

УДК 629.123

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-
КОНСТРУКТИВНОГО ТИПА ТЯЖЕЛОГО ПАССАЖИРСКОГО ЭКРАНОПЛАНА****Лучков Андрей Николаевич¹**, инженер-конструктор*e-mail:* a.luchok.n@gmail.com**Чебан Егор Юрьевич²**, доцент, доктор технических наук, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов*e-mail:* egor.cheban.2@gmail.com¹ Национальный центр вертолетостроения им. М. Л. Миля и Н. И. Камова, Москва, Россия² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Одной из важнейших задач при создании тяжелых пассажирских экранопланов является автоматизация их проектирования в целях сокращения расходов ресурсов на их создание. В работе представлена разработанная на основании ранее полученных авторами эмпирических зависимостей, программа расчета оптимального архитектурно-конструктивного типа тяжелого пассажирского экраноплана на этапе исследовательского проектирования. Программа позволяет автоматизировать расчеты аэродинамических характеристик экраноплана (коэффициент подъемной силы, силы сопротивления, момента тангажа и аэродинамическое качество), а также основных проектных элементов (масса топлива, нагрузка на крыло, тяговооруженность). Кроме того, разработанная программа позволяет определять оптимальный вариант тяжелого пассажирского экраноплана, который должен отвечать требованиям наименьшей стоимости производства и наибольшей транспортной и топливной эффективности при его эксплуатации.

Ключевые слова: экраноплан, проектирование, автоматизация процессов проектирования, аэродинамические характеристики экраноплана, архитектурно-конструктивный тип, проектные элементы, эффективность, стоимость.

**DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR THE FORMATION OF AN
ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIVE TYPE OF HEAVY PASSENGER «WIG
CRAFT»****Luchkov Andrey Nikolaevich¹**, Design Engineer*e-mail:* a.luchok.n@gmail.com**Cheban Egor Yurievich²**, Assistant Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships*e-mail:* egor.cheban.2@gmail.com¹ M. L. Mil and N. I. Kamov National Helicopter Building Center, Moscow, Russia² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the most important tasks for heavy passenger WIG craft is the automation of their design in order to reduce the cost of resources for their creation. In this paper presents a program for calculating the optimal architectural and structural type of a heavy passenger WIG craft at the stage of research design, developed based on empirical dependencies previously obtained by the authors. The program allows you to automate the calculations of the aerodynamic characteristics of a WIG craft (lift coefficient, drag force, pitching moment and lift-to-drag ratio), as well as the main design elements (fuel mass, wing load, thrust-to-weight ratio). In addition, the developed program makes it possible to determine the optimal version of a heavy passenger WIG craft, which must meet the requirements of the lowest production cost and the highest transport and fuel efficiency during its operation.

Keywords: wing-in-ground-effect (WIG) craft, design, automation of design processes, WIG craft's aerodynamic characteristics, architectural and structural type, design elements, efficiency, cost.

Тяжелые пассажирские экранопланы являются перспективным транспортным средством за счет более высоких аэродинамических характеристик при полете «на экране» на больших межконтинентальных расстояниях при более низких эксплуатационных затратах. Одной из наиболее актуальных проблем проектирования экранопланов является создание такого вида транспорта, который одновременно бы обладал высокими аэродинамическими характеристиками, позволял обеспечить конкурентоспособную топливную и транспортную эффективность, а также высокие характеристики устойчивости при полете в зоне действия эффекта экрана, обеспечивающую безопасность полета без введения специальных балансирующих систем.

Решение этих задач при проектировании требует использование высокого уровня автоматизации всего процесса проектирования для сокращения расходов на их создание. Автоматизация должна затрагивать все этапы проектирования, начиная с этапов исследовательского проектирования и зачисления производством.

На основе результатов численного моделирования и последующей систематизации и обработки результатов численных экспериментов с использованием методов математической статистики, авторами были получены формулы/зависимости следующих характеристик тяжелого пассажирского экраноплана [1 – 7]:

- для расчетов поправочных коэффициентов k_p , расширяющие границ применимости формулы (5) при расчетах коэффициента индуктивного сопротивления на относительных высотах $\bar{h} < 0,2$ для крыльев с шайбами;

- для расчета коэффициента $K(\bar{h})$ и поправочных коэффициентов k_p соответственно, дающие возможность рассчитывать индуктивное сопротивление составных крыльев в диапазоне относительных высот \bar{h} от 1 до 0,025;

- для расчета изменения значения критического угла атаки $\Delta\alpha_{кр}$ по мере приближения к поверхности земли, расширяющую границы применимости базовой формулы метода Амплитова для расчета изменения коэффициента подъемной силы при движении крыла у поверхности земли на относительных высотах $\bar{h} < 0,5$;

- для учета изменения максимального значения коэффициента подъемной силы $C_{y \max кр}$ при движении у поверхности земли, расширяющую границы применимости базовой формулы метода Амплитова во всем эксплуатационном диапазоне относительных высот \bar{h} .

В результате была усовершенствована методика расчета аэродинамических характеристик крыльев экранопланов, а на ее основе - разработана программа, позволяющая рассчитывать оптимальный архитектурно-конструктивный тип тяжелых



пассажирских экранопланов, одновременно отвечающим требованиям высокой эксплуатационной эффективности и наименьшей стоимости постройки судна.

Программа состоит из 7 модулей в которых производится задание исходных данных и расчет проектных элементов:

- «Атмосферные условия»;
- «Расчет коэффициента подъемной силы C_y »;
- «Расчет коэффициента силы сопротивления C_x »;
- «Расчет коэффициента момента тангажа m_z »;
- «Расчет аэродинамического качества K »
- «Расчет проектных элементов (рисунок 1)»;
- «Расчет параметров эффективности (рисунок 2)».

Программа была разработана в системе Microsoft Office Excel 2016.

Разработанная программа позволяет получать следующие характеристики тяжелых пассажирских экранопланов:

- коэффициенты подъемной силы C_y , силы сопротивления C_x и момента тангажа m_z для широкого диапазона углов атаки и высот полета;
- аэродинамическое качество;
- нагрузка на крыло;
- тяговооруженность;
- массы топлива, конструкции планера, силовой установки, систем экраноплана;
- транспортная, топливная и комплексная эффективности;
- критерий эффективность/стоимость.

Данные характеристики являются достаточными для формирования внешнего облика тяжелого пассажирского экраноплана и дальнейшей, более глубокой проработки при проектировании конструктивно-силовых схем, компоновки, систем, расчета динамики полета и т.д. и необходимых для определения показателей эффективностей и стоимостей экраноплана на основе которых принимается решение о наиболее перспективном архитектурно-конструктивном типе с точки зрения дальнейшей углубленной проработки на последующих этапах (рис. 1).

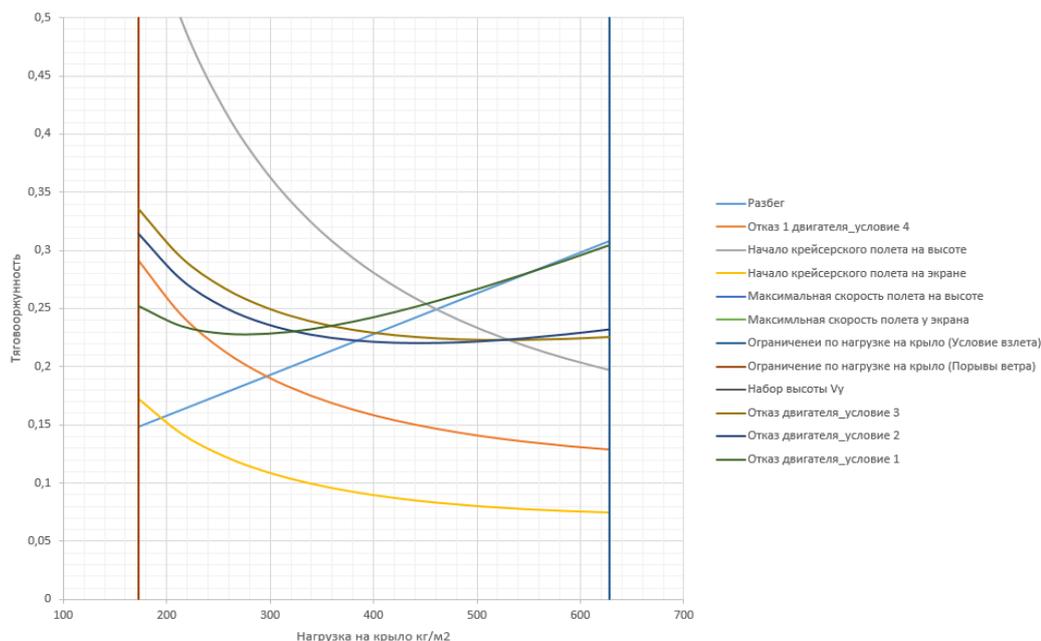


Рисунок 1 – Зависимость тяговооруженности от нагрузки на крыло

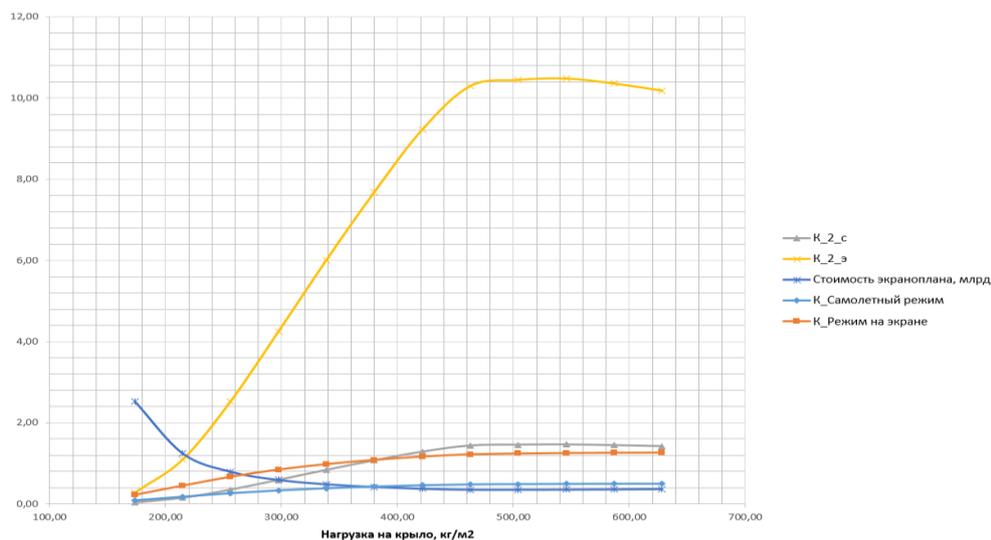


Рисунок 2 – Графики эффективности экраноплана

Исходными данными для программы являются: аэродинамические и моментные характеристики крыла в невозмущенной потоке, относительные геометрические характеристики крыла экраноплана, омываемые площади элементов экраноплана, относительные массы систем и агрегатов экраноплана, летно-технические и эксплуатационные характеристики, удельные характеристики силовой установки и прочие характеристики.

Результаты работы программы представляются в виде таблицы с рассчитанными критериями эффективностей и графики зависимостей значений эффективностей от нагрузки на крыло. Так же в качестве результатов программа предлагает графики изменения максимальных взлетных масс на различных итерациях расчетов и графики зависимостей нагрузок на крыло от тяговооруженностей (рис. 3).

На рис. 4 приведен эскиз общего вида экраноплана, спроектированного с помощью разработанной программы.

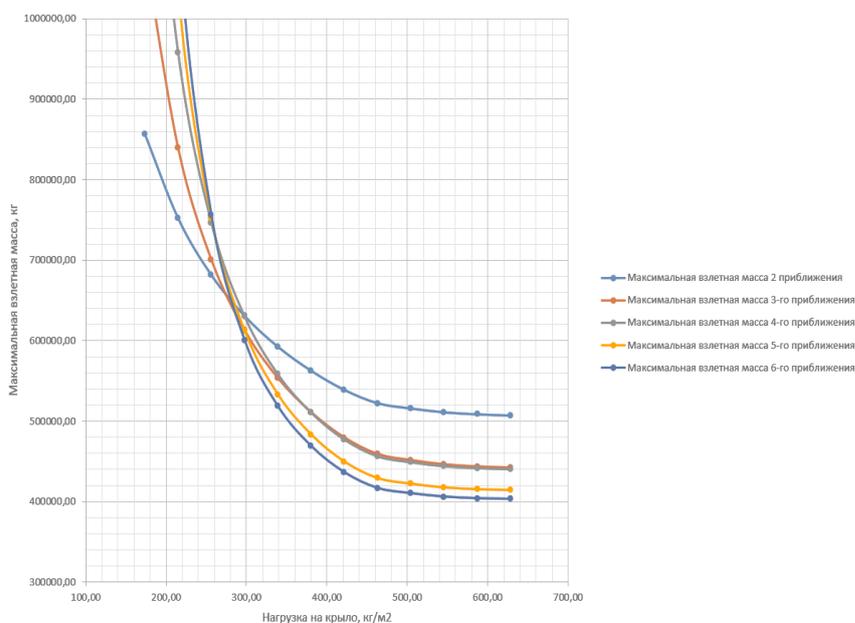
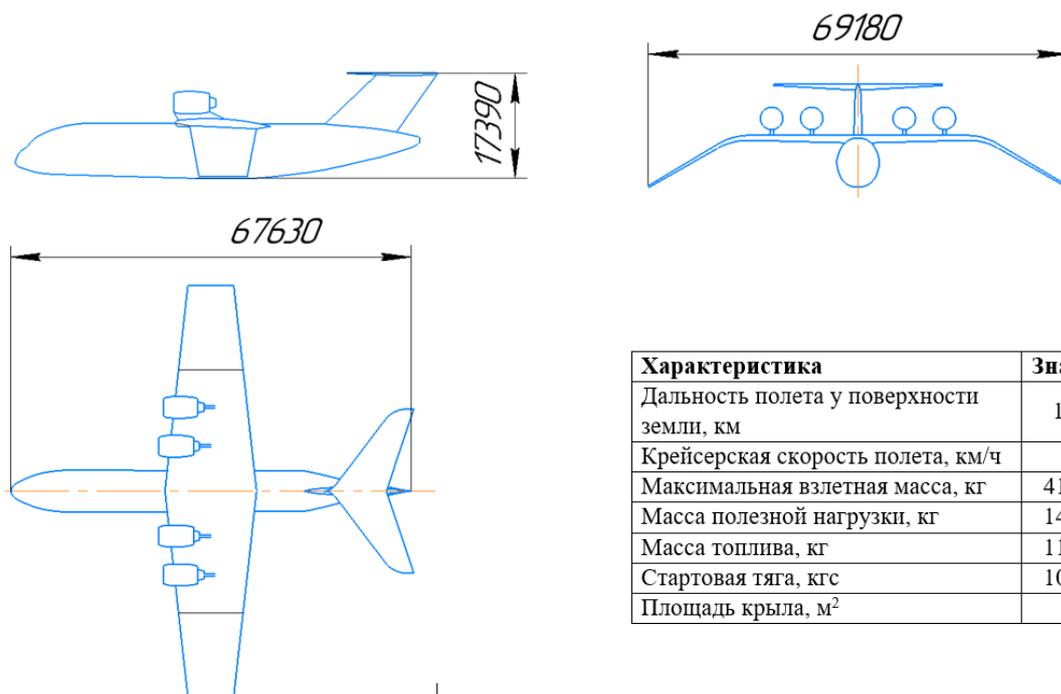


Рисунок 3 – График зависимости взлетных масс от нагрузки на крыло



Характеристика	Значение
Дальность полета у поверхности земли, км	12000
Крейсерская скорость полета, км/ч	450
Максимальная взлетная масса, кг	410 426
Масса полезной нагрузки, кг	140 043
Масса топлива, кг	112 740
Стартовая тяга, кгс	102 780
Площадь крыла, м ²	814

Рисунок 4 – Архитектурно-конструктивный тип экраноплана

Список литературы:

1. Панченков, А.Н. Экспертиза экранопланов / А.Н. Панченков, П.Т. Драчев, В.И. Любимов. – Нижний Новгород : Поволжье, 206. – 656 с.

2. Амплитов, П.А. Влияние геометрических параметров экраноплана типа А на его весовые и экономические характеристики : специальность 05.07.01 "Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Амплитов Павел Андреевич. – Комсомольск-на-Амуре, 2013. – 24 с.

3. Суржик, В.В. Методы структурно-параметрического синтеза математических моделей экранопланов : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Суржик Виталий Витальевич. – Иркутск, 2010. – 46 с.

4. Иродов, Р.Д. Критерии продольной устойчивости экраноплана / Р.Д. Иродов. – М : Ученые записки ЦАГИ, 1970

5. Февральских, А.В. Численное исследование влияния удлинения крыла на характеристики движения под действием экранного эффекта амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой / А.В. Февральских // Известия КГТУ. – 2019. – № 53. – С. 182 – 192.

6. Еремин, Н.А. Методика выбора предпочтительного варианта облика самолета на этапе завязки проекта / Н.А. Еремин, Н.К. Лисейцев // Труды МАИ : электронный журнал.

– URL: <https://trudymai.ru/upload/iblock/c95/c954e30c8bdb04ee77647168ff7d4781.pdf?ysclid=lsydpdja3ti896329971> (дата обращения: 23.02.2024).

7. Лучков, А.Н. Численное моделирование испытаний составного крыла экраноплана в аэродинамической трубе / А.Н. Лучков, Е.Ю. Чебан // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 75. – С. 108-117. – ISSN 2713-1858