

УДК 629.7.018

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОУСЛОВИЙ, ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

А.А. ХОХЛОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Вышинским В.В.

Рассматриваются методические вопросы определения гидрометеоусловий, предельных для эксплуатации летательных аппаратов морского базирования. Предложены методические подходы к проведению испытаний по определению эксплуатационных ограничений по гидрометеоусловиям летательных аппаратов морского базирования.

Ключевые слова: гидросамолеты, методика испытаний, гидрометеоусловия, эксплуатационные ограничения.

Введение

Требование обеспечения безопасности полетов гидросамолетов и самолетов-амфибий (ГС), (рис. 1) при нахождении на плаву, маневрировании на воде, взлете с воды и посадке на воду определяет актуальность разработки методик определения эксплуатационных ограничений по гидрометеоусловиям (ГМУ). Авиационными правилами [1] предусмотрено, что для ГС должно быть установлено наиболее неблагоприятное состояние водной поверхности, при котором обеспечивается безопасность во время взлета, руления и посадки.

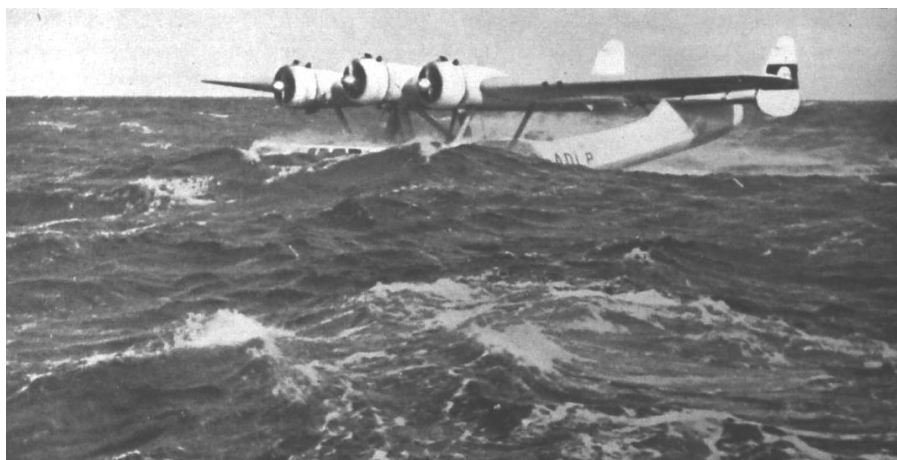


Рис. 1. Гидросамолет Dornier Do 24 в условиях волнения

Там же записано, что в летных испытаниях для летательных аппаратов (ЛА) требуется установить:

- предельные ограничения – ограничения режимов полета, выход за которые недопустим ни при каких обстоятельствах;
- эксплуатационные ограничения – условия, режимы и преднамеренный выход за пределы которых недопустим в процессе эксплуатации самолета;
- рекомендуемые режимы полета – режимы внутри области, определяемой эксплуатационными ограничениями, устанавливаемые в Руководстве по летной эксплуатации для выполнения полетов.

Требование об установлении наиболее неблагоприятного состояния водной поверхности рассматривается, как требование установить эксплуатационное ограничение, касающееся ГМУ.

Предлагается следующий порядок назначения предельных, эксплуатационных и рекомендуемых для эксплуатации ГС ГМУ. Предельные ГМУ устанавливаются по результатам испытаний моделей и математического моделирования в различных условиях волнения моря. Эксплуатационные ограничения по ГМУ устанавливаются по результатам мореходных испытаний как с нормально работающей силовой установкой, так и с отказом двигателя. Рекомендуемые для эксплуатации ГМУ устанавливаются внутри области, определяемой эксплуатационными ограничениями, и включаются в Руководство по летной эксплуатации.

В соответствии с [2] способность пилотируемого ЛА при заданном морском волнении и ветре к безопасному нахождению на плаву, маневрированию на воде, взлету с воды и посадке на воду называется мореходностью ЛА. В качестве критериев мореходности ЛА в настоящее время у нас в стране применяют высоту волны 3 % обеспеченности ($h_{в3\%}$), длину волны 25 % обеспеченности ($\lambda_{25\%}$) и скорость ветра, при этом часто состояние водной поверхности описывают только с помощью $h_{в3\%}$ и указывают тип волнения: ветровое или зыбь.

В истории гидроавиации можно выделить несколько ГС, обладающих выдающейся мореходностью (табл. 1).

Таблица 1

Тип ГС	Страна	Нормальная взлетная масса, кг	Год первого полета	Мореходность (высота ветровой волны), м	Примечание
Shin Meiwa PS-1 / US-1	Япония	43000	1967	3,5	Самолет-амфибия
Blohm & Voss BV 238	Германия	95000	1944	3,0 - 3,5	
Latécoère 631	Франция	72000	1942	2,5	
Convair P5Y-1 & R3Y-1/-2 Tradewind	США	66000	1950	2,4	
A-40 Альбатрос	СССР	86000	1986	2	Самолет-амфибия

Анализ характеристик данных и других ГС показывает, что наибольшей мореходностью обладают тяжелые летающие лодки с невысокими взлетно-посадочными скоростями, высоким гидродинамическим совершенством и/или значительной массой. Легкие летающие лодки и поплавковые ГС, как правило, обладают невысокой мореходностью в пределах 0,75 м $h_{в3\%}$ (два балла по шкале Ботфорта). Следует отметить, что приведенные характеристики мореходности относятся к случаю взлета, посадки на ветровую волну. Для случая взлета, посадки навстречу фронту волн зыби они уменьшаются, как правило, в два раза.

Благодаря своей мореходности ГС могут решать целый ряд задач более эффективно, чем самолеты сухопутного базирования. Это задачи противолодочной обороны, поисково-спасательные операции на море, пожаротушение и другие. При этом, чем выше мореходность ГС, тем выше эффективность решения им данных задач. По данным [3] повторяемость высот волн в разных регионах в течение года весьма разная (табл. 2).

Таблица 2

Высота волн, м	Тихий океан умеренная зона		Баренцево море		Черное море	
	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Менее 2	49	76	33	55	71	94
2 – 4	40	22	38	33	26	6
4 – 6	8	2	23	11	3	0
Более 6	3	0	5	1	0	0

Для обеспечения мореходности в конструкции ГС применяются специальные решения, которые обеспечивают возможность его эксплуатации на воде. За счет придания лодке ГС специальной формы и обеспечения высокой прочности планера гидросамолет, как правило, имеет худшую аэродинамику и больший вес конструкции по сравнению с сухопутным самолетом подобного класса.

Гидрометеоусловия

Гидрометеоусловия, влияющие на эксплуатацию ЛА морского базирования, включают в себя: волнение и ветер, давление, температуру и влажность воздуха. При этом к основным возмущающим факторам, действующим на ГС, находящийся на воде, относятся волнение и ветер.

Волнение обычно разделяют на три типа: ветровые волны, которые возникают под непосредственным воздействием ветра, волны зыби, которые наблюдаются после прекращения ветра или после выхода волн из зоны действия ветра, и смешанное волнение, когда ветровые волны накладываются на волны зыби. В качестве эксплуатационных ограничений параметров волнения, помещаемых в РЛЭ, используют высоту волны 3 % обеспеченности ($h_{в3\%}$) и длину волны 25 % обеспеченности ($\lambda_{25\%}$), при этом отдельно определяют эксплуатационные ограничения для ветровых волн и для волн зыби. Разделение ограничений для ветровых волн и волн зыби определяется их существенно различным воздействием на движущийся ГС. Ветровые волны сравнительно короткие, для них отношение $\lambda_{25\%}/h_{в3\%}$ не превышает 25. При движении по такому волнению в пределах длины корпуса ГС находятся одновременно две или более волны, поэтому и его колебания по углу дифферента умеренные. Волны зыби длинные, отношение $\lambda_{25\%}/h_{в3\%}$ превышает 30 – 40, при этом длина лодки ГС зачастую оказывается меньше длины волны. Двигаясь по такой волне, ГС начинает огибать профиль волны, что приводит к значительному росту колебаний по углу дифферента (рис. 2) и увеличению нагрузок на днище лодки. Допустимая высота волны зыби обычно принимается равной половине высоты ветровой волны 3 %-й обеспеченности. Все вышесказанное относится к случаю движения ГС навстречу фронту волн.



Рис. 2. Кинограмма аварии гидросамолета Arado Ar 196 в условиях волнения

Если же длина волны зыби существенно более длины лодки, взлет или посадка выполняются вдоль фронта волн с некоторым упреждением, и при этом теоретически предельная высота волны не ограничена. Данная методика пилотирования отражена в [4; 9; 10]. Наиболее сложным с точки зрения обеспечения безопасности на взлете и посадке является наличие смешанного волнения, когда одновременно присутствует несколько систем волн с различными амплитудами и частотами, причем они могут распространяться в различных направлениях. В этом случае летчик должен принять решение о методике выполнения взлета или посадки, учитывая все факторы, в том числе и ветер. Диапазон высот волн, в которых когда-либо испытывались и эксплуатировались ГС, составляет от 0 до 4 м. Интересно отметить, что в соответствии с [3], в указанном диапазоне высот волн результаты инструментальной оценки $h_{в3\%}$ хорошо согласуются с результатами визуальной оценки.

В общем случае морское волнение можно представить как случайный процесс в виде суперпозиции синусоидальных волн различной амплитуды и периода, распространяющихся в

различных направлениях. При этом основной и наиболее полной характеристикой волнения моря является его двумерный частотно-направленный спектр [6]. Поскольку получить двумерный частотно-направленный спектр волнения на практике не всегда возможно, определяют частотный спектр волнения по записи волновой ординаты в одной точке, а затем другие характеристики волнения на его основе, в частности высоту, длину, период волнения заданной обеспеченности и другие характеристики. При этом волновой процесс полагают квазистационарным и квазиэргодическим случайным процессом. Частотный спектр волнения характеризует распределения суммарной энергии волн по частотам, соответствующим каждой системе волн. Энергия волнения, в свою очередь, пропорциональна квадрату амплитуды (половине высоты) волны и длине волны, что дает право на основе измеренного частотного спектра волнения принимать решение о возможности безопасного выполнения взлета и посадки с учетом упомянутой методики пилотирования ГС.

На практике измерение волнения осуществляют с борта катера, на котором расположен стартовый командный пункт (СКП). Катер устанавливается на расстоянии 200 – 250 м от торца ВПП и на 100 – 200 м в стороне от полосы приводнения [4]. С учетом размеров ВПП гидроаэродрома (приблизительно 3 км), характерных дистанций разбега-пробега ГС, а также того, что наибольшее воздействие волнение на ГС оказывает на скорости 0,7 – 0,9 скорости отрыва [5], можно полагать, что место, в котором ГС испытывает максимальное воздействие волн, удалено от места измерения волнения на 1 – 1,5 км.

Выше было упомянуто, что морское волнение представляет собой случайный процесс и для его описания используются статистические и спектральные характеристики. Установлено [6], что распределение элементов волн в промежутке квазистационарности процесса и на участке его квазиоднородности хорошо описывается теоретическим законом Вейбула.

С учетом вышесказанного, для описания волнения, действующего на ГС, необходимо учитывать следующее.

1. Волнение представляет собой случайный процесс с известными законами распределения параметров. Измерив волновую ординату, при обработке по этим данным определяют дисперсию волновых ординат (характеристику энергии волнения), а через нее среднюю высоту волны. По записям волновых ординат также определяется средний период волнения, по которому рассчитывается средняя длина волны. Далее на основе законов распределения параметров рассчитывается высота волны 3 % обеспеченности ($h_{в3\%}$) и длина волны 25 % обеспеченности ($\lambda_{25\%}$). При этом следует понимать, что с некоторой вероятностью, меньшей чем 0,03, всегда возможно воздействие на самолет волны с еще большей высотой.

2. Измеритель волнения имеет метрологические характеристики, и измеренное значение параметров волнения есть их среднее значение и некоторый диапазон, в который измеряемая величина попадает с заданной вероятностью.

3. Для переноса данных о волнении, полученных в месте расположения СКП, на место, где находится ГС, используется гипотеза о квазистационарности и квазиоднородности волнового процесса, что не всегда имеет место в случае развивающегося, затухающего или смешанного волнения.

Рекомендации по измерению и обработке параметров волнения при проведении мореходных испытаний:

1) провести предварительный анализ волнения в районе проведения мореходных испытаний ГС и метрологических характеристик волномера;

2) измерение волнения проводить за полчаса до начала летного эксперимента, в ходе эксперимента и через полчаса после окончания эксперимента. При этом каждая запись должна содержать от 150 до 300 волн;

3) проводить кино-видеосъемку боковой поверхности лодки (поплавков) ГС с близкого расстояния (с борта ГС или с законцовки крыла), при этом целесообразно на борт лодки нанести специальную разметку;

4) если волномер не позволяет определить направление бега систем волн, определять его визуально с помощью магнитного компаса и заносить данные в протокол измерения параметров волнения;

5) при обработке волнограммы рассчитывать статистические и спектральные характеристики волнения;

6) при статистической обработке волнограммы средние значения высот волн рассчитывать двумя способами, как среднее значение выделенных на волнограмме волн, так и через дисперсию волновых ординат.

Параметры ветровых волн для случая полностью развитого волнения при большой глубине и размерах водоема являются функцией только скорости ветра [6]. В интересующем нас диапазоне высот ветровых волн соответствующая скорость ветра составит: для волн высотой 1,5 – 2 м (волнение 4 балла) от 8,0 до 10,7 м/с, для волн высотой 2 – 3 м (5 баллов) от 10,8 до 13,8 м/с. В соответствии с упомянутой методикой пилотирования взлет и посадка на ветровой волне выполняются навстречу фронту волн и навстречу ветру. В условиях "мертвой" зыби ветер отсутствует. При эксплуатации ГС на развитом ветровом волнении до 4 баллов скорость ветра не будет превышать 10 – 11 м/с. Для случая развивающегося волнения эту величину следует увеличить приблизительно на 30 – 50 %. Боковой ветер при выполнении взлета и посадки ГС возможен только в случае смешанного волнения, либо при эксплуатации на ограниченной акватории (река, озеро). Но в последнем случае из-за ограниченных дистанций разбега волн их высота будет небольшой. С учетом того, что два этих случая имеют место достаточно редко, предлагается в испытаниях ГС боковой ветер исключить.

Все данные об измерении гидрометеоусловий в ходе испытаний заносятся в протокол, в котором отражаются: время, место измерения волнения; место проведения летного эксперимента; тип используемого волномера; визуальная оценка высоты и длины волны; тип волнения; направление бега систем волн; направление и сила ветра; температура воздуха; атмосферное давление; влажность воздуха.

Режимы и условия испытаний

При подготовке к проведению испытаний на установление наиболее неблагоприятного состояния водной поверхности необходимо выделить, прежде всего, режимы на которых волнение моря оказывает максимальное воздействие на ГС и которые могут быть предельными по безопасности полетов. При этом рассматриваются два случая. Первый - это нормальная работа двигателей на режиме, второй - это отказ одного двигателя в процессе выполнения режима. К основным режимам, на которых эксплуатируется ГС, относятся:

- режимы плавания ГС, т.е. маневрирование; буксировка; дрейф; стоянка на бочке, якоре (движение самолета на воде на малых скоростях, приблизительно до 20 % от скорости отрыва (посадки), при которых его вес уравнивается гидростатической силой поддержания);

- переходный режим, соответствующий начальной стадии разбега или завершающей стадии пробега ГС, приблизительно от 20 % до 50 % скорости отрыва (посадки);

- движение на режиме глиссирования, приблизительно от 50 % до скорости отрыва на взлете, и от посадочной скорости до приблизительно 50 % посадочной скорости.

Любой из этих режимов может оказаться критичным с точки зрения безопасности полета в условиях волнения, но режимы плавания и переходный режим характеризуются сравнительно невысокими скоростями от 0 до 0,5 скорости отрыва (посадки). В условиях волнения на этих режимах возможно сильное заливание ГС струями воды, значительные колебания ГС, но нагрузки на лодку и поплавки будут сравнительно невелики в силу малых скоростей движения. И в случае отказа двигателя последствия будут минимальными, если летчик после распознавания отказа убирал обороты работающих двигателей до малого газа.

Очевидно, что самым небезопасным в условиях волнения моря окажется режим глиссирования на разбеге и пробеге. Взлет и посадка гидросамолета на ветровой волне производится против ветра, а на волне зыби, при небольшой высоте волны – навстречу фронту волн, при большой высоте волны – вдоль фронта волны с упреждением $5^\circ - 10^\circ$ в сторону движения волны [4, п. 517]. В процессе глиссирования навстречу фронту ветрового волнения и зыби ГС будет пересекать гребни волн, периодически подвергаясь их воздействию. На скоростях от 70 % до 90 % от взлетно-посадочных в условиях волнения ударные перегрузки достигают максимальных значений. Под воздействием волн ГС может быть выброшен из воды ("барс" или "рикошет") на малой скорости. Выброс из воды, особенно явление "барса", т.е. с изменением угла атаки, опасно тем, что при этом возможен выход ГС на закритические углы атаки, что приведет к его сваливанию. Кроме сваливания, возможно в процессе выброса ГС уменьшение угла тангажа самолета до отрицательного ("барс") и после повторной встречи с водой самолет ныряет под воду, что может привести к разрушению конструкции. Также возможна потеря устойчивости движения ГС на глиссировании. В дополнение к движению по углу дифферента у ГС появляется скольжение под действием разворачивающего момента и несимметричного обтекания днища. Вследствие того, что центр гидродинамического давления находится впереди центра масс самолета, движение рысканья будет иметь аperiодический характер. В случае движения в условиях зыби с некоторым упреждением к фронту волн ГС практически не будет испытывать их воздействия.

На первом этапе проводятся испытания по определению эксплуатационных ограничений по параметрам волнения моря при нахождении на плаву, маневрировании на воде, взлете с воды и посадке на воду со всеми работающими двигателями. Методика испытаний предусматривает постепенный переход от штилевых условий к ожидаемым предельным с шагом в 20 – 25 % по высоте волны, отдельно для ветровых волн и волн зыби. По достижении критериев, описанных в [7], устанавливаются эксплуатационные ограничения.

Отказ двигателя на ГС с 2 и большим количеством двигателей на режиме глиссирования в условиях волнения требует детального рассмотрения. Следует учитывать, что отказ двигателя на пробеге не будет таким критичным, как на разбеге, поскольку при этом двигатели работают на режиме малого газа.

При отказе двигателя на ГС на разбеге на режиме глиссирования уменьшается суммарная сила тяги, появляются момент крена и рысканья, которые летчик должен скомпенсировать с помощью аэродинамических органов управления. Под действием данных моментов у ГС будет увеличиваться угол дифферента, вследствие чего возможен выход за верхнюю границу зоны устойчивого глиссирования и появление нарастающих продольных колебаний. При этом может произойти выброс самолета из воды как по причине выхода на большие углы дифферента в процессе продольной раскачки, так и по причине встречи с гребнем волны, особенно зыби.

При рассмотрении отказа двигателя следует учитывать, что с момента возникновения отказа и до начала действий экипажа по парированию данного отказа проходит некоторое время (в НЛГС-2, п.3.4.3.2 - это 3 с), за которое ГС совершает некоторые эволюции. В соответствии с РЛЭ ГС [1], в случае отказа двигателя при разбеге на скорости не более скорости принятия решения V_1 летчик должен прекратить взлет. Скорость принятия решения для сухопутных самолетов не должна быть ниже минимально эволютивной скорости разбега V_{MCG} и не может быть более скорости подъема носового колеса V_R . Для ГС нижняя граница остается равной V_{MCG} , а верхняя равняется минимальной скорости отрыва на взлете V_{MU} , поскольку на гидросамолетах не применяется методика подъема носовой части лодки перед отрывом из-за необходимости выдерживания углов дифферента в зоне устойчивого глиссирования.

Минимально эволютивная скорость разбега V_{MCG} и минимальная скорость отрыва на взлете V_{MU} являются опорными скоростями и определяются в специальных режимах в штилевых условиях. В испытаниях в условиях волнения необходимо показать соответствие скорости принятия решения V_1 требованиям [1], для чего выполняются специальные режимы с введением

отказа критического двигателя. В силу того, что вероятность одновременного появления отказа двигателя и большого волнения достаточно невысока, можно ограничить для этого случая волнение на 30 – 50 % от максимального, которое определено при нормальной работе силовой установки. Такой подход аналогичен тому, который используется при проведении испытаний сухопутных самолетов. Для сухопутных самолетов в качестве возмущающего воздействия, при проведении испытаний с отказом двигателя, рассматривается боковой ветер силой 3 – 5 м/с, что приблизительно равно 30 – 50 % от максимального. Это также учтено в [1]: "Эксплуатационные ограничения должны устанавливаться с учетом вероятности внешних воздействий (явлений) и отказных состояний (функциональных отказов, видов отказов систем), характеристик самолета, точности пилотирования, а также погрешностей бортовых систем и оборудования".

Испытания по определению эксплуатационных ограничений с отказавшим двигателем проводятся на втором этапе. В ходе работ выполняются специальные режимы, на которых летчик после введения отказа критического двигателя только за счет аэродинамических органов управления, действия которыми начинаются через заданное время после введения отказа, стремится сохранить заданное направление движения ГС и его горизонтальное положение. При этом водоружь и другие гидродинамические органы управления отключены, на самолетах с ТВД не допускается вмешательство экипажа в управление воздушным винтом. Методика подразумевает постепенный переход от малых высот волн к большим высотам волн. Для оценки поведения ГС при отказе двигателя на предварительном этапе может быть целесообразно выполнять режимы с частичным отказом двигателя, для чего обороты критического двигателя уменьшать не до малого газа, а до 50 % от взлетного. Важно перед испытаниями оценить достаточность для выполнения испытательного режима размеров акватории с точки зрения обеспечения безопасности. Основанием для прекращения работ и назначения эксплуатационных ограничений является достижение любого из следующих критериев:

- боковое смещение ГС равно или больше, чем допустимое боковое отклонение;
- отклонение рычагов управления при выдерживании летчиком рекомендуемых углов дифферента, курса и крена превышают 50 % от их максимального хода;
- усилия на педалях составляют более 68 кгс, на штурвале/ручке управления по элеронам составляют 23 кгс/14 кгс;
- направление движения не выдерживается с точностью – 5°;
- угол атаки в случае "барса" или "рикошета" превышает допустимое значение;
- амплитуды вертикальных колебаний ГС более полутора высот волн ($h_{в3\%}$);
- амплитуды колебаний ГС по углу дифферента более 6° – 8°, по крену – с погружением в воду законцовок крыла;
- характеристики брызгообразования, заливаемости и положения ГС на воде неудовлетворительные;
- перегрузка в центре масс ГС превышает максимальную эксплуатационную.

Так же, как и для случая со всеми работающими двигателями испытания проводят отдельно для ветрового волнения и волн зыби.

Данная работа выполнена в рамках и за счет финансовой поддержки проекта "Разработка моделирующего комплекса реалистичного восприятия оператором (летчиком) сложных режимов полета и оценки его психофизиологического состояния" (Договор № 02.G25.31.0017/100003471 между ОАО "РСК "МиГ" и Министерством образования и науки РФ об условиях предоставления и использования субсидии на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологического производства, выполняемого с участием ФГАОУ ВПО "МФТИ (ГУ)").

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила. Часть 25. - М.: Авиаиздат, 2004.
2. ГОСТ 24999-81. Гидромеханика летательных аппаратов. Термины, определения и обозначения. - М.: Издательство стандартов, 1982.
3. Ветер и волны в океанах и морях // Справочные данные // Реестр союза СССР. - Л.: Транспорт, 1974.
4. Самолет-амфибия Бе-200ЧС РЛЭ. - Таганрог: ТАНТК им. Г.М. Бериева, 2003.
5. ФАП производства полетов государственной авиации. Приложение к Приказу МО РФ от 24 сентября 2004 г. № 275.
6. Seaplane, Skiplane, and Float/Ski Equipped Helicopter Operations Handbook. - US. Department of Transportation FAA, 2004.
7. Андриевский Н.И. Гидросамолеты // Особенности взлета и посадки в море. - М.: Воениздат, 1986.
8. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И. Навстречу со штормами. - Л.: Гидрометеониздат, 1982.
9. Морская авиация России / под ред. А.Г. Братухина. - М.: Машиностроение, 1996.
10. Хохлов А.А. Некоторые вопросы разработки типовой методики проведения мореходных испытаний гидросамолетов и самолетов-амфибий: сб. докладов IX междунар. науч. конф. по гидроавиации "Гидроавиасалон-2012". - М.: Изд. ЦАГИ, 2012. - Т. 2. - С. 22 – 27.

METHODOLOGICAL ISSUES OF DETERMINING OF HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS RESTRICTING OPERATION OF SEA-BASED AIRCRAFTS

Khokhlov A.A.

The paper considers methodological issues related to determining of hydrometeorological conditions, which are maximum permissible for operation of sea-based aircrafts. Flight-test methods are proposed to obtain the corresponding restrictions on the aircraft performance.

Key words: seaplane, test method, hydrometeorological conditions, operationfl restrictions.

Сведения об авторе

Хохлов Анатолий Анатольевич, 1957 г.р., окончил МФТИ (1983), старший преподаватель ФАЛТ МФТИ, автор 15 научных работ, область научных интересов – летные испытания, динамика полета, математические методы моделирования, летательные аппараты морского базирования, мореходность гидросамолетов.