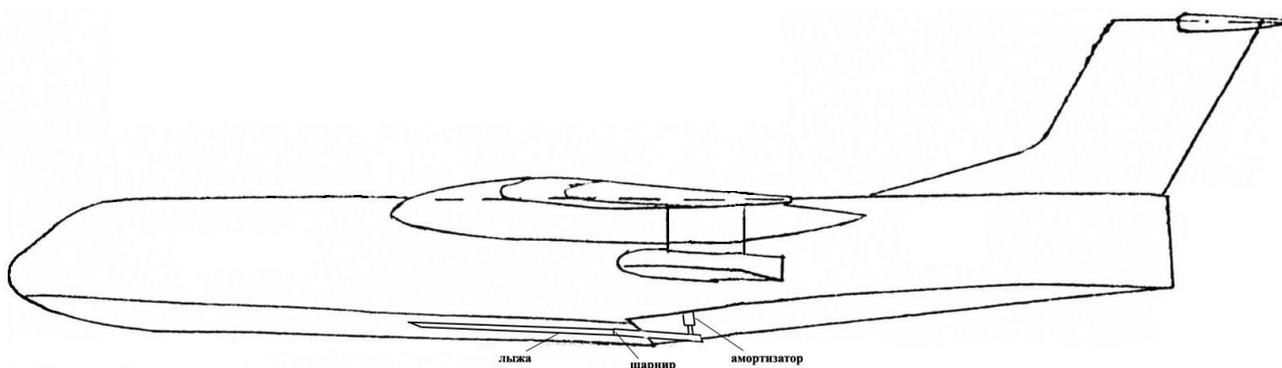


Рис. 6. Схема установки амортизированных лыж на днище самолета в районе редана

Для исключения обмерзания самолета целесообразно его днище оборудовать антиобледенительной системой.

ВЫВОДЫ

Обзор литературы показал, что известны случаи успешной эксплуатации гидросамолетов и самолетов-амфибий на заснеженных поверхностях. Например, ДАР (Дальний арктический разведчик), спроектированный Л.Р. Бартини, и гидросамолет Grumman HU-16 Albatross. Во всех

случаях самолеты были дополнительно укомплектованы амортизированными поверхностями, снижающими ударные перегрузки.

Для выполнения количественных оценок нагрузок, действующих на корпус самолета-амфибии, выполнен обзор и анализ материалов по проектированию и эксплуатации глиссирующих снегоходов-амфибий. На основании этих данных определено, что минимальная плотность снега для самолета массой 37 т должна быть больше 320 кг/м^3 . Максимальное сопротивление будет не выше 70 % от суммарной тяги двигателей. Максимальные вертикальные перегрузки при движении по снежным застругам высотой до 400 мм не будут превышать 3g.

Таким образом, самолет-амфибия, близкий по характеристикам к Бе-200, может эксплуатироваться на заснеженных поверхностях при оснащении его амортизированными лыжами на подкрыльевых поплавках и в районе редана. Для предотвращения обмерзания необходимо оборудовать днище антиобледенительной системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Осташов В.Г., Сандлер Л.Б.** Глиссирующие снегоходы-амфибии. – Новосибирск: Сибтиппроект. 1991. – 164 с.
2. **Топалов М.С.** Самолетные лыжи. – Л.: Редакция авиационной литературы. 1937. – 37 с.
3. **Грумондз В.Т., Журавлев Ю.Ф., Парышев Э.В., Соколянский В.П., Шорыгин О.П.** Гидродинамика и динамика высокоскоростного движения тел в жидкости. – М.: Наука. 2013. – 574 с.
4. **Горяинов А.А.** Справочник авиаконструктора. Т. 2. Гидромеханика гидросамолета. – М.: ЦАГИ. 1938. – 273 с.

OPERATION AMPHIBIANS TO SNOWY SURFACE

Varyukhin A.N., Veselov V.V., Dikiy S.V., Ovdienko V.A.

The article deals with known cases of operation of seaplanes and amphibians in the snow-covered surfaces. On the basis of the existing data on the resistance and acceleration acting on the hull of planing snowplane analysis of possible acting on the bottom of the amphibious aircraft weighing 37 tons moving in the snow-covered surface was carried out. Estimates have shown the possibility of the takeoff of such plane while moving in the snow-covered surface. Vertical acceleration and landing hit will not exceed the maximum permissible value if the thickness of the snow cover is not less than 1 meter.

Key words: amphibious aircraft, a seaplane, takeoff, landing, snow cover, operation.

REFERENCES

1. **Ostashov V.G., Sandler L.B.** Glissiruyuthie snegokhodih-amfibii. [Hydroplaning amphibious snowmobiles] Novosibirsk. Sibtipproekt. 1991. 164 p. (in Russian)
2. **Topalov M.S.** Samoletnihe lihzi. [Aircraft ski] Leningrad. Redakciya aviacionnoj literaturih. 1937. 37 p. (in Russian)
3. **Grumondz V.T., Zhuravlev Yu.F., Parihshev Eh.V., Sokolyanskiyj V.P., Shorihgin O.P.** Gidrodinamika i dinamika vihsokoskorostnogo dvizheniya tel v zhidkosti. [Hydrodynamics and dynamics of high-speed motion of bodies in the fluid] Moscow. Nauka. 2013. 574 p. (in Russian)
4. **Goryainov A.A.** Spravochnik aviakonstruktora. Tom 2. Gidromekhanika gidrosamoleta. [Guide for aircraft designer. V. 2. Seaplane hydromechanics] Moscow. CAGI. 1938. 273 p. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Варюхин Антон Николаевич, 1982 г.р., окончил ФАЛТ МФТИ (2005), кандидат технических наук, заместитель начальника отделения НИО-12 НИМК ЦАГИ, автор 8 научных работ, область научных интересов – скоростная гидродинамика, гидродинамика летательных аппаратов, аварийное приводнение воздушно-космических систем, проектирование морских летательных аппаратов, морская робототехника, электронный адрес: a.varyukhin@yandex.ru.

Веселов Владимир Владимирович, 1991 г.р., студент ФАЛТ МФТИ, инженер НИО-12 НИМК ЦАГИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – скоростная гидродинамика, гидродинамика летательных аппаратов, аварийное приводнение воздушно-космических систем, электронный адрес: vladimir.veselov@phystech.edu.

Дикий Сергей Викторович, 1989 г.р., окончил ФАЛТ МФТИ (2013), инженер НИО-12 НИМК ЦАГИ, аспирант ЦАГИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – скоростная гидродинамика, аварийное приводнение воздушно-космических систем, электронный адрес: dikiy.s.v@gmail.com.

Овдиенко Максим Александрович, 1990 г.р., окончил ФАЛТ МФТИ (2014), инженер НИО-12 НИМК ЦАГИ, автор 3 научных работ, область научных интересов – скоростная гидродинамика, проектирование морских летательных аппаратов, морская робототехника, электронный адрес: m.a.ovdienko@gmail.com.