

УДК 533.657

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОСАМОЛЕТА С АМОРТИЗИРОВАННЫМИ ПОПЛАВКАМИ

А. Н. ВАРЮХИН¹, В. В. ВЕСЕЛОВ², С. В. ДИКИЙ³, М. А. ОВДИЕНКО⁴

¹ a.varyukhin@yandex.ru, ² v1690117@outlook.com, ³ dikiy.s.v@gmail.com, ⁴ m.a.ovdienko@gmail.com

^{1,2,4} ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ)

³ ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ЦАГИ)

Поступила в редакцию 20.03.2018

Аннотация. Работа посвящена экспериментальным исследованиям возможности использовать амортизированные стойки крепления поплавков к фюзеляжу поплавкового гидросамолета для повышения его мореходных характеристик. Была разработана схематическая модель гидросамолета с амортизированным поплавковым шасси и проведены ее испытания в опытовом бассейне в условиях спокойной воды и регулярного волнения. Результаты испытаний подтвердили результаты выполненного ранее расчетного моделирования и доказывают эффективность применения амортизации поплавков для повышения мореходных характеристик поплавковых гидросамолетов.

Ключевые слова: поплавковый гидросамолет; демпфирование колебаний; гидродинамические испытания; опытовый бассейн; мореходность; глиссирование; высота волны.

ВВЕДЕНИЕ

Поплавковые гидросамолеты обладают существенно более низким уровнем мореходных характеристик, т.е. возможности совершать взлет и посадку в условиях волнения определенной высоты, по сравнению с «летающими лодками». В то же время поплавковые гидросамолеты более популярны, т.к. сделаны на базе сухопутного самолета, что делает их более универсальными и изначально более дешевыми. Поэтому задача повышения мореходности поплавковых гидросамолетов является актуальной.

Возможным способом повышения мореходности является установка поплавков на амортизированные опоры. Такой способ предлагал еще Г. Юнкерс в 1926 г. [1], но фактически ни одного известного подобного проекта реализовано не было. На всех существующих поплавковых гидросамолетах поплавки имеют жесткую связь с фюзеляжем.

В работах [1] и [2] с помощью математического моделирования было показано, что использование амортизаторов как элементов крепления поплавков к фюзеляжу поплавкового гидросамолета позволяет снизить колебания и вертикальные перегрузки, действующие на самолет при движении по воде в условиях волнения.

В данной работе была выполнена попытка проверить эти выводы экспериментально. Для этих целей была изготовлена схематичная модель гидросамолета с амортизированными поплавками и проведены испытания в опытовом бассейне.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве прототипа был выбран поплавковый гидросамолет взлетной массой 5100 кг и схемой крепления поплавков, как на самолете Ан-2В. Взлетная скорость была принята равной 90 км/ч, масса одного поплавка 200 кг.

Масштаб модели был выбран 1:5. В результате масса модели составила 40,8 кг и масса каждого поплавок 2,4 кг, взлетная скорость $V_0 = 11$ м/с.

Расчеты показали [2], что наибольшей эффективностью обладает схема с двумя амортизированными стойками на каждом поплавке, имеющими одинаковый ход. К сожалению, для выбранного прототипа такую схему амортизации достаточно трудно реализовать технически. Поэтому было решено использовать только один амортизируемый элемент на каждый поплавок и расположить его в носовой части вблизи центра масс, как показано на рис. 1.

Так как в первую очередь интересовали качественные результаты, то для упрощения модель была сделана без крыла и хвостового оперения (рис. 2). Амортизатор был установлен один на два поплавок, которые жестко связаны между собой. Фюзеляж выполнен схематично. Поплавки имеют несимметричные обводы с плоским внутренним бортом. Ширина каждого поплавок 228 мм, длина 1870 мм. Фотография модели, установленной на штанге буксировочной тележки в опытовом бассейне, представлена на рис. 3. В качестве амортизатора была использована велосипедная вилка для переднего колеса с ходом 140 мм.

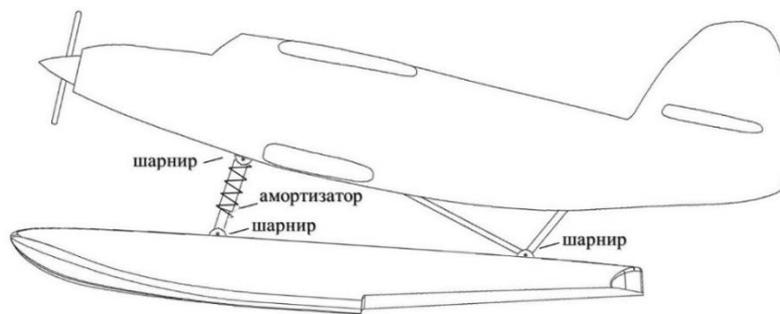


Рис. 1. Схема размещения амортизированных элементов

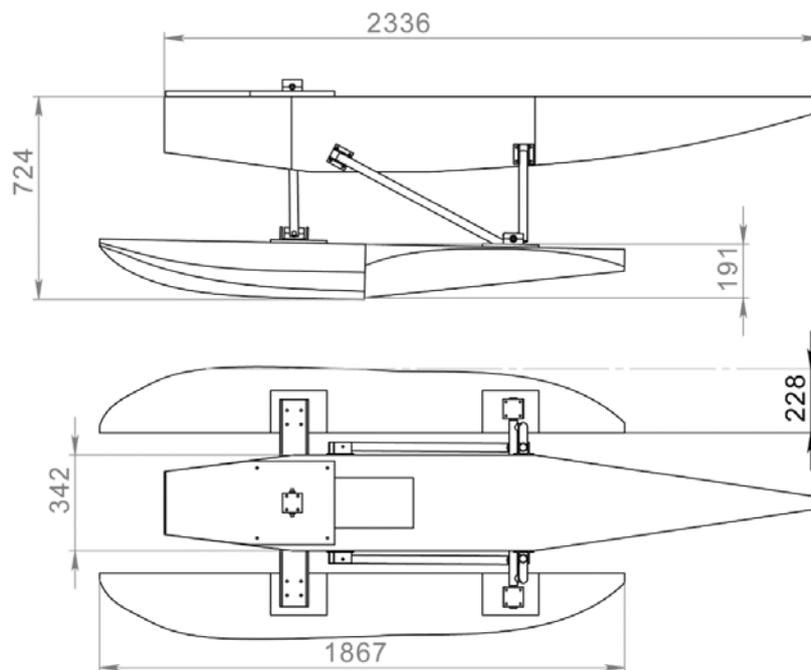


Рис. 2. Эскиз модели для испытаний в опытовом бассейне

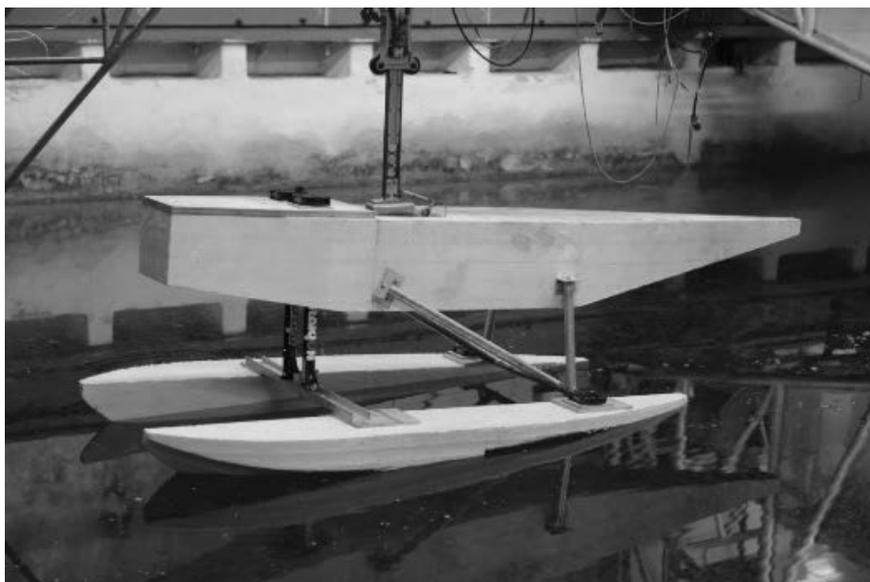


Рис. 3. Фотография модели в опытном бассейне

У выбранного амортизатора имелась возможность менять коэффициент упругости (путем изменения давления воздуха в рабочем цилиндре), и коэффициент демпфирования (путем изменения проходного сечения клапана).

Для определения коэффициента упругости амортизатор был установлен вертикально и нагружался разными весами при разных давлениях в рабочем цилиндре. Так, при давлении 3 атм коэффициент упругости составил $k = 6500$ Н/м, при давлении 4 атм коэффициент упругости составил $k = 7900$ Н/м.

Определение коэффициента демпфирования амортизатора было выполнено следующим образом. Амортизатор устанавливался вертикально, и в определенный момент на него сбрасывался груз массой 10 кг с высоты 15 мм. На подвижной части амортизатора был установлен акселерометр, и выполнялась запись его показаний в процессе сброса груза и последующих колебаний. Пример записи представлен на рис. 4. Исходя из предположения, что колебания носят гармонический характер, был определен коэффициент демпфирования

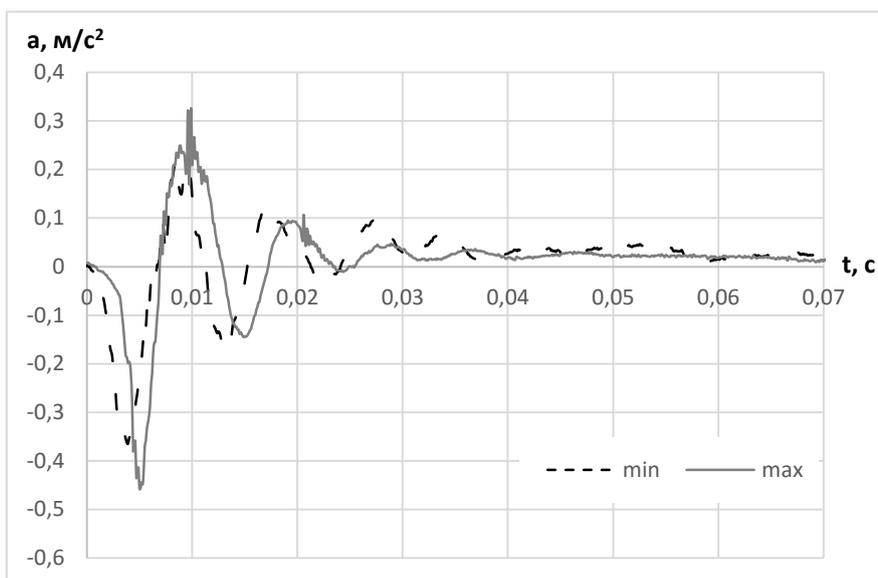


Рис. 4. Пример записи акселерометра при определении коэффициента демпфирования амортизатора

при разных значениях давления в рабочем цилиндре и положениях клапана. Так, при давлении 2 атм при максимально открытом клапане коэффициент демпфирования составил $\beta_d = 30 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$, при закрытом клапане $\beta_d=110 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$. При давлении 4 атм коэффициент составляет $\beta_d=130 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$ и $\beta_d=190 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$ соответственно при максимально открытом и закрытом клапане.

В соответствии с методиками гидродинамических испытаний моделей летательных аппаратов в опытовом бассейне [3–5] модель имела свободу перемещений по вертикали и углу дифферента. Ось шарнира, обеспечивающего вращение по углу дифферента, располагалась в центре масс модели. Углы крена и деферента были нулевыми.

Для моделирования аэродинамической подъемной силы, создаваемой крылом, модель разгружалась через систему блоков. В разрыве троса, соединяющего модель с грузом, крепился резиновый амортизатор для исключения влияния дополнительной инерциальной составляющей. Нагрузка на воду, действующая со стороны модели, определялась следующим выражением:

$$\Delta = \Delta_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \right),$$

где Δ – нагрузка на воду при скорости V , Δ_0 – нагрузка на воду при нулевой скорости, равная весу модели, V_0 – взлетная скорость.

После разгона модель буксировалась с постоянной скоростью в течении не менее 3 с. В процессе испытаний измерялись следующие параметры: сила сопротивления, угол дифферента фюзеляжа, вертикальное перемещение центра масс фюзеляжа, вертикальная перегрузка, действующая на фюзеляж в районе его центра масс, вертикальная перегрузка, действующая на поплавки в районе крепления амортизатора, скорость буксировки, профиль волны, давление в рабочем цилиндре амортизатора.

При мореходных испытаниях с помощью волнопродуктора, представляющего собой качающуюся стенку, формировалась регу-

лярная бегущая волна. Испытания проводились при двух значениях высоты волн 75 мм и 110 мм и постоянной длине 3,5 м. Данная длина волны, равная двум длинам поплавок, была выбрана как наиболее неблагоприятный режим. В процессе испытаний варьировались давление в рабочем цилиндре амортизатора и положения клапана регулировки демпфирования. Также были проведены испытания с заблокированным амортизатором, т.е. с жестким креплением поплавок к фюзеляжу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 5–8 представлены результаты мореходных испытаний при высоте волны 75 мм. Испытания проводились при разных значениях давления в рабочем цилиндре ($p=2$ атм, 3 атм, 4 атм), а также при заблокированном амортизаторе (на рисунках обозначено как «жесткая стойка»).

На рис. 5 представлена зависимость размаха колебаний (удвоенная амплитуда) по углу дифферента фюзеляжа в зависимости от скорости. Можно увидеть, что при использовании амортизации размахи колебаний по углу дифферента снижаются практически в 2 раза. При этом следует отметить, что для каждой скорости движения существует свое оптимальное значение давления в амортизаторе.

На рис. 6 представлена зависимость максимальной избыточной вертикальной перегрузки, действующей на фюзеляж, от скорости движения при разных значениях давления в амортизаторе. Из этих зависимостей видно, что максимальные перегрузки при использовании амортизации снижаются в 1,5 раза.

На рис. 7 показана зависимость среднего за период суммарного гидродинамического сопротивления, действующего на модель, от скорости движения. Результаты показывают, что использование амортизации за счет снижения интенсивности колебаний уменьшает суммарное гидродинамическое сопротивление.

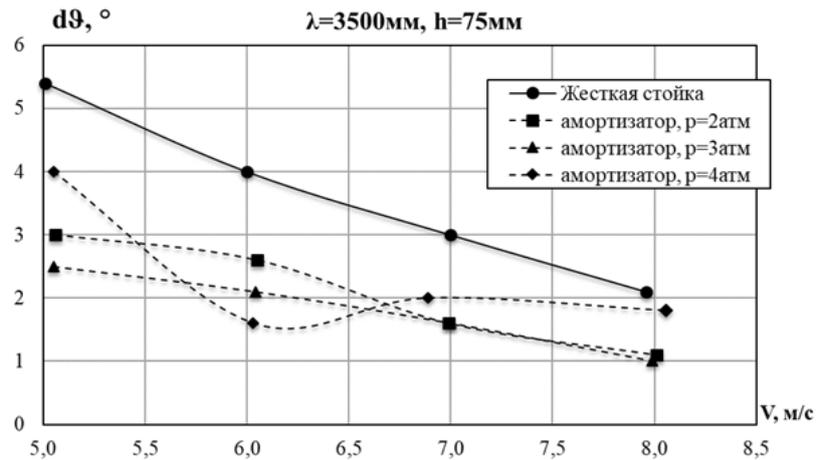


Рис. 5. Зависимость размахов угловых колебаний фюзеляжа по дифференту в зависимости от скорости при различных давлениях в рабочем цилиндре амортизатора и при жестком креплении поплавков ($p=inf$)

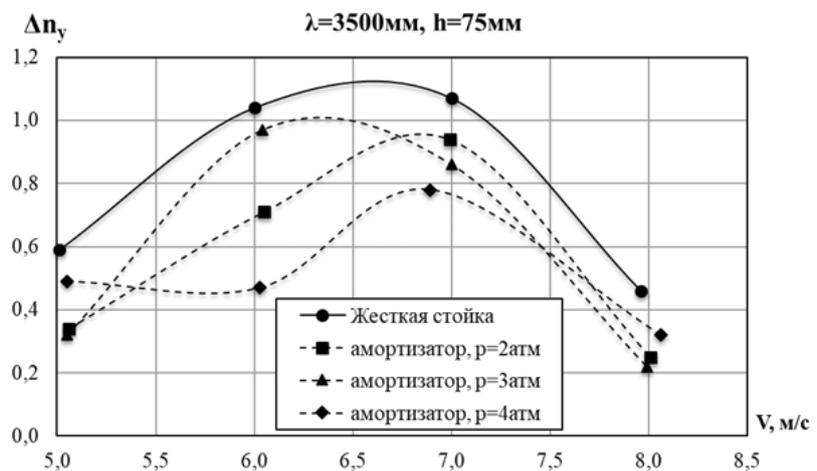


Рис. 6. Зависимость избыточной вертикальной перегрузки, действующей на фюзеляж в зависимости от скорости при различных давлениях в рабочем цилиндре амортизатора и при жестком креплении поплавков ($p=inf$)

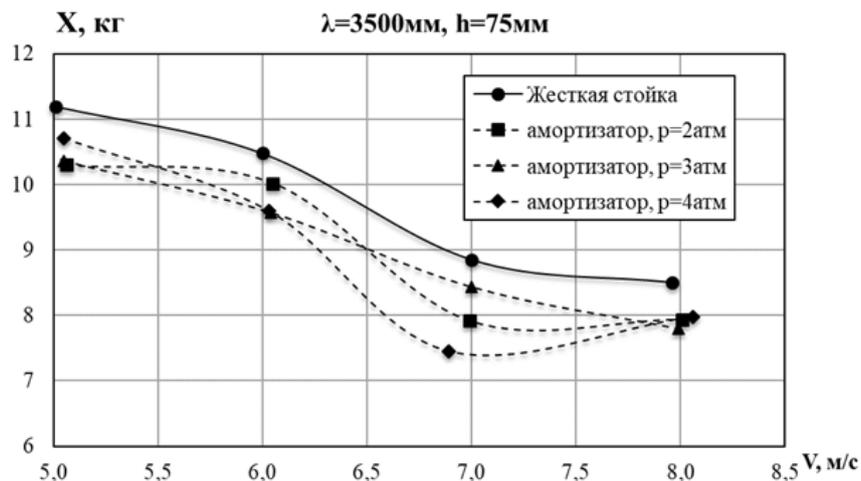


Рис. 7. Зависимость средней за период колебаний гидродинамической силы сопротивления в зависимости от скорости при различных давлениях в рабочем цилиндре амортизатора и при жестком креплении поплавков ($p=inf$)

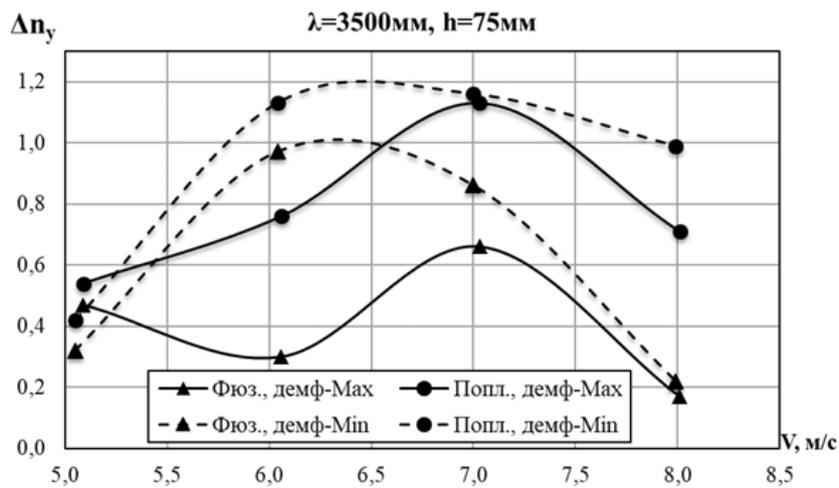


Рис. 8. Зависимость средней за период колебаний гидродинамической силы сопротивления в зависимости от скорости при различных давлениях в рабочем цилиндре амортизатора и при жестком креплении поплавков ($p=inf$)

На рис. 8 представлены зависимости вертикальных избыточных перегрузок, действующих на поплавки и фюзеляж, от скорости при одинаковом давлении в рабочем цилиндре, но разных характеристиках демпфирования амортизатора. Как и следовало ожидать, перегрузки, действующие на поплавки, в несколько раз больше перегрузок, действующих на фюзеляж. При более высоком коэффициенте демпфирования перегрузки снижаются.

Необходимо отметить, что для каждой скорости глиссирования существует свое оптимальное значение коэффициентов упругости и демпфирования амортизационных стоек, что необходимо учитывать при разработке проекта амортизированного поплавкового шасси для реальных гидросамолетов.

Представленные результаты испытаний схематизированной модели поплавкового гидросамолета, оснащенной амортизированными поплавками, подтвердили эффективность применения амортизации для демпфирования колебаний при движении гидросамолета по воде в условиях волнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была разработана и изготовлена схематизированная модель поплавкового гидросамолета, оснащенного амортизатором, в качестве элемента крепления поплавков к фюзеляжу. Амортизатор был установлен в районе центра масс самолета. В хвостовой

части поплавки были установлены на шарнирах.

Были выполнены буксировочные испытания указанной модели в опытовом бассейне в условиях спокойной воды и регулярного волнения. В процессе испытаний, выполненных при разных скоростях движения, варьировались коэффициенты упругости и демпфирования амортизатора. Также были проведены испытания при заблокированном амортизаторе.

Результаты испытаний подтвердили полученные ранее расчетные результаты о возможности использования амортизации поплавков для снижения амплитуд колебаний по углу дифферента и вертикальным перемещениям, а также максимальных вертикальных перегрузок, действующих на самолет.

Полученные результаты в большей мере носят качественный характер, и в дальнейшем исследовании будут продолжены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юнкерс Г. Пат. № 5139. Поплавки для гидросамолетов; Заявл. от 30.04.1928 [G. Junkers, Floats for seaplanes, (in Russian), Patent for invention, SU 5139, 1928.]
2. Расчетное исследование эффективности применения амортизированных и демпфированных стоек крепления поплавкового шасси для увеличения мореходности поплавкового гидросамолета / А. Н. Варюхин [и др.] // Сборник докладов X Международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014», Геленджик, 5-6 сентября, 2014. Ч. 1. С. 54–61. [A. N. Varyukhin, et al., "Seaworthy calculation results of the seaplane model with amortized float elements fastened to the fuselage", (in Rus-

sian), in *Proc. X Int. hydrodynamic conference "Gidroaviasalon-2014"*, Gelendzhik, September 5-6, 2014, Part 1, pp.54-61.]

3. **Improving** seaplane seakeeping through the use of floats with shock absorbers / A. N. Varyukhin [и др.] // *Proc. of 13th Fast Sea Transportation Conference FAST 2015*, Baltimore, USA, 2015. P. 112–117. [A. Varyukhin, "Improving seaplane seakeeping through the use of floats with shock absorbers," in *Proc. of 13th Fast Sea Transportation Conference (FAST 2015)*, Baltimore, USA, 2015, pp. 112-117.]

4. **Гидродинамика** и динамика высокоскоростного движения тел в жидкости / В. Т. Грумондз [и др.]. М.: Наука, 2013. 574 с. [V.T. Grumondz, et al., *Hydrodynamics and dynamics of high-speed vessels in a liquid*, (in Russian). Moscow: Nauka, 2013.]

5. **Горяинов А. А.** Справочник авиаконструктора. Т. 2. Гидромеханика гидросамолета. Москва, 1938. 273 с. [A. A. Gorjainov, *Airplane's reference book. Vol. 2. Hydrodynamics of seaplanes*, (in Russian). Moscow: Central Aerohydrodynamic Institute, 1938.]

6. **Бородай И. К., Нецветаев Ю. А.** Мореходность судов. Л.: Судостроение, 1982. 288 с. [I. K. Boroday and U. A. Necvetaev, *Seakeeping of vessels*, (in Russian). Leningrad: Sudostroenie, 1982.]

ОБ АВТОРАХ

ВАРЮХИН Антон Николаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр «Лаборатории автономных систем» (МФТИ(ГУ), 2005). Иссл. в обл. гидродинамики морских летательных аппаратов, скоростной гидродинамики.

ВЕСЕЛОВ Владимир Владимирович, асп. каф. «Теоретическая и прикладная аэрогидродинамика» (МФТИ(ГУ), 2016). Иссл. в обл. гидродинамики морских летательных аппаратов.

ДИКИЙ Сергей Викторович, инженер отдела 005 «Скоростная гидродинамика» ФГУП «ЦАГИ», скоростная гидродинамика, аэрогидродинамический эксперимент.

ОВДИЕНКО Максим Александрович, асп. каф. «Теоретическая и прикладная аэрогидродинамика» (МФТИ(ГУ), 2012). Иссл. в обл. гидродинамики морских летательных аппаратов.

METADATA

Title: Experimental investigations the seawearness characteristics of the seaplane with amortized floats

Authors: A. N. Varyukhin¹, V. V. Veselov², S. V. Dikiy³, M. A. Ovdienko⁴

Affiliation:

^{1,2,4} Moscow institute of physics and technology state university (MIPT), Russia.

³ Central aerohydrodynamic institute (TSAGI), Russia.

Email: ¹ a.varyukhin@yandex.ru, ² v1690117@outlook.com, ³ dikiy.s.v@gmail.com, ⁴ m.a.ovdienko@gmail.com

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 22, no. 1 (79), pp. 51–57, 2018. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The article is devoted to the experimental investigations of the seaplane model with amortized float elements improving the seaworthiness. The seaworthy tow tank tests results of the seaplane model with amortized float

elements fastened to the fuselage are presented. The experimental validation of the assumptions and computational modeling results demonstrates the seaworthiness improvement of the seaplane due to the floats amortization.

Key words: Float seaplane; vibration dampening; hydrodynamic tests; tow tank; seaworthiness.

About authors:

VARYUKHIN, Anton Nikolayevich, senior researcher of the laboratory of Autonomous systems (MIPT 2005), hydrodynamics of marine aircrafts, high-speed hydrodynamics.

VESELOV, Vladimir Vladimirovich, post-graduate student of the Department "Theoretical and applied hydrodynamics" (MIPT 2016), hydrodynamics of marine aircrafts.

DIKIY, Sergey Viktorovich, engineer of department 005 "High-speed hydrodynamics" of TsAGI. High-speed hydrodynamics.

OVDIENKO, Maxim Aleksandrovich, post-graduate student of the Department "Theoretical and applied hydrodynamics" (MIPT 2012), hydrodynamics of marine aircrafts.