

УДК 629.735

ШАССИ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ С МНОГОСЕКЦИОННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ю.Ю. МЕРЗЛИКИН, А.А. ДОЛГОПОЛОВ

Статья представлена доктором технических наук Масловым Л.А.

В данной статье рассматривается разработанное в НИМК ЦАГИ шасси на воздушной подушке (ШВП) с многосекционной ВП, формируемой закрепленными на баллонной части ШВП отдельными эластичными сменными проточными элементами новой конструкции. На установках и в опытовом бассейне НИМК ЦАГИ получены аэрогидродинамические и амортизационные характеристики рассматриваемого ШВП.

Ключевые слова: летательный аппарат, шасси, воздушная подушка, эксперимент.

Рассматривается разработанное в НИМК ЦАГИ шасси на воздушной подушке (ШВП) с многосекционной ВП, формируемой закрепленными на баллонной части ШВП отдельными эластичными сменными проточными элементами новой конструкции. Баллонная часть ШВП, разделенная перегородками из ткани на отдельные полости, служит гибким проточным ресивером между нагнетателями ВП и указанными элементами. ШВП предназначено для использования в качестве взлетно-посадочного устройства (ВПУ) на амфибийных летательных аппаратах (ЛА) и в качестве подъемной системы на аппаратах на ВП (АВП).

Данное ШВП отвечает основным требованиям, предъявляемым к шасси ЛА рассматриваемого класса, по амфибийности, поглощению посадочного удара, формированию взлетно-посадочной конфигурации, и обеспечивает возможность разбега-пробега ЛА и движения АВП по грунтовым и водной поверхностям со значительно большими по высоте неровностями и волнами при меньших затратах мощности на создание ВП, а также пониженном уровне возмущающего воздействия от неровностей пути.

Рекомендуемая схема ШВП обосновывается результатами целого ряда исследований.

Устойчивость формы эластичных элементов и их способность "проходить" неровности пути без повреждения обеспечены испытаниями секций ограждения ВП на "плоском" стенде (рис. 1).

Масштаб испытанных секций ограждения по отношению к ограждению создаваемого ШВП для аппарата на ВП (АВП) с массой 1000 кг, имеющего длину и ширину по ВП соответственно $L_{п} = 4,95$ м и $B_{п} = 2,45$ м и площадь $S_{п} = 10,9$ м², составлял

$$A = \frac{l_{п}}{l_{м}} 2,5. \text{ Гибкое ограждение такого ШВП}$$

должно обеспечивать возможность движения АВП не только по водной поверхности, но и по грунту с неровностями высотой до 250 мм ÷ 300 мм различного вида, включая единичную неровность и неровность типа ступеньки.

На стенде представлялось возможным изменять геометрическое расположение точек крепления баллонной части ограждения на корпусе АВП, положение ограждения над твердой



Рис. 1. Испытания секций ограждения ШВП на "плоском" стенде

поверхностью (перемещением экрана), варьировать давление и расход воздуха, подаваемого в баллон ограждения и ВП.

Статическая и динамическая устойчивость и демпфирующие свойства ШВП по крену, тангажу и высоте исследованы на действующей модели ШВП (рис. 2) над твердым экраном. Аэрогидродинамические и амплитудно-частотные характеристики ШВП изучались при буксировке модели над ровной и взволнованной водной поверхностью с варьированием расхода воздуха ВП, центровки и угла дрейфа. Масштаб модели ШВП по отношению к ШВП создаваемого АВП также был равен 2,5.

Моделирование в перечисленных выше исследованиях, кроме исследований ШВП на динамическую устойчивость, осуществлялось по критерию Фруда $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL_{II}}}$, в соответствии

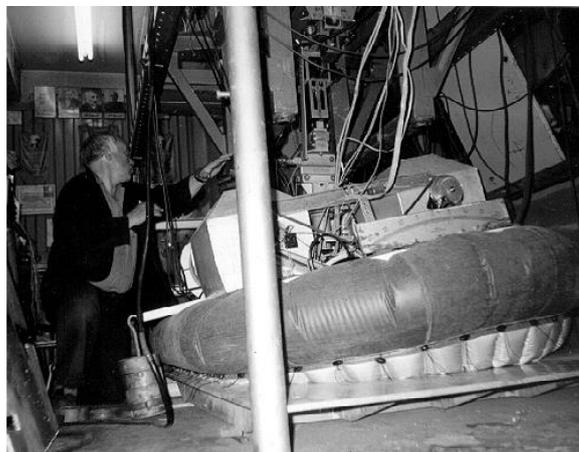


Рис. 2. Статические и динамические испытания ШВП над твердым экраном

с которым статическое давление p_m в полостях и расход воздуха Q_m вентиляторных установок ВП модели ШВП соотносятся со значениями p_n и Q_n натурального ШВП следующим образом: $p_m = \frac{p_n}{A}$; $Q_m = \frac{Q_n}{A^{5/2}}$, масса модели G_m в A^3 раз меньше G_n массы натурн

$\left(G_m = \frac{G_n}{A^3}\right)$, а наклон характеристики вентиляторной установки – в $A^{3/2}$ раз,

т.е. $\left(\frac{\partial p_b}{\partial Q}\right)_m = \left(\frac{\partial p_b}{\partial Q}\right)_n A^{3/2}$, где p_b – избыточное давление за вентилятором

в баллоне.

Для исследования ШВП на "динамическую" устойчивость при движении по грунтовой поверхности (устойчивость равновесных состояний движения) был выбран вариант моделирования с использованием так называемой "тяжелой" модели. При таком моделировании давления в полостях ШВП равны натурным ($p_m = p_n$), расход воздуха ВП соотносится с натурным по квадрату масштаба: $Q_m = \frac{Q_n}{A^2}$. Также по квадрату масштаба соотно-

сится масса модели $\left(m_m = \frac{m_n}{A^2}\right)$ и наклон характеристики вентиляторной установки:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial Q}\right)_m = \left(\frac{\partial p}{\partial Q}\right)_n A^2.$$

Здесь следует заметить, что, поскольку при этом выполняются не все критерии подобия, перенос результатов испытаний модели на натуру связан с необходимостью учета масштабного эффекта. Однако этот эффект при определении границ "динамической" устойчивости, как показывают расчетные исследования известных схем ШВП, пренебрежимо мал.

По результатам испытаний модели ШВП было установлено, что натурный АВП с характеристиками вентиляторов, подобными характеристикам модели, обладает высокими запасами статической устойчивости по крену и тангажу, которые при введении понятия безразмерных метацентрических высот оцениваются следующими значениями коэффициентов:

$$\bar{m}_x^\gamma = \left(\frac{\partial m_{x_n}}{\partial \gamma} \right)_{\gamma=0} \frac{1}{G_n B_{n,n}} \approx -0,08 \text{ [1/лград]} = -4,9 \text{ [1/рад]};$$

$$\bar{m}_z^\vartheta = \left(\frac{\partial m_{z_n}}{\partial \vartheta} \right)_{\vartheta=0} \frac{1}{G_n B_{n,n}} \approx -0,049 \text{ [1/лград]} = -2,8 \text{ [1/рад]}$$

где производные $\frac{\partial m_{x_n}}{\partial \gamma}$ и $\frac{\partial m_{z_n}}{\partial \vartheta}$ определены по графикам $m_{x_m} = f(\gamma)$ и $m_{z_m} = f(\vartheta)$ при $\gamma = 0$ и $\vartheta = 0$ и диапазоне отклонения $\gamma \approx -2^\circ \div +2,5^\circ$ и $\vartheta \approx -2,2^\circ \div +2,8^\circ$.

Отметим, что минимальные значения метацентрических высот при закреплении судна на уровне центра тяжести устанавливаются согласно нормам регистра в следующих границах:

$$\bar{m}_x^\gamma \geq |-0,3 \div -0,4| \text{ [1/рад]}; \bar{m}_z^\vartheta \geq |-0,9 \div -1,0| \text{ [1/рад]}.$$

Безразмерные коэффициенты демпфирования колебаний ШВП, определенные при свободных колебаниях модели, составили: $m_z^{\bar{\omega}_z} \approx -0,45$; $m_x^{\bar{\omega}_x} \approx -0,3$; $c_y^{\bar{h}} \approx -13$; составляющие моментов M_x , M_y и силы Y_n : $M_{x\omega_x} = m_x^{\bar{\omega}_x} \bar{\omega}_x p_\sigma S_n B_n$; $M_{z\omega_z} = m_z^{\bar{\omega}_z} \bar{\omega}_z p_\sigma S_n L_n$; $Y_{nh} = c_y^{\bar{h}} \bar{h} p_\sigma S_n$, где $\bar{\omega}_x = \frac{B_n \omega_x}{\sqrt{p_\sigma / \rho}}$; $\bar{\omega}_z = \frac{L_n \omega_z}{\sqrt{p_\sigma / \rho}}$; $c_y^{\bar{h}} = \frac{\dot{h}}{\sqrt{p_\sigma / \rho}}$.

Аэрогидродинамические характеристики ШВП, полученные при буксировочных испытаниях модели в опытовом бассейне НИМК ЦАГИ (рис. 3), показаны на рис. 4 в виде зависимости отношения X/Y_n суммарного сопротивления движению $X = X_r + X_n + X_a$ модели по воде к подъемной силе ШВП Y_n от числа Фруда $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL_n}}$. Здесь V – скорость движе-

ния модели по воде, а X_r , $X_n = \rho QV$ и $X_a = \frac{\rho V^2}{2} Fc_x$ – составляющие сопротивления движению X .

При движении по грунту сила сопротивления X_{rp} пропорциональна коэффициенту f , зависящему от профиля поверхности и растительности на ней. Там же нанесены шкалы размерных значений сопротивлений X_m и X_n , скоростей движения V_m и V_n для модели ШВП и ее натурального образца. Зависимости на рис. 4 соответствуют двум значениям суммарного расхода в ВП $2Q$ двух вентиляторов, выраженным через безразмерные значения расхода $\bar{Q} = \frac{2Q}{S_n \sqrt{2p_n / \rho}}$ и нескольким значениям

центровки ШВП $\bar{x}_{цт} = \frac{x_{цт}}{L_n}$, где $x_{цт}$ – расстояние от центра тяжести ШВП до геометрического центра ВП, на котором при $\vartheta = 0$ и $\gamma = 0$ приложена равнодействующая сил давления в секциях ВП Y_n .



Рис. 3. Буксировка модели ШВП по спокойной воде с углом рыскания (дрейфа) 60° со скоростью $V = 10$ м/с

На рис. 4 нанесены также кривые сопротивления движению ШВП по поверхности воды при развитом волнении с длиной волны λ_{cp} и ее высотой $h_{в,ср}$. Длины волн задавались волнопродуктором гидроканала в наиболее неблагоприятном (по возмущающему воздействию волн на ШВП) диапазоне отношений $\lambda_{cp}/L_n \approx 1,5 \div 2,5$. Зависимость максимальных избыточных перегрузок в точке подвески модели при движении ШВП на регулярной волне показаны на рис. 5.

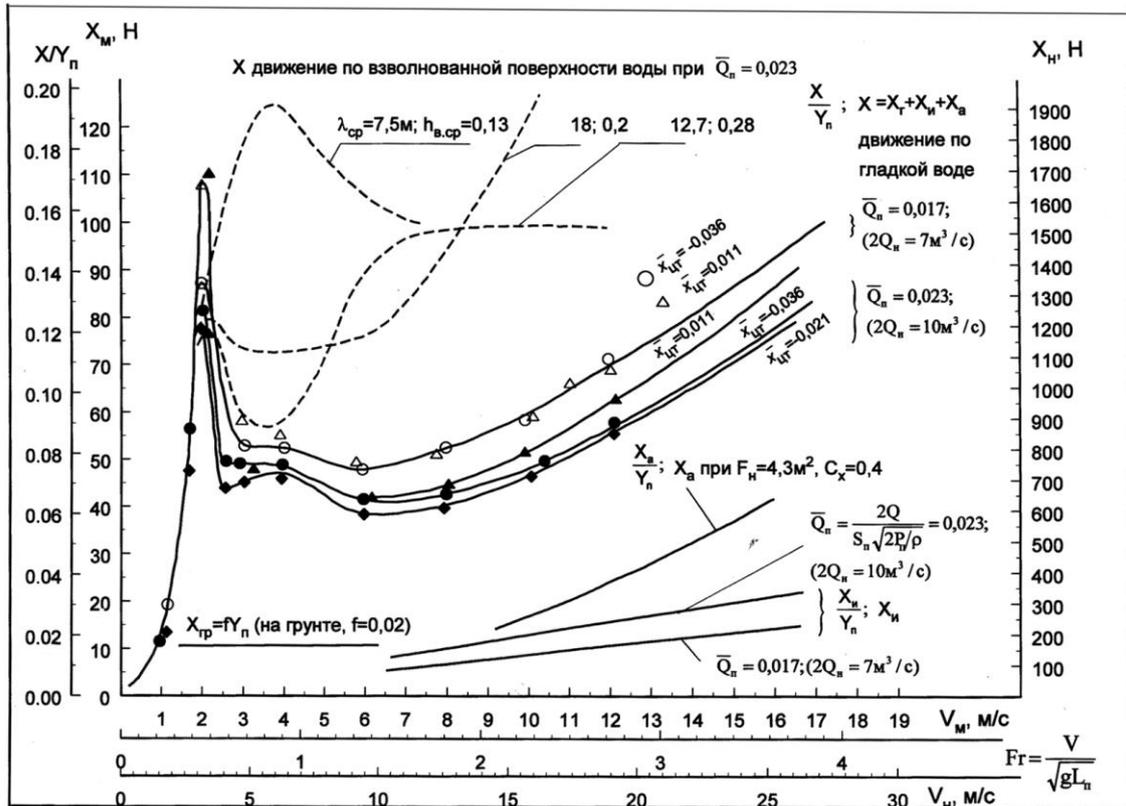


Рис. 4. Характеристики буксировочных испытаний модели ШВП в гидроканале

Результаты буксировочных испытаний позволяют сделать следующие выводы.

Для получения минимально возможного сопротивления движению ШВП на скорости "горба" сопротивления целесообразно иметь кормовую центровку $\bar{x}_{цт} \approx -0,04$ и обеспечивать расход воздуха вентиляторов ВП (при $\bar{Q} \approx 0,025$) $2Q_n \geq 11 \text{ м}^3/\text{с} \div 12 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для обеспечения минимального аэрогидродинамического сопротивления ШВП на высокой ("крейсерской") скорости следует стремиться к нулевой центровке ($\bar{x}_{цт} \approx 0$). При этом меньшая величина сопротивления соответствует расходу вентиляторов ВП в диапазоне $\bar{Q} = 0,022 \div 0,25$ ($2Q_n = 9,5 \text{ м}^3/\text{с} \div 11 \text{ м}^3/\text{с}$). Поскольку значения сопротивления на "крейсерской" ско-

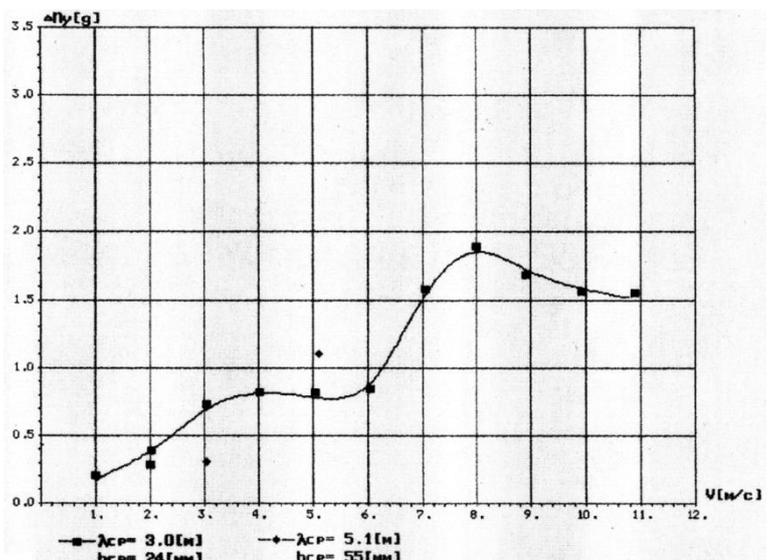


Рис. 5. Зависимость максимальных избыточных перегрузок в точке подвески модели при движении ШВП на регулярной волне

рости при $\bar{x}_{ц.т} \approx 0$ и $\bar{x}_{ц.т} \approx -0,02$ практически одинаковы, из условий безопасности при встрече АВП с волной целесообразно поддерживать кормовую центровку $\bar{x}_{ц.т} \approx -0,02$. Расход воздуха в ВП для повышения безопасности движения АВП в этих условиях должен быть таким же, как и на скорости "горба" сопротивления $\bar{Q} \approx 0,025$ ($2Q_n \geq 11 \text{ м}^3/\text{с} \div 12 \text{ м}^3/\text{с}$).

С целью обеспечения оптимальных значений центровки, т.е. балансировки АВП на скоростях "горба" сопротивления ($\bar{x}_{ц.т} \approx -0,04$, $x_{ц.т.н} \approx -0,2 \text{ м}$) и "крейсерской" скорости ($\bar{x}_{ц.т} \approx -0,02$, $x_{ц.т.н} \approx -0,1 \text{ м}$) необходимо приложить к АВП внешний момент $M_{z_{вн}}$ соответствующей величины, например, поворотом сопла маршевого движителя или горизонтальным оперением в потоке последнего.

При "крейсерской" скорости движения АВП и высоких скоростях разбега ЛА с ШВП наибольшей по величине составляющей в суммарном сопротивлении движению является аэродинамическое сопротивление X_a . Для испытанной модели ШВП при коэффициенте расхода вентиляторов ВП $\bar{Q} \approx 0,022$ оно превышает импульсное сопротивление примерно в 3 раза, а гидродинамическое – в 4. Поэтому, придавая АВП и ЛА лучшую аэродинамическую форму, можно существенно повысить скорость движения АВП, а для ЛА уменьшить дистанцию разбега без повышения мощности и тяги движителей.

При буксировке модели в испытанном диапазоне углов рыскания (дрейфа) от 0° до 75° явлений "затягивания" ограждения ВП водой под корпус ШВП не наблюдалось.

Сопротивление движению ШВП по взволнованной поверхности сильно возрастает.

При неблагоприятном соотношении длины волны и длины ШВП избыточные вертикальные перегрузки в месте крепления модели на стреле тележки составили $2g$ (рис. 5).

Испытания модели показали, что высота распространения брызг при истечении воздуха из ВП в отдельных случаях движения может превышать высоту палубы ШВП. При этом становится возможным попадание брызг в воздухозаборники двигателя, вентиляторов и в движители АВП. Соответственно, возникает опасность нарушения работы двигателя, а также значительно снижения ресурса работы лопаток вентиляторов и движителей.

Поскольку при моделировании по Фруду в явлениях образования и движения брызг имеет место существенный масштабный эффект, отработку способов ограничения распространения брызг целесообразно проводить на макете АВП в натуральных условиях (например, с помощью размещения в соответствующих местах ограждения пылебрызгозащитных фартуков, применения отбойных элементов на корпусе АВП и профилировки воздухозаборников).

Для снижения опасности скапливания в навесных проточных элементах ограждения фрагментов растительного покрова с поверхности передвижения АВП (в результате возможного засасывания этих фрагментов вентиляторами воздушной подушки) необходимо обеспечить достаточную по величине площадь проходных отверстий в нижней части наклонных диафрагм элементов.

Для снижения износа элементов от трения и образования изгибных трещин имеет смысл наносить на них антиизносное эластичное (не мешающее изгибу) покрытие и по возможности исключать за счет кроя и технологии изготовления элементов образование складок и резкие "переходы" (с малыми радиусами) на поверхности элементов в местах стыковки образующих элементов и диафрагм. Этому будет способствовать формирование сферических поверхностей в указанных местах.

Дренажные отверстия в нижней части диафрагм элементов целесообразно окантовать или армировать в аналогичном "люверсам" виде.

В заключение заметим, что аэродинамическая схема и конструкция рассматриваемого ШВП позволяют широко варьировать характеристики устойчивости и амортизационные свойства (в частности, путем изменения характеристик вентиляторов, проходных отверстий проточной системы ШВП и т.д.) и тем самым адаптировать аппарат с таким ШВП к конкретным условиям эксплуатации на водной и грунтовых поверхностях.

AIR CUSHION CHASSIS WITH MULTI-SECTION FORMATION FOR AIRCRAFT

Merzlikin Y.Y., Dolgoplov A.A.

This article discusses the air cushion chassis with multi-section air cushion, designed in NIMK CAHI. This chassis is formed by separate flexible changeable running elements of an advanced design, which are mounted on the balloon part of an air cushion. Aerohydrodynamic and buffer characteristics of this chassis are achieved through experimental work on the plants and in the experimental pond in NIMK TSAGI.

Key words: aircraft, chassis, airbag, experiment.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мерзликін Юрий Юрьевич, 1975 г.р., окончил МАИ (1998), главный инженер НИО-12 "Научно-исследовательского Московского комплекса ЦАГИ" "ФГУП" ЦАГИ, автор более 60 научных работ, область научных интересов – экспериментальная аэродинамика амфибийных летательных аппаратов и транспортных средств с шасси на воздушной подушке, электронный адрес: ymerzlikin@gmail.com.

Долгополов Александр Андреевич, 1937 г.р., окончил МВТУ им. Баумана (1961), старший научный сотрудник НИО-12 "Научно-исследовательского Московского комплекса ЦАГИ" "ФГУП" ЦАГИ, автор более 140 научных работ, область научных интересов – аэродинамика, динамика и проходимость летательных аппаратов и транспортных средств с шасси на воздушной подушке.