

УДК 629.576

DOI: 10.37890/jwt.vi86.686

Продувка крыла профиля Clark YH 8% вблизи поверхности экрана

Н.Е. Румянцев^{1,2}

ORCID: 0009-0007-4920-7407

В.П. Морозов¹

ORCID: 0009-0000-3196-8020

Е.С. Шишов^{1,2}

ORCID: 0009-0009-3855-7887

Н.С. Гладышев^{1,3}

ORCID: 0009-0008-6108-6596

¹*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия*

²*Центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева., г. Нижний Новгород, Россия*

³*Филиал ПАО «ОАК» - НАЗ «Сокол»*

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик модифицированного профиля Clark YH 8% в условиях экранного эффекта. Модель крыла с удлинением $\lambda=2$ была изготовлена с использованием аддитивной FDM-технологии, что позволило значительно сократить время и стоимость производства по сравнению с традиционными методами.

Испытания проводились в аэродинамической трубе на скорости 27 м/с как вне экрана, так и вблизи экрана на относительной высоте полета $\bar{h}=0,15$. Проанализировано влияние экрана и угла атаки на коэффициенты подъемной силы, сопротивления и аэродинамического качества. Показано, что экранный эффект существенно повышает подъемную силу крыла и его аэродинамическое качество.

Исследование демонстрирует целесообразность применения 3D-печати для быстрого и экономичного исследования моделей на начальных этапах проектирования.

Ключевые слова: экранный эффект, аэродинамические характеристики, профиль Clark YH 8%, FDM-печать, экраноплан.

Wind tunnel testing of the Clark YH 8% profile wing near the ground surface

Nikita E. Rumyantsev^{1,2}

ORCID: 0009-0007-4920-7407

Viktor P. Morozov¹

ORCID: 0009-0000-3196-8020

Egor S. Shishov^{1,2}

ORCID: 0009-0009-3855-7887

Nikita S. Gladyshev^{1,3}

ORCID: 0009-0008-6108-6596

¹*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia*

²*R.E. Alekseev Central Hydrofoil Design Bureau, Nizhny Novgorod, Russia*

³*Branch of PJSC «UAC» - NAZ «Sokol»*

Abstract. The article presents the results of an experimental study of the aerodynamic characteristics of a modified Clark YH 8% profile under conditions of a screen effect. The wing model with an elongation of $\lambda=2$ was manufactured using additive FDM technology, which significantly reduced the production time and cost compared to traditional methods.

The tests were carried out in a wind tunnel at a speed of 27 m/s both outside the screen and near the screen at a relative flight altitude of $h = 0.15$. The influence of the screen and angle of attack on the coefficients of lift, drag, and aerodynamic quality is analyzed. It is shown that the screen effect significantly increases the lifting force of the wing and its aerodynamic quality.

The study demonstrates the feasibility of using 3D printing for fast and cost-effective model research at the initial stages of design.

Keywords: Ground effect, aerodynamic characteristics, Clark YH 8% profile, FDM printing, ekranoplane.

Введение

Современные аэродинамические исследования требуют создания моделей, сочетающих точность геометрии, механическую прочность и минимальную стоимость изготовления. Особую актуальность эта задача приобретает при изучении сложных физических явлений, таких как экранный эффект, где необходимо проводить многочисленные повторения испытаний. Традиционное изготовление металлических моделей, обладающих высокой точностью, часто оказывается чрезмерно дорогостоящим и длительным по времени изготовления, что ограничивает возможности исследователей (особенно для студентов и аспирантов).

В данной статье рассматривается применение аддитивных технологий послойного наплавления филамента (FDM) для быстрого и экономичного прототипирования модели крыла экраноплана. В качестве объекта исследования был выбран модифицированный профиль Clark YH 8%, адаптированный для работы вблизи экранной поверхности. Модель с удлинением $\lambda=2$ была испытана в аэродинамической трубе с целью определения влияния экрана и угла атаки на её аэродинамические характеристики. Более подробно о физико-механических свойствах изделий, изготовленных по технологии 3D-печати описано в учебном пособии [1].

Целью работы является оценка целесообразности использования FDM-печати для первичных аэродинамических исследований, а также экспериментальное изучение особенностей обтекания прямоугольного крыла конечного размаха вблизи экрана. Проведенные испытания демонстрируют потенциал аддитивных технологий для существенного сокращения затрат и сроков проведения исследований.

1. Модель крыла экраноплана

Для крыла экраноплана был выбран авиационный профиль Clark YH 8%, который впоследствии был изменён в зоне хвостовой оконечности. Данное изменение было произведено с целью повышения влияния экрана на подъёмные качества экраноплана. Исходный и изменённый профили представлены на рисунке 1. Координаты исходного профиля были взяты из [2].

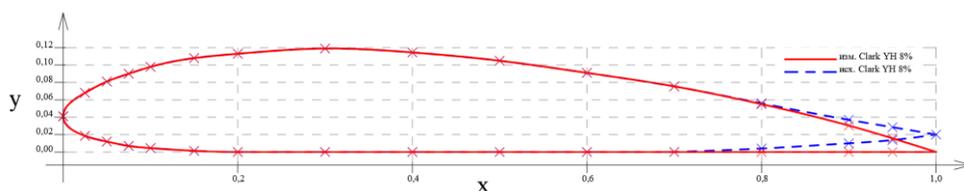


Рис. 1. Исходный (синий) и измененный (красный) профили Clark YH 8%

Координаты исходного и измененного профилей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Координаты профилей Clark YH 8%

Исходный			Измененный		
X	Уверх	Униз	X	Уверх	Униз
0,0	0,0410	0,0410	0,0	0,0410	0,0410
0,025	0,0680	0,0185	0,025	0,0680	0,0185
0,05	0,0810	0,0120	0,05	0,0810	0,0120
0,075	0,0900	0,0070	0,075	0,0900	0,0070
0,1	0,0980	0,0045	0,1	0,0980	0,0045
0,15	0,1080	0,0000	0,15	0,1080	0,0000
0,2	0,1130	0,0000	0,2	0,1130	0,0000
0,3	0,1190	0,0000	0,3	0,1190	0,0000
0,4	0,1145	0,0000	0,4	0,1145	0,0000
0,5	0,1050	0,0000	0,5	0,1050	0,0000
0,6	0,0910	0,0000	0,6	0,0910	0,0000
0,7	0,0755	0,0000	0,7	0,0755	0,0000
0,8	0,0560	0,0040	0,8	0,0550	0,0000
0,9	0,0370	0,0100	0,9	0,0304	0,0000
0,95	0,0285	0,0137	0,95	0,0172	0,0000
1,0	0,0210	0,0200	1,0	0,0010	0,0000

Модель крыла имеет удлинение $\lambda=2$, где размах крыла модели $l=500$ мм, а хорда составляет $b=250$ мм. Модель крыла изготовлена в 1:40 масштабе. На рисунке 2 представлена 3D-модель крыла с креплениями, а на 3 крыло в аэродинамической трубе.

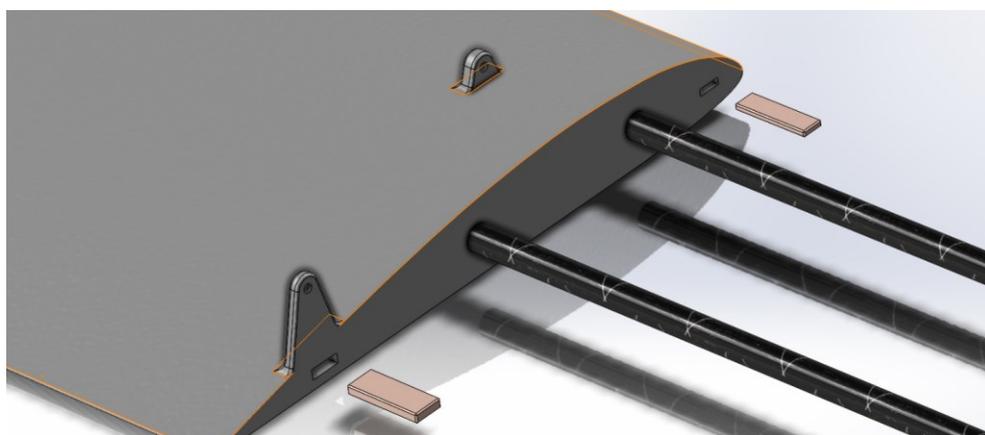


Рис. 2. 3D-модель крыла с поперечными лонжеронами и шпонками



Рис. 3. Крыло в аэродинамической трубе

Параметры крыла выбирались исходя из глобальной задачи (проектирование оптимального экраноплана), более подробно особенности выбора типа крыла, размерений и особенности конструкции описаны в [3] и [4].

2. Особенности выбора типа крыла и его продувки в аэродинамической трубе

Крыло продувалось в малой аэродинамической трубе (диаметр трубы составляет около 700 мм). Труба создает напор с помощью толкающего винта, что создаёт дополнительную турбулентность, т.е. более предпочтительным является использование винта тянущего типа, т.к. он создаёт более ламинарный поток. Спрямляющие решётки полноценно не смогли стабилизировать поток.

Одна из проблем, которая возникает при турбулентном типе истечения – замер скорости потока. В различных точках измерительного сечения скорость потока неодинакова и может принимать значения, близкие к нулю, что не соответствует действительной средней скорости потока.

Переход пограничного слоя с ламинарного на турбулентный существенно меняет характеристики крыла – его сопротивление и подъёмную силу, что часто приводит к завышению сопротивления и занижению подъёмной силы.

Схема трубы, в которой производилась продувка крыла, представлена на рисунке 4. Более подробную информацию о аэродинамической трубе и методиках продувки можно узнать в источнике [5].

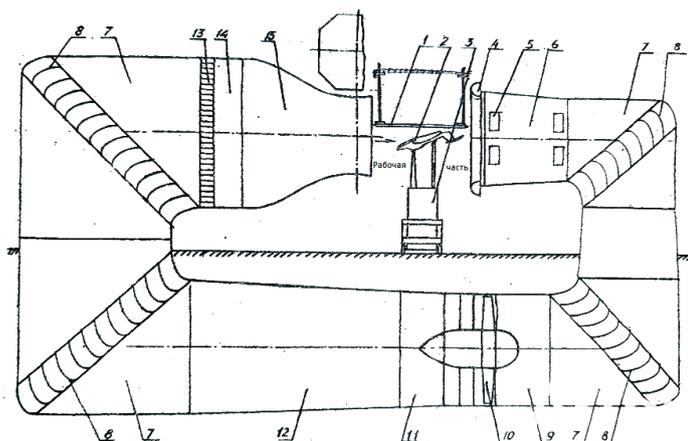


Рис. 4. Схема аэродинамической трубы

На рисунке 4 имеются следующие обозначения: 1 – плоская металлическая пластина; 2 – исследуемая модель; 3 – аэродинамические весы; 4 – профилированный приемник; 5 - специальные выпускные окна; 6 – коллектор; 7 – поворотные колена; 8 – направляющие лопатки, которые представляют собой тонколистовые металлические пластины, имеющие в поперечном сечении одинаковый выпукло-вогнутый профиль; 9 – переходник с восьмиугольного сечения в круглое; 10 – осевой вентилятор; 11 – выходной переходник с круглого сечения в восьмиугольное; 12 – обратный канал; 13 – форкамера; 14 - спрямляющие решетки (хонейкомб); 15 – сопло.

Как говорилось выше, крыло имеет удлинение $\lambda=2$, исходя из статьи [6], данное решение не является оптимальным относительно аэродинамики крыла, но в общей задаче одним из наиболее оптимальных.

В пользу крыльев с удлинением $\lambda=2\div3$ говорит опыт ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева в сфере экранопланов, который описан в источниках [7] и [8].

Исследования в источнике [6] проводились с прямоугольными крыльями профиля ЦАГИ-876. Крылья имели односторонние тонкие концевые шайбы, направленные вниз в сторону экранирующей поверхности, высотой $\bar{H} = h/b$.

На рисунке 5 представлены виды крыльев и способ продувки крыльев вблизи экрана. На рисунке 6 представлена зависимость производной подъемной силы $c_y^{\bar{h}}$ от удлинения крыла. Рисунки 5-8 заимствованы из источника [6].

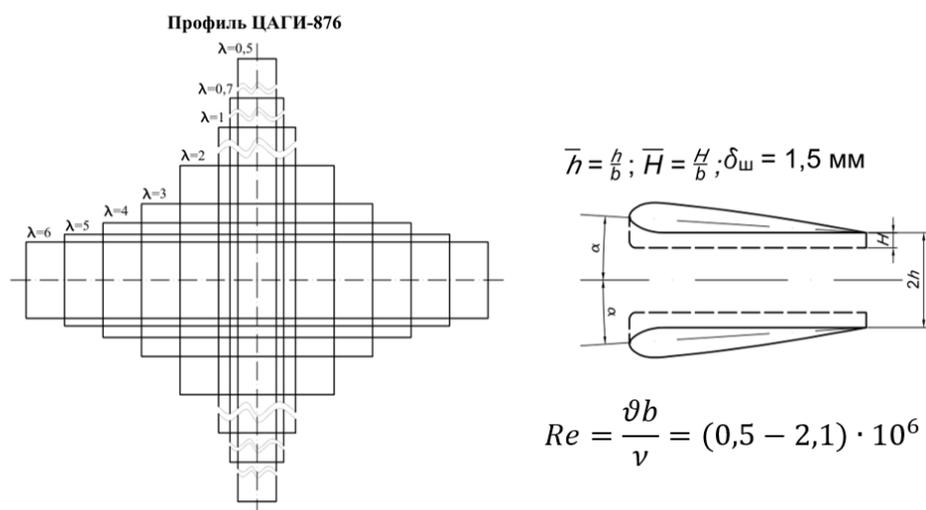


Рис. 5. Виды крыльев и способ продувки крыльев вблизи экрана

Значение производной $c_y^{\bar{h}}$ увеличивается по модулю с уменьшением высоты и ростом угла атаки α , причем сильнее у крыла с большим удлинением. Оно возрастает с увеличением удлинения до $\lambda \approx 3$, а при больших удлинениях увеличение продолжается слабее и $c_y^{\bar{h}} \rightarrow 1,1$ ($\bar{h} = 0,2$), где \bar{h} - относительная высота полета, которая определяется путём деления высоты полёта (расстояние от самой нижней точки крыла до поверхности экрана) на хорду крыла.

Величина $c_y^{\bar{h}}$ является ключевой в уравнениях продольного движения летательного аппарата. Она напрямую влияет на запас продольной устойчивости и демпфирование колебаний по тангажу. Чем больше модуль этого коэффициента (т.е. чем он отрицательнее), тем лучше демпфирование и выше устойчивость.

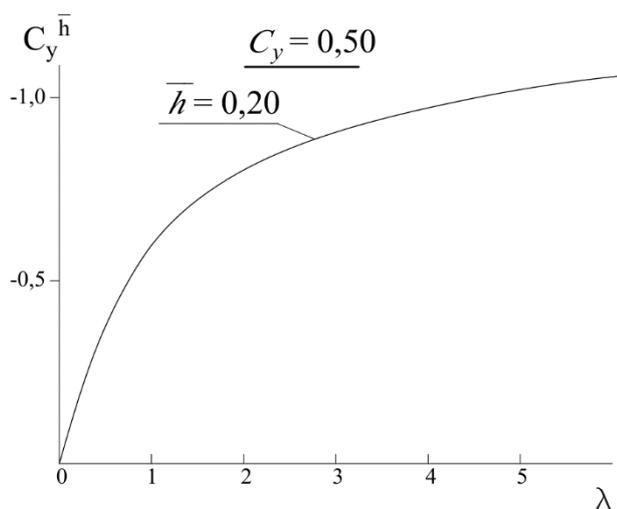


Рис. 6. Зависимость производной подъемной силы $C_y^{\bar{h}}$ от удлинения крыла

Малое удлинение негативно влияет на безопасность полёта – по графику (рисунок 7) видно, что при изменении угла атаки у крыльев с удлинением 1 и 5 на одинаковое значение, происходит разное изменение производной подъемной силы, т.е. в случае стечения воедино неблагоприятных факторов (сильный поток ветра и др.) это может привести к аварии экранопланов с крыльями малого удлинения. Экранопланы с крыльями малого удлинения также склонны к раскачке.

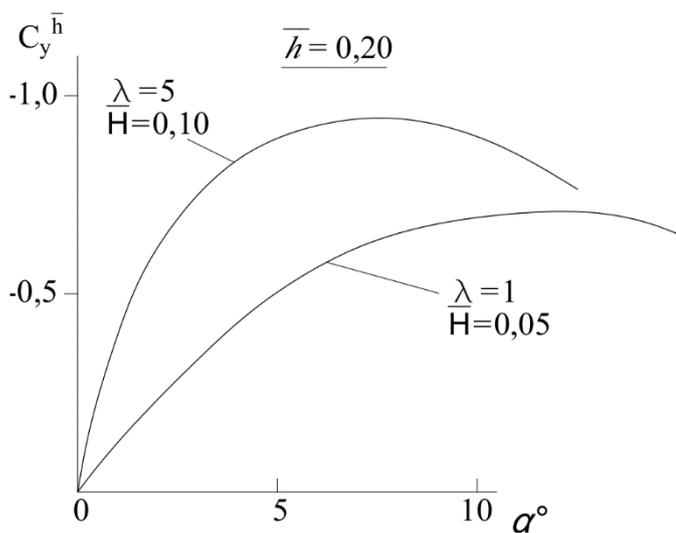


Рис. 7. Влияние угла атаки и удлинения крыла на коэффициент подъемной силы от относительной высоты полёта $\bar{h} = 0,2$

Но при этом малое удлинение ухудшает аэродинамическое качество аппарата, а значит и его экономику, т.е. аппарат с чрезмерно малым удлинением может быть нецелесообразен. На рисунке 8 показано влияние удлинения на аэродинамическое качество крыла.

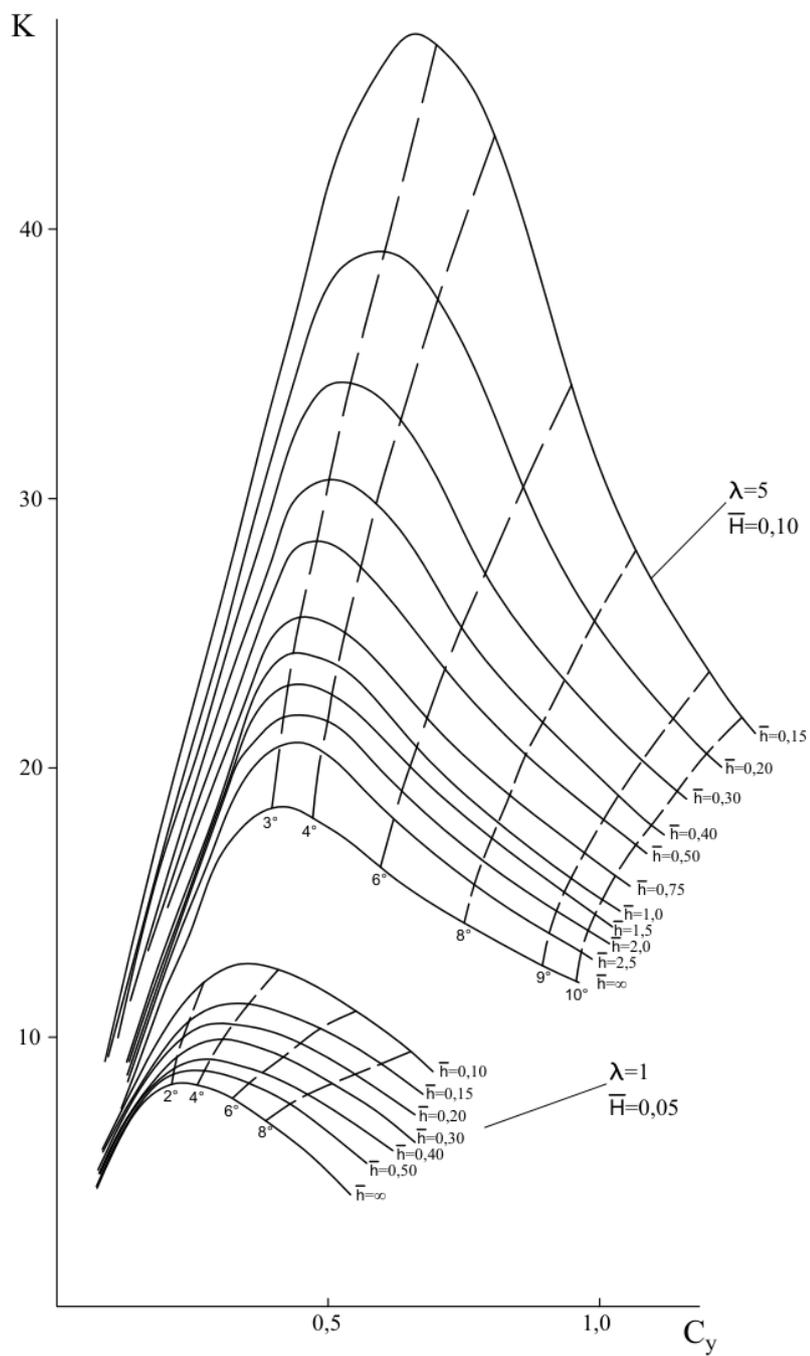


Рис. 8. Повышение аэродинамическое качества крыла в зависимости от удлинения крыла и относительной высоты полёта

3. Результаты и обсуждение

На рисунках 9-11 представлены обобщённые кривые продувки крыла на скорости 27 м/с как вне экрана, так и на высоте 0,15 хорды крыла ($\bar{h} = 0,15$). Ось x – углы атаки в градусах, ось y – коэффициенты сопротивления, подъёмной силы, аэродинамического качества. Ввиду выявленной повышенной турбулентности потока в рабочей части трубы, полученные данные следует рассматривать как оценочные, отражающие в большей степени качественные закономерности, нежели абсолютные величины.

Скорость потока измеряли несколькими способами для взаимной проверки данных: с помощью встроенного в аэродинамическую трубу жидкостного манометра и пары электрических анемометров. Наличие нескольких измерительных приборов позволяло повысить надёжность результатов.

Аэродинамические коэффициенты определялись путём пересчёта. При продувке крыла оператор получал значения в вольтах. Имея коэффициенты пересчёта (датчики сил были предварительно оттарированы), которые определялись перед экспериментами, происходил пересчёт полученных значений в силы. После обработки полученных результатов, происходил вторичный пересчёт, только уже с сил на коэффициенты сопротивления и подъёмной силы. Данная форма записи результатов (в коэффициентах) является более предпочтительной, т.к. является универсальной для всех масштабов крыла.

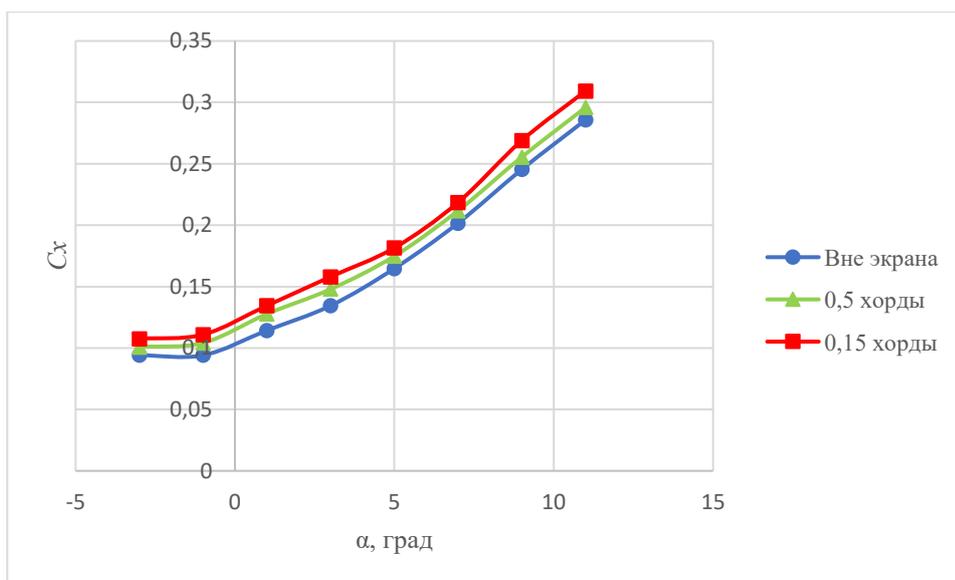


Рис. 9. Кривые зависимости коэффициента сопротивления от относительной высоты полёта и угла атаки

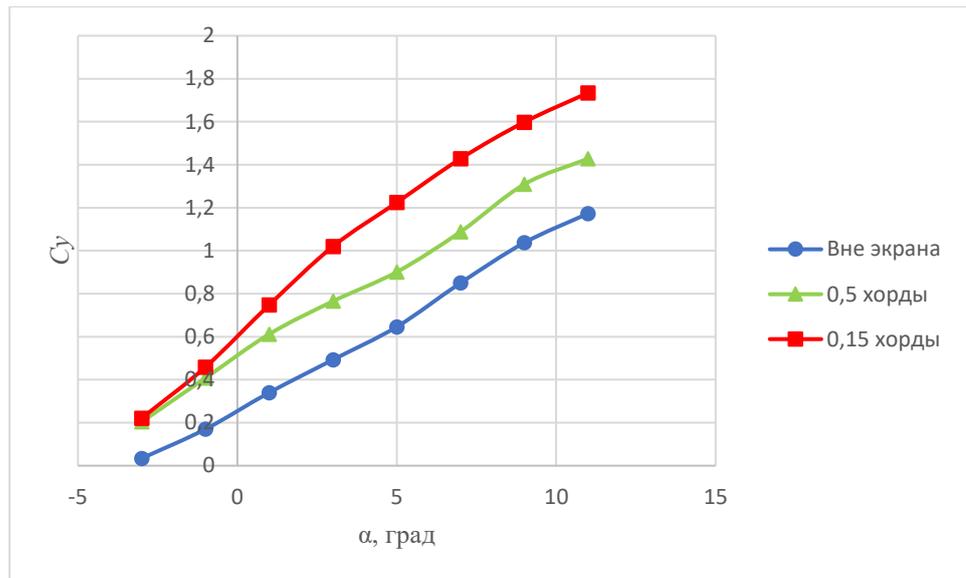


Рис. 10. Кривые зависимости коэффициента подъемной силы от относительной высоты полёта и угла атаки

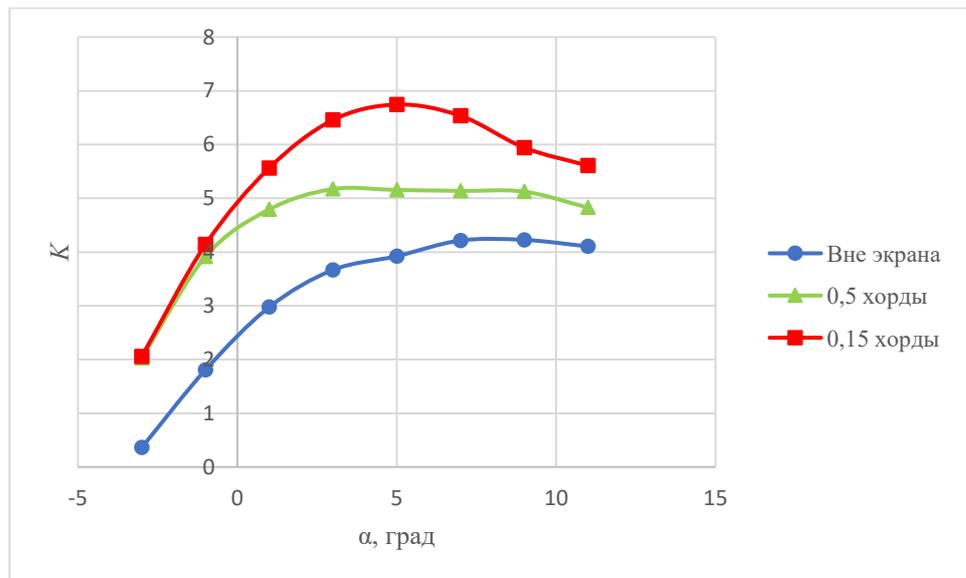


Рис. 11. Кривые зависимости аэродинамического качества от относительной высоты полёта и угла атаки

На рисунках 12-16 представлены графики с относительными значениями, т.е. где ось x – значения крыла вне экрана, а все что выше или ниже данной оси (по оси y) – отличие в % значениях.

Относительные величины считались по формуле процентного прироста:

$$Cx = \frac{Cx_i - Cx_{вне\ экр}}{Cx_{вне\ экр}} \cdot 100\%$$

где C_x – значение прироста в %, C_{xi} – значение в исследуемой точке (на определённой высоте в зоне экранного эффекта при определённых условиях), $C_{x \text{ вне экр}}$ – значения, полученные при аналогичных условиях, что и в C_{xi} , но вне экрана.

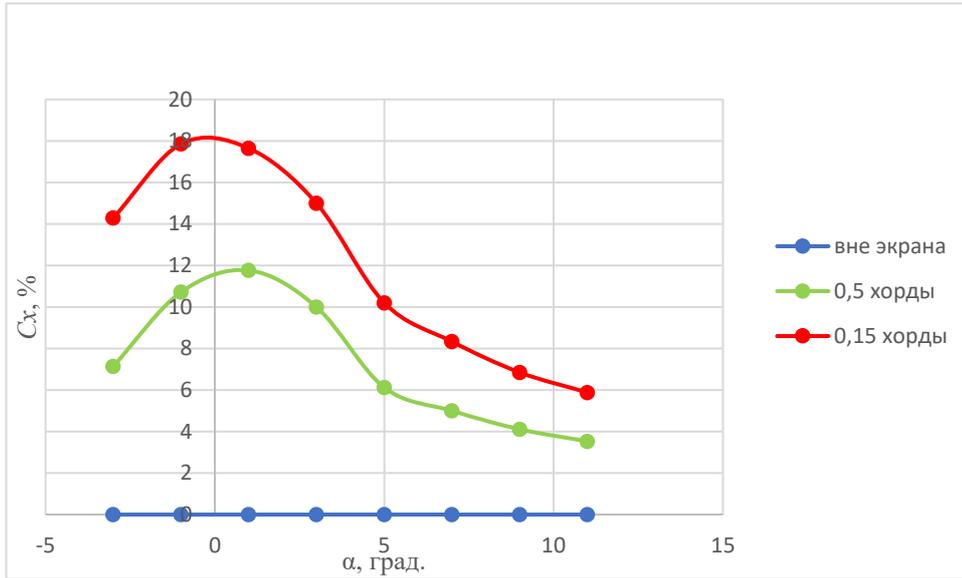


Рис. 12. Кривые зависимости коэффициента сопротивления от относительной высоты полёта и угла атаки по отношению к значениям крыла вне экрана

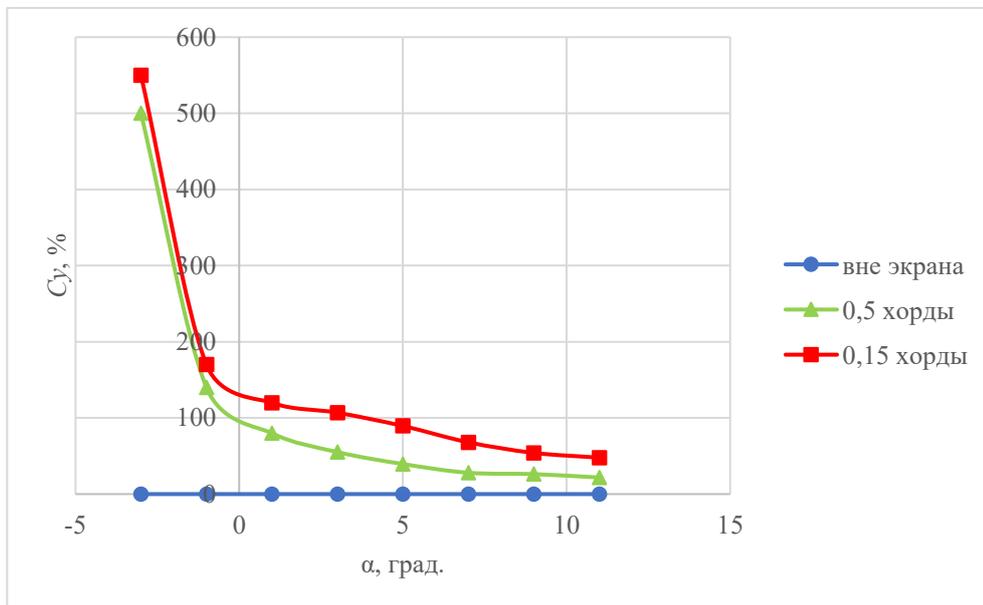


Рис. 13. Кривые зависимости коэффициента подъемной силы от относительной высоты полёта и угла атаки по отношению к значениям крыла вне экрана

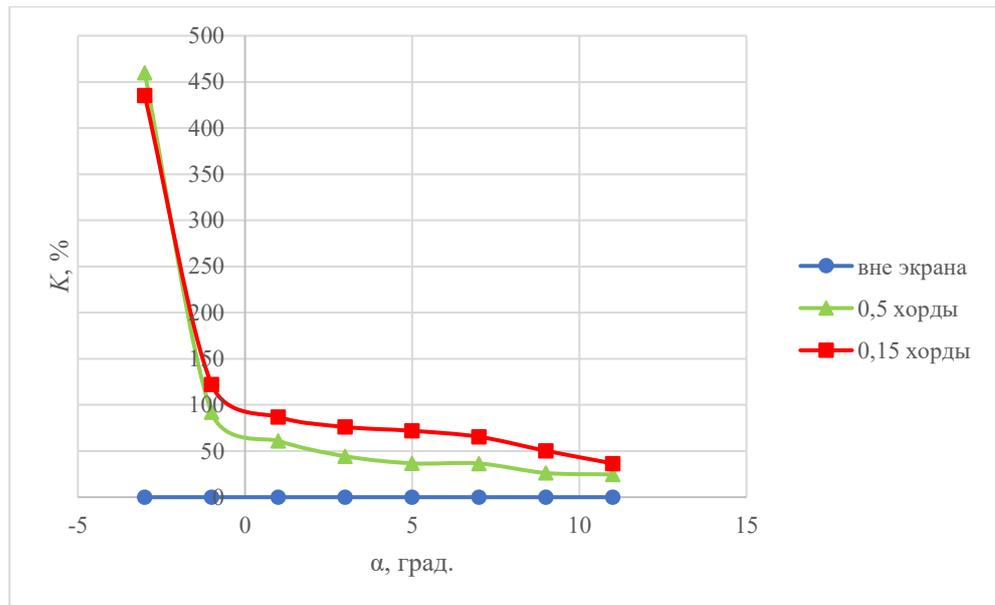


Рис. 14. Кривые зависимости аэродинамического качества от относительной высоты полёта и угла атаки по отношению к значениям крыла вне экрана

Ниже представлены графики, где отдельно отображена зона до 150% для кривых коэффициентов подъёмной силы и аэродинамического качества.

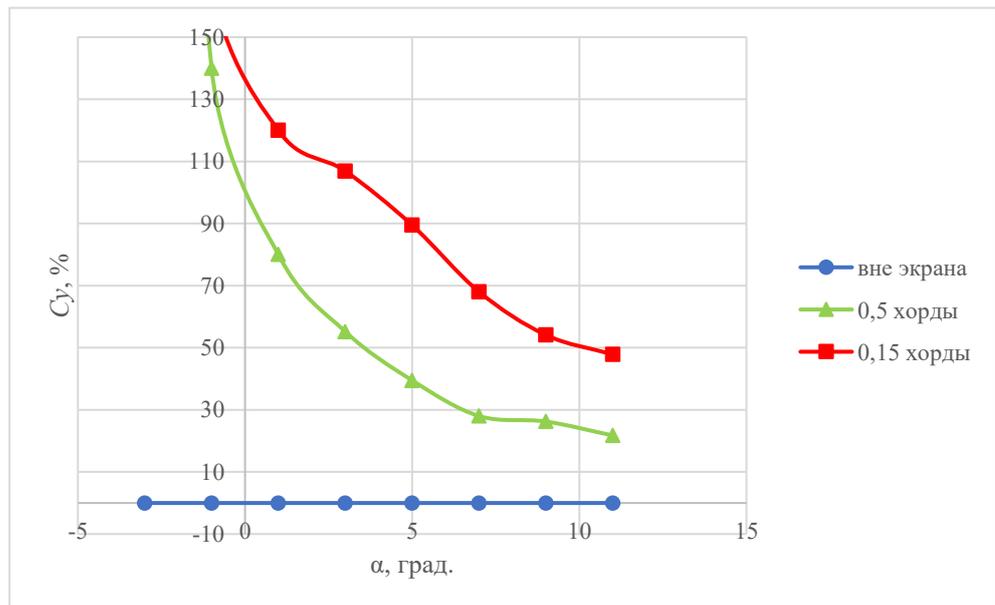


Рис. 15. Кривые зависимости коэффициента подъёмной силы от относительной высоты полёта и угла атаки по отношению к значениям крыла вне экрана, ограниченные областью до 150%

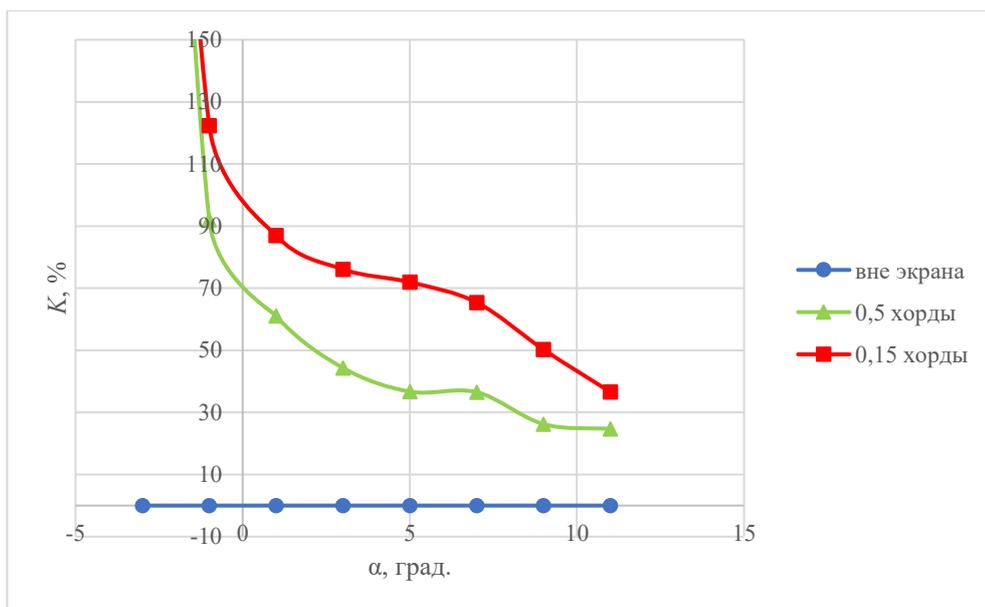


Рис. 16. Кривые зависимости аэродинамического качества от относительной высоты полёта и угла атаки по отношению к значениям крыла вне экрана, ограниченные областью до 150%

Необходимо отметить, что крыло продувалось без концевых шайб, которые повышают подъёмную силу крыла и аэродинамическое качество. Данному исследованию будет посвящена следующая статья.

Авторы из источника [9] делают схожие выводы и влиянии экрана на аэродинамику экраноплана.

Заключение

Изготовленная по технологии FDM-печати модель *крыла* с профилем Clark YH 8% показала свою пригодность для проведения первичных аэродинамических исследований.

Результаты исследований подтверждают, что данный метод прототипирования позволяет сократить время и стоимость изготовления моделей по сравнению с традиционными методами.

Экспериментальные данные подтвердили существенное влияние экранного эффекта на аэродинамические характеристики крыла. Было зафиксировано изменение коэффициентов подъемной силы и сопротивления, а также аэродинамического качества при полете на малой относительной высоте ($\bar{h} = 0,15$) по сравнению с продувкой вне влияния экранной поверхности.

Результаты продувки свидетельствуют о том, что при приближении к экранной поверхности наблюдается рост коэффициента подъемной силы крыла при незначительном изменении сопротивления, что ведёт к повышению аэродинамического качества. Удлинение крыла оказывает значительное влияние на аэродинамическое качество аппарата

Полученные результаты являются первым этапом и демонстрируют перспективность применения аддитивных технологий для быстрой проверки теоретических гипотез и оптимизации геометрии на ранних стадиях проектирования. В рамках дальнейших исследований планируется изучение влияния концевых шайб на характеристики крыла вблизи экрана, а также испытания моделей с большим удлинением для комплексной оптимизации аэродинамических параметров проектируемого аппарата.

Целесообразность оснащения крыльев концевыми шайбами отражена в отчете ЦАГИ [10], где представлены экранопланы различных конструкций. Использование концевых шайб базируется на обобщении мирового инженерного опыта.

Список литературы

1. Шкуро А. Е. Технологии и материалы 3D-печати / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. — 98 с.
2. Clark YH 8%. — Текст : электронный // Airfoiltools.
URL: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il> (дата обращения: 10.11.2025).
3. Морозов В. П. Проектирование скоростных судов с динамическими принципами поддержания. Основы проектирования экранопланов : учебное пособие / В. П. Морозов, П. Л. Спехов. — Нижний Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2024. — 134 с.
4. Февральских А. И. Разработка методики проектирования аэрогидродинамической компоновки амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой на основе численного моделирования: дис. ... канд. техн. наук : 05.08.01 ; 05.08.03 / А. И. Февральских. — Нижний Новгород, 2017. — 175 с.
5. Болотин А. А. Изучение аэродинамических характеристик модели экраноплана / А. А. Болотин, А. Н. Попов, В. Ф. Чеботаев. — Нижний Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т, 2001. — 18 с.
6. Мусатов Р. А. Особенности влияния удлинения прямоугольных крыльев на аэродинамические характеристики вблизи экрана / Р. А. Мусатов. — Текст : непосредственный // Сборник докладов IV научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2002». — 2002. — С. 273—280.
7. Кирилловых В. Н. История ЦКБ по судам на подводных крыльях им. Р. Е. Алексеева. Том 1. Ростислав Евгеньевич Алексеев в истории создания ЦКБ по судам на подводных крыльях / В. Н. Кирилловых, Т. Р. Алексеева, Ю. П. Чернигин. — Нижний Новгород : АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» : Кварц, 2016. — 336 с.
8. Кирилловых В. Н. История ЦКБ по судам на подводных крыльях им. Р. Е. Алексеева. Том 2. Боевые экранопланы конструктора Алексеева / В. Н. Кирилловых, А. А. Беляев, О. В. Салахова. — Нижний Новгород : АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» : Кварц, 2021. — 302 с.
9. Wang H. Computational Aerodynamics and Flight Stability of Wing-In-Ground (WIG) Craft / H. Wang, C. J. Teo, B. C. Khoo, C. J. Goh. — Текст : электронный // ScienceDirect. — Elsevier, 2013. — С. 15—24.
10. Ильин В. Е. Экранопланы / В. Е. Ильин. — Текст : непосредственный // Новости зарубежной науки и техники. Техническая информация. Серия: авиационная и ракетная техника / Центр. аэрогидродинам. ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского. — 2010. — № 4-5. — 82 с.

References

1. Shkuro A. E. Technologies and materials of 3D printing / A. E. Shkuro, P. S. Krivonogov. — Yekaterinburg : Ural State Forestry Engineering University, 2017. — 98 p.
2. Clark YH 8%. — Text : electronic // Airfoiltools. —
URL: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il> (accessed: 10.11.2025).
3. Morozov V. P. Design of high-speed vessels with dynamic principles of maintenance. Fundamentals of ekranoplane design : a textbook / V. P. Morozov, P. L. Spekhov. — Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, 2024. — 134 p.
4. Fevral'skikh A. I. Development of a methodology for designing the aerohydrodynamic layout of an amphibious hovercraft with aerodynamic unloading based on numerical modeling : PhD thesis : 05.08.01 ; 05.08.03 / A. I. Fevral'skikh. — Nizhny Novgorod, 2017. — 175 p.
5. Bolotin A. A. The study of aerodynamic characteristics of an ekranoplane model / A. A. Bolotin, A. N. Popov, V. F. Chebotaev. — Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State Technical University, 2001. — 18 p.
6. Musatov R. A. Features of the Influence of the Extension of Rectangular Wings on Aerodynamic Characteristics Near the Screen / R. A. Musatov // Collection of Papers from the IV Scientific Conference on Hydroaviation, Hydroaviasalon-2002. — 2002. — Pp. 273—280.
7. Kirillov V. N. The history of the R. E. Alekseev Hydrofoil Design Bureau. Volume 1. Rostislav Evgenievich Alekseev in the history of the creation of the Central Design Bureau for Hydrofoil

- vessels / V. N. Kirillov, T. R. Alekseeva, Yu. P. Chernigov. — Nizhny Novgorod : JSC Central Design Bureau for SEC named after R. E. Alekseev ; Quartz, 2016. — 336 p.
8. Kirillov V. N. The history of the Central Design Bureau for hydrofoils named after R. E. Alekseev. Volume 2. Combat ekranoplanes designed by Alekseev / V. N. Kirillov, A. A. Belyaev, O. V. Salakhova. — Nizhny Novgorod : JSC Central Design Bureau for SEC named after R. E. Alekseev ; Quartz, 2021. — 302 p.
 9. Wang H. Computational Aerodynamics and Flight Stability of Wing-In-Ground (WIG) Craft / H. Wang, C. J. Teo, B. C. Khoo, C. J. Goh. — Text : electronic // ScienceDirect. — Elsevier, 2013. — Pp. 15—24.
 10. Ilyin V. E. Ekranoplans / V. E. Ilyin. — Text : direct // News of foreign science and technology. Technical information. Series: aviation and rocket technology / Central Aerohydrodynamic Institute named after prof. N. E. Zhukovsky.— 2010 — No. 4-5.— 82 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Румянцев Никита Евгеньевич, аспирант кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева), 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24к1, инженер-конструктор 3 категории, центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева, 603003, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Свободы, д. 51, e-mail: rmikita00@gmail.com

Nikita E. Rumyantsev, postgraduate student at the Department of «Shipbuilding and Aircraft Engineering», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), 603155, Nizhny Novgorod, Minina St., 24 bldg. 1, Category 3 Design Engineer, R.E. Alekseev Central Hydrofoil Design Bureau, 603003, Nizhny Novgorod, Svobody St., 51, e-mail: rmikita00@gmail.com

Морозов Виктор Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева), 603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 24к1, e-mail: vpmorozovnn@mail.ru

Victor P. Morozov, Ph.D. (Eng), Assistant Professor at the Department of «Shipbuilding and Aircraft Engineering», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), 603155, Nizhny Novgorod, Minina St., 24 bldg. 1, e-mail: vpmorozovnn@mail.ru

Шишов Егор Сергеевич, аспирант, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева), 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24к1, центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях им. Р.Е. Алексеева, 603003, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Свободы, д. 51, email: egor370mv@gmail.com

Egor S. Shishov, postgraduate student, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), 603155, Nizhny Novgorod, Minina St., 24 bldg. 1, Category 3 Design Engineer, R.E. Alekseev Central Hydrofoil Design Bureau, 603003, Nizhny Novgorod, Svobody St., 51, e-mail: egor370mv@gmail.com

Гладышев Никита Сергеевич, аспирант кафедры «Кораблестроение и авиационная техника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 603155, Нижний Новгород (ФГБОУ ВО НГТУ им. Р.Е. Алексеева), ул. Минина, 24к1, инженер-конструктор, Филиал ПАО «ОАК» - НАЗ «Сокол», 603035, г. Нижний Новгород, ул. Чаадаева, 1, e-mail: mr.gladnik@yandex.ru

Nikita S. Gladyshev, postgraduate student at the Department of «Shipbuilding and Aircraft Engineering», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (NSTU n.a. R.E. Alekseev), 603155, Nizhny Novgorod, Minina St., 24 bldg. 1, Design Engineer, Branch of PJSC «UAC» - NAZ «Sokol», Nizhny Novgorod, Chaadaeva St., 1, e-mail: mr.gladnik@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2025; принята к публикации 19.02.2026; опубликована онлайн 20.03.2026. Received 18.06.2025; published online 20.03.2026.