

**РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ТВОРЧЕСТВА УЧАЩИХСЯ**

ПРОЕКТ

«История экранопланов России»

Автор: Юсупов Расул Юсуфович

**Руководитель: Гармаза Сергей Павлович –
«Отличник образования РД»,
педагог дополнительного образования
РЦНТТУ г. Махачкала**

г. Махачкала – 2015г.

Предисловие

Свободное передвижение по воздуху на аппаратах тяжелее воздуха составляет одно из величайших достижений современной науки и техники, которым справедливо гордится всё человечество. Но с особенным правом им мы, советские люди; ведь в России не только был создан первый самолёт, но в нашей стране авиационная наука и техника прошли через все узловые пункты своего развития.

Вот почему история авиации представляет глубокий интерес для всего подрастающего поколения, для всех будущих граждан великой страны, а не только для тех юных техников, которые уже решили стать лётчиками, авиаконструкторами, аэродинамиками или космонавтами. Мы рассказываем в этом докладе не только о авиатехнике, но и о людях; ведь юный техник, читатель ищет в докладах знаний и руководства, а жизнь и деятельность из представленных здесь людей может служить примером для подражания любому вступающему в жизнь юноше.

Работая над докладом, мы воспользовались сообщениями и критическими замечаниями многих лиц и прежде всего указаниями непосредственных творцов нашей авиации: Президент Академии наук авиации и воздухоплавания Генеральный конструктор ОКБ им. Ильюшина Г.В. Новожилов, Герои Советского Союза, Заслуженные лётчики-испытатели С.А. Микоян, В.Н. Кондауров, В.Г. Пугачёв, Герой Сербии Р.Д. Радаванеж и ведущего авиаконструктора вертолётов Миля М.С. и другие выдающиеся лица современного авиапрома.

АННОТАЦИЯ

В последние годы в ряде стран ведутся работы по созданию новых видов транспортных средств (экранопланов), обладающих повышенной проходимостью, большой скоростью движения без дорог и не уступающих по грузоподъёмности и работоспособности существующим видам транспорта. Главная и определяющая роль в разработке и реализации экранопланов принадлежит Ростиславу Евгеньевичу Алексееву – выдающемуся

учёному и конструктору, идеологу и основоположнику отечественного крылатого судостроения. Вместе с коллективом ЦКБ по СПК он в значительной мере способствовал ускорению научно – технического прогресса в области скоростного судостроения, сначала создав суда на подводных крыльях, а затем и экранопланы. Работа над экранопланами – самая значительная и яркая страница творческой биографии Р.Е. Алексеева и ЦКБ по СПК, которая приоткрывается только теперь.

Цели данного исследования: показать и рассказать об одном из видов транспортных средств – аппарате, совершающем полёты на воздушной подушке, создаваемой между его днищем и поверхностью земли или воды; донести до слушателей информацию о разнообразных видах транспорта: воздушном, сухопутном и водном, об их преимуществах и недостатках, а также перспективах развития.

Задачи: исследовать с научно – технической точки зрения и довести до слушателей преимущества и недостатки выявленные при разработке этих видов транспорта.

АЛЕКСЕЕВ РОСТИСЛАВ ЕВГЕНЬЕВИЧ

Ростислав Евгеньевич Алексеев ([18 декабря 1916](#), [Новозыбков, Черниговская губерния](#) — [9 февраля 1980](#), [Горький](#)) — кораблестроитель, создатель [судов на подводных крыльях](#), [экранопланов](#) и [экранолётов](#). Лауреат [Ленинской](#) (1962) и [Сталинской премии](#) второй степени (1951). Дважды совершил революцию в мировом судо- и авиастроении. Член КПСС с 1950 года.



Разработал 7 видов судов на подводных крыльях и 14 видов от экранопланов до экранолётов, которые могут ходить на высотах от нескольких сантиметров до несколько десятков метров от поверхности воды или земли, а также огибать препятствия небольшой высоты. Они

были различны по назначению и скоростям. Подразделяются на три класса: А – движение на экране поверхности воды – земли, В – движение на экране и частичный уход с него “прыжками”, С - движение как экранолёт.

БИОГРАФИЯ

Родился 18 декабря 1916 года в городе Новозыбков Черниговской губернии (ныне [Брянской области](#)), в семье учительницы и агронома. В [1933 году](#) семья переезжает в Горький. В [1935 году](#) поступил в Горьковский индустриальный институт имени Жданова (ныне [Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева](#)) на кораблестроительный факультет (ныне факультет Морской и авиационной техники). [1 октября 1941 года](#) защитил дипломную работу «Глиссер на подводных крыльях»; госкомиссией Алексееву было присвоено звание инженера-кораблестроителя. После защиты молодой инженер был направлен на завод «[Красное Сормово](#)», где с 1941 по [1943 годы](#) работал в должности контрольного мастера выпуска танков. В [1942 году](#) принимается решение о выделении ему помещения и людей для работы по созданию боевых катеров на подводных крыльях. В идею Алексеева поверило управление кораблестроения ВМФ, и ему были выделены средства. Катера Алексеева не успели принять участия в боевых действиях, но созданные им модели убеждали в возможности успешной реализации идеи.

<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Burevestnik.jpg>



<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Burevestnik.jpg>

Судно на подводных крыльях «[Буревестник](#)».

В [1951 году](#) Алексеев и его помощники за разработку и создание судов на подводных крыльях были удостоены [Сталинской премии](#) вто-

рой степени. Коллектив начинает работать над невиданным до тех пор пассажирским [судном на подводных крыльях](#) (СПК), получившем символическое имя «[Ракета](#)». Летом [1957 года](#) Алексеев представил «<<Ракету>>» на суд мировой общественности, приведя корабль в Москву в дни Международного фестиваля молодёжи и студентов. С этого момента в мире началось скоростное судостроение. Катера «Волга», «[Метеор](#)», «[Комета](#)», «[Спутник](#)», «[Буревестник](#)», «[Восход](#)» — ежегодно новый проект и каждый — лучший. В [1961 году](#) десять сотрудников во главе с Алексеевым получают [Ленинскую премию](#) за создание нового транспортного средства.

В [1962 году](#) в ЦКБ началась работа по созданию [экраноплана КМ](#) для [ВМФ](#), а в [1964 году](#) — над проектом экраноплана Т-1 для воздушно-десантных войск. Первый должен был летать на высотах в несколько метров, а второй — до высоты 7500 м. [22 июня 1966 года](#) экраноплан КМ, самый крупногабаритный для своего времени летательный аппарат на земле, был спущен на воду.

http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:A-90_Orlyonok_4.JPG



http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:A-90_Orlyonok_4.JPG

Экранолёт «Орлёнок»

В начале 70-х годов ЦКБ по СПК был дан заказ на постройку десантного экранолёта «[Орлёнок](#)». [3 ноября 1979 года](#) первый в мире десантный корабль — экранолёт был принят как боевая единица в состав

ВМФ. Он получил штатный номер МДЭ – 160 (малый десантный экраноплан). При испытании модели нового пассажирского экранолета (который должен был быть завершен к Московской Олимпиаде – 80) Ростислав Алексеев надорвался при спуске на воду, и после двух операций скончался [9 февраля 1980 года](#).



Аппараты на воздушной подушке.

Наиболее универсальными транспортными средствами могут быть летательные аппараты, совершающие полет на воздушной подушке. Аппараты такого типа в настоящее время привлекают ученых и конструкторов многих стран.

Аппараты на воздушной подушке в отличие от самолетов могут также, как и вертолеты неподвижно висеть в воздухе на определенной высоте, или как говорят, совершать полет на режиме висения. В камеру под днищем аппарата воздух нагнетается вентилятором, приводимым во вращение двигателем. В результате под днищем образуется повышенное давление p , большее, чем атмосферное давление p_0 . В рассматриваемом случае подъемная сила Y' равна весу аппарата G :

$$Y' = G = \Delta p S_b \quad (1)$$

Кинетическая энергия воздуха, истекающего из аппарата за 1 секунду, будет равна кинетической энергии, затрачиваемой вентилятором за то же время, т. е. равна его мощности. Если считать коэффициенты полезного действия вентилятора равным единице, то эта мощность будет равна мощности двигателя, потребной для мощности двигателя, потребной для полета на режиме висения. Таким образом,

$$N_n = \frac{1}{2} k \rho h l V_i^3 \quad (2)$$

Подставляя в формулу (2) значения V_i из уравнения $V_i = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ и Δp из формулы (1), получаем

$$N_n = \sqrt{2} k \frac{h l}{S_b} * \frac{G}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\frac{G}{S_b}} \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), чем больше вес аппарата, тем больше мощность, необходимая для его полета на режиме висения.

При заданной постоянной высоте полета выгодно иметь минимальное отношение периметра l к площади S_b . Это отношение является минимальным

для круга, поэтому многие аппараты на воздушной подушке имеют форму близкую к кругу.

При горизонтальном полете аппаратов на воздушной подушке возникает ряд особенностей, влияющих на создание воздушной подушки. Эти особенности легче выявить, если рассматривать обращенное движение, т. е. считать, что аппарат является неподвижным и на него, а следовательно, и на воздушную подушку набегают встречный поток воздуха со скоростью V_0 - скоростью горизонтального движения аппарата. Этот поток может значительно изменить характер истечения воздуха из аппарата через уплотнения.



Экранопланы

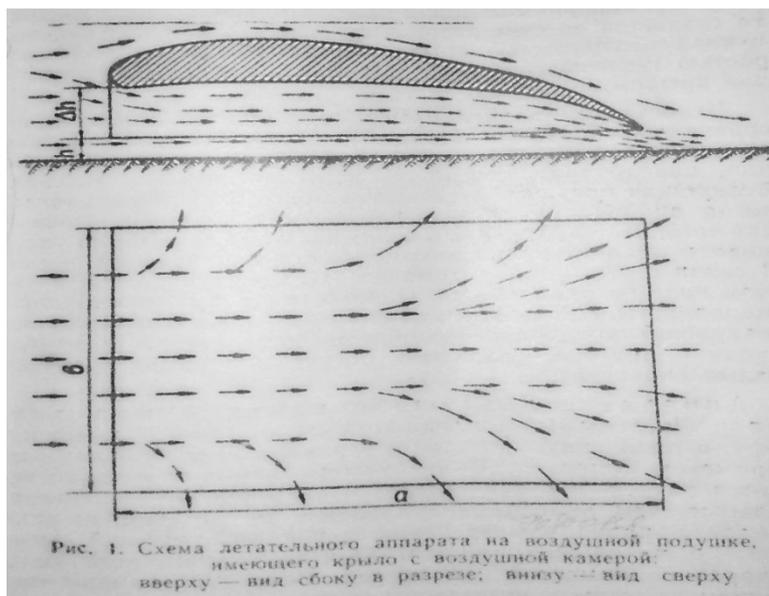
В 1891 году русский инженер французского происхождения Шарль де Ламбер построил первое судно на подводных крыльях. Изобретение было достойно оценено и применено для создания быстроходных катеров как военных, так и гражданских. Однако все та же кавитация, теперь уже разрушающая подводные крылья, не позволяет разгонять эти суда более чем до 100 км/час. Тогда корабль поставили на воздушную подушку, которая не только оторвала его от воды, но позволила двигаться по льду, болоту, песку – то есть сделала

амфибией. Сегодня этот тип судов является самым быстроходным в мире (до 110 – 130 км/ч и выше) и включает как легкие прогулочные, спасательные и патрульные катера, так и тяжелые (до 700 тонн) десантные корабли. Казалось бы, что еще можно придумать? Оказалось, что можно. Наблюдая за гидросамолетами, инженеры заметили, что при полете над самой водой резко увеличивается подъемная сила крыла. Эффект назвали экраным, и его решили использовать. В 1940 году американский инженер Д. Уорнер построил катер, который держался над водой не на воздушной подушке, а, подобно самолету, на воздушном потоке, создаваемом специальными носовыми двигателями. Новинку окрестили экранопланом.

В 2005 году исполнилось ровно 50 лет как в нашей стране были начаты работы по созданию уникальных транспортных средств, движущихся вдоль поверхности воды или ровного участка земли (экрана) с использованием экранного эффекта и получивших наименование экранопланы. Эти машины сочетают в себе положительные качества и самолётов, и кораблей. Но в отличие от самолётов под днищем экранопланов всегда есть «ВПП» – в виде бесконечного гидродрома. А в отличие от кораблей их эксплуатационная скорость в 3-5 раз больше (в зависимости от водоизмещения). И, наконец, неся большую полезную нагрузку, экранопланы являются экологически чистым и всесезонным транспортным средством. Неизгладимое впечатление от экранного полета придает особую привлекательность этому новому виду транспорта особенно для туристов. В технике же, как правило, положительное эмоциональное восприятие соответствует ее высокому техническому уровню и большой экономической целесообразности. Экранопланы - это диалектическое развитие кораблей (судов) на динамических принципах поддержания. Своим рождением они были обязаны двум главным обстоятельствам. Во-первых, логике развития водных транспортных средств и в связи с этим настойчивой работе судостроителей (конструкторов и ученых) по повышению скорости движения. И, во-вторых, заинтересованности военных моряков в применении на морских и океанских просторах боевых и транспортных средств, обладающих максимально возможными скоростями движения, высокой мобильностью и скоро-

стью. Суда на статической воздушной подушке (ССВП) позволили несколько повысить верхний предел скорости, но для них непреодолимым барьером стало ориентировочно 150 - 180 км/ч из-за потери устойчивости движения. При этом всякое повышение скорости сопровождалось ухудшением пропульсивных качеств таких судов, связанным с необходимостью повышения относительной мощности энергетических установок.

Схема летательного аппарата, имеющего крыло с воздушной камерой, приведена на рис.1 Крыло аппарата имеет выемку на нижней поверхности, которая ограничена с боков вертикальными стенками по концам крыла, а сзади - задней кромкой крыла. Спереди выемка остается открытой. Аппарат может приводиться в горизонтальное движение поршневым или турбовинтовым двигателем с воздушными винтами или реактивным двигателем.



Когда аппарат движется (равной нескольким процентам хорды крыла – размера a на рис.1) над поверхностью земли с горизонтальной скоростью V_0 , встречный поток воздуха поступает в камеру под нижней поверхностью крыла и тормозится до скорости, пренебрежимо малой по сравнению со скоростью движения аппарата. Воздух из камеры истекает через зазоры под задней кромкой крыла и боковыми стенками.

Экранопланы, в отличие от ССВП, поддерживаются над поверхностью при помощи не статической (искусственно создаваемой специальным нагнетателями с соответствующими затратами мощности), а естественной динамической воздушной подушки, возникающей от скоростного напора набегающего потока воздуха. При этом имеет место так называемый экранный эффект, заключающийся в повышении аэродинамического качества воздушного крыла при его движении вблизи экранирующей поверхности, а также в его самостабилизации по высоте движения относительно экрана.

Высота эффективного движения экраноплана над поверхностью соизмерима с геометрическими размерами воздушного крыла, при этом положительное влияние экранного эффекта усиливается с уменьшением высоты движения. Работу по практическому применению экранного эффекта вели параллельно как судостроители, так и авиастроители. Первым он был интересен как средство для повышения скорости движения судов, а вторым – как средство для повышения экономичности гражданских самолетов и обеспечения полетов на малых высотах при решении тактических задач военного назначения.

Первый экраноплан был построен в 1935 году финским инженером Т. Каарио, который разрабатывал идею экранопланов вплоть до 1964 года, создав ряд различных аппаратов и их усовершенствованных модификаций. Известно, что к настоящему времени за рубежом на основе экспериментальных и теоретических исследований построено более пятидесяти экспериментальных образцов экранопланов, а также построены практические образцы, например, патрульный экраноплан А.Липпиша и строятся пассажирские экранопланы Г.Йорга (ФРГ). Создателями этих экранопланов являются как отдельные исследователи, так и широко известные научно-исследовательские центры и фирмы многих стран мира. Вместе с тем, есть основания заявить, что к настоящему времени дальше других в разработке экранопланов продвинулись в нашей стране. Одной из первых отечественных работ, посвященных влиянию экранирующей поверхности на аэродинамические свойства крыла, была экспериментальная работа Б.Н. Юрьева (“Вестник воздушного флота”, N1, 1923). В период 1935-39 годов комплекс экспериментальных и теоретических

работ по исследованию экранного эффекта провели Я.М. Серебрянский и Ш.А. Биячурев (“Труды ЦАГИ”, вып. 267 , 1936 и вып. 437 , 1939). Первые практические разработки экранопланов в нашей стране были выполнены известным авиационным инженером и изобретателем П.И. Гроховским во второй половине 30-х годов.



Каспийский Монстр (Экранопланы Алексеева)

Главная и определяющая роль в разработке и реализации экранопланов принадлежит Р.Е. Алексееву - выдающемуся ученому и конструктору , идеологу и основоположнику отечественного крылатого судостроения . Вместе с коллективом ЦКБ по СПК он в значительной мере способствовал ускорению научно - технического прогресса в области скоростного судостроения , сначала создав суда на подводных крыльях , а затем и экранопланы . Работа над экранопланами - самая значительная и яркая страница творческой биографии Р.Е. Алексеева и ЦКБ по СПК, которая приоткрывается только теперь.

Немало усилий для развития экранопланов приложили ученые многих организаций и институтов страны, и в частности ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова, ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского и летно-исследовательского института имени М.М. Громова.

Успехам отечественного экранопланостроения во многом способствовало удачное стечение обстоятельств. Р.Е. Алексеев - талантливый конструктор,

изобретатель и архитектор, познавший водную стихию и законы гидродинамики на занятиях парусным спортом и апробировавший свои знания гидродинамики в работах по созданию судов на подводных крыльях, возглавил коллектив ЦКБ по СПК. Одновременно многие самолетостроительные организации и авиационные институты внесли в работы по экранопланам достижения авиационных технологий. В стране имелось необходимое материально-техническое обеспечение, прежде всего, соответствующие конструкционные материалы и высоконадежные авиационные двигатели Генерального конструктора Кузнецова, и наконец, все работы по экранопланам строго планировались и контролировались государственными органами.

На начальном этапе разработки экранопланов было закономерным использование идей, апробированных в работах по СПК на малопогруженных подводных крыльях. Первой была идея самостабилизации крыла относительно границы раздела двух сред - воздуха и воды. Происходящие физические процессы при обтекании воздушного крыла в условиях близости поверхности являются практически зеркальными по отношению к тем, которые имеют место при движении малопогруженного подводного крыла. Отличие состоит лишь в том, что, во-первых, подводное крыло движется в значительно более плотной (примерно в 800 раз) среде и за счет этого имеет значительно меньшую требуемую площадь для создания необходимой подъемной силы и, во-вторых, при приближении его к границе раздела сред подъемная сила снижается, а у воздушного крыла наоборот возрастает. Такая идея полностью себя оправдала и является основной во всех разработках экранопланов.

Вторая идея - обеспечение продольной устойчивости за счет применения компоновки из двух крыльев, расположенных по схеме "тандем" – двухточечная схема. На первых порах обе идеи казались безупречными и по ним были проведены широкие исследования на малых моделях и созданы первые экспериментальные экранопланы, управляемые человеком, а также выполнены проектные разработки натурного экраноплана взлетной массой до 500 тонн. Однако более глубокие исследования показали, что схема "тандем" работоспособна только в узком диапазоне высот, то есть в непосредственной близости

от поверхности и не обеспечивает необходимой устойчивости и безопасности при удалении от нее (эксперименты на одном из таких экранопланов закончились аварией, а проектные разработки такого натурного экраноплана остановлены). Дальнейший поиск компоновочного решения экраноплана привел к использованию классической самолетной схемы (одно несущее крыло - одноточечная схема и хвостовое оперение) с необходимой модернизацией ее для обеспечения устойчивости и управляемости при движении вблизи экранирующей поверхности. Существо такой модернизации свелось в основном к двум аспектам: - первый - выбор параметров основного несущего крыла и оптимизация его положения относительно других элементов компоновки; - второй - применение развитого (увеличенного по размерам) горизонтального оперения и расположение его по высоте и длине относительно основного крыла на таком расстоянии, чтобы оно было наименее чувствительно к изменениям скасов воздушного потока, индуцируемых крылом в зависимости от высоты движения и угла тангажа.

Указанные аспекты составили основу концепции, определившей окончательный выбор принципиальной компоновки экранопланов, принятых к реализации в начале 70-х годов. По такой компоновке было создано десять экспериментальных экранопланов с постепенным увеличением их размеров и массы.

Самый большой экраноплан из этого ряда - экраноплан КМ был уникальным инженерным сооружением, дерзновенным творением Алексева. Созданный в 60-х годах, он имел длину более 100 метров, размах крыла около 40 м, а в рекордном полете его масса достигала 540 тонн, что было в то время неофициальным мировым рекордом для летательных аппаратов. Он был побит лишь недавно самолетом Ан-225 "Мрия". Экраноплан КМ прошел всесторонние испытания на протяжении почти 15 лет и замкнул цикл работ, связанных с апробированием идеи экранопланов в целом, а также отработкой научных основ их проектирования, строительства и испытаний.



Результаты этих работ позволили создать теорию и методологию проектирования и строительства практических образцов экранопланов. Одним из них стал транспортный экраноплан “Орленок” со взлетной массой до 140 тонн, способный перевозить груз 20 тонн со скоростью 400 км/ч на дальность до 1500 км. Такой экраноплан может взлетать и садиться на воду при волнении моря до 2 м. Он обладает амфибийностью, то есть способностью самостоятельно выходить на относительно ровный берег с естественным покрытием, а также на специальную мелкосидящую понтон-площадку или по гидропуску на подготовленную береговую площадку, что необходимо для базирования экраноплана.

Экраноплан “Орленок” представляет собой свободонесущий моноплан, включающий в себя фюзеляж обтекаемой формы с гидродинамическими и амфибийными элементами в нижней части и развитое (что отмечено выше) хвостовое оперение.

Высокие технико-экономические характеристики, относительно высокая надежность и безопасность эксплуатации, специфические качества, обуславливающие их привлекательность, позволяют говорить о целесообразности создания на их базе морских экранопланов различного назначения. Это могут быть пассажирские и грузопассажирские экранопланы для скоростной перевозки в различных вариантах компоновки пассажирских салонов 150-300 пассажиров и перевозки грузов скорой доставки общей массой до 20 тонн по

внутренним и окраинным морям с удалением от порта приписки до 2000 км.

Специальный экраноплан для авиационно-морского поисково-спасательного комплекса с самолетом Ан-224 “Мрия” способен спасать людей с затонувших или аварийных судов за счет сочетания высокоскоростного и с большой дальностью средства поиска доставки самолета “Мрия” и спускаемого для посадки на воду спасательного экраноплана “Орленок”.

К настоящему времени на базе построенных образцов существуют проекты экранопланов различного назначения и значительно большей по сравнению с экранопланом “Орленок” взлетной массы, которые могут найти применение в открытом море и в отдельных океанских зонах для решения транспортных задач, а также обеспечения рыболовецкого флота и т. д. В отдельных модификациях морских экранопланов предусматривается возможность маневрирования по высоте движения, вплоть до чисто самолетных режимов, что часто бывает необходимо для обеспечения безопасности в случаях неожиданных препятствий на курсе движения, а также сокращения пути за счет перелета над естественными или искусственными преградами, разделяющими отдельные районы морских акваторий. Экранопланы таких модификаций называются экранолетами.

Наряду с этим созданы экранопланы упрощенных модификаций для применения на реках, водохранилищах и внутренних водоемах, а также на относительно ровных участках суши, например, на поймах рек или в тундре, причем эксплуатация таких экранопланов возможна не только летом, но и зимой на ледово-заснеженных поверхностях.

Речные экранопланы упрощенных модификаций в наибольшей мере удовлетворяют условиям их применения, имеют значительно меньший по сравнению с морскими экранопланами диапазон скоростей (120-200 км/ч

вместо 320-500 км/ч) и высот движения (движение в основном осуществляется только в плоскости горизонта с минимальным диапазоном переме-

ния по высоте) и правомерно имеют параллельное название - суда на динамической воздушной подушке.

К настоящему времени концепция судна на динамической воздушной подушке апробирована на первом практическом образце девятиместного катера "Волга-2", являющемся прототипом более крупных СВП. Таким образом, можно констатировать, что к настоящему времени по отечественным разработкам экранопланов имеется научный и технический задел, построены и испытаны отдельные образцы экранопланов различных модификаций и назначений, а также накоплен опыт эксплуатации, достаточный для принятия решения о серийном строительстве гражданских экранопланов.

В советских и зарубежных научно-популярных журналах неоднократно появлялись сообщения о низколетающих аппаратах-экранолетах, в том числе о советском экспериментальном спасательном катере-амфибии ЭСКА-1. Эту машину любительской постройки, успешно прошедшую цикл летных испытаний, сконструировали московские инженеры А. Гремяцкий, Е. Грунин, С. Чернявский, Ю. Горбенко и Н. Иванов. Летные испытания проводились инженером А. Гремяцким, а затем летчиком А. Балуевым. ЭСКА-1 экспонировался на одной из центральных выставок НТТМ и был отмечен бронзовой медалью ВДНХ СССР, а его создатели - знаками лауреатов НТТМ. История экранолетов восходит к середине 30-х годов, когда построили гибрид самолета, быстрого катера и аппарата на воздушной подушке. Его создателя, финского инженера Томаса Каарио, и принято считать пионером экранолетостроения. Конструкции первых машин, несмотря на разнообразие и внешнюю экзотичность форм, не отличались утонченностью проработки. В те годы не существовало стройной теории экранного полета. Проекты создавались на основе большого количества экспериментальных данных, и аппараты, естественно, получались несовершенными. Камнем преткновения и в этот период, и позже - в конце пятидесятых годов - стала проблема продольной устойчивости. Первым ее решил авиаконструктор А. Липпиш. В 1964 году он построил экранолет Х-112 и успешно испытал его. Затем в 1972 году увидел свет еще один аппарат - Х-113А. Изготовленный из стеклопластика, он показал отличные лет-

водяной руль, 20 - бензобак, 21 - кресла пилота и пассажира, 22 - приборная доска, 23 - ручка управления двигателем (сектор газа), сечения Б - Б, В - В, Г-Г, Д-Д, Е - Е, Ж - Ж и нервюры центроплана увеличены.

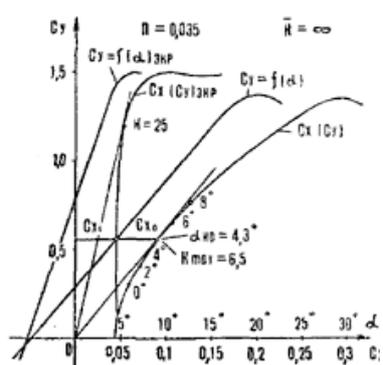
Аэродинамическая компоновка позволяет ему летать как вдали, так и вблизи от экрана - земной или водной поверхности. На рисунке 3 представлена классическая кривая возрастания аэродинамического качества аппарата с уменьшением относительной высоты полета. Заметное влияние экрана на характеристики крыла проявляется на высотах меньших, чем длина его средней аэродинамической хорды (САХ). Здесь иная картина обтекания, нежели при движении вне экрана. При очень малом расстоянии до него, исчисляемом сантиметрами, повышение давления под крылом близко к значению скоростного напора и подъемная сила резко возрастает за счет давления в заторможенном потоке. Двухмерное обтекание профиля показано на рисунках 5 и 6. Физика явления наглядна: вдали от экрана подъемная сила образуется в основном за счет разрежения над крылом, а вблизи - благодаря повышению давления под ним.



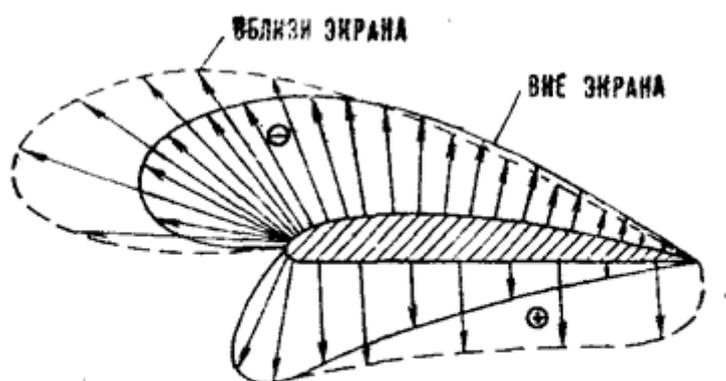
Рис. 6. Зависимость располагаемой тяги и аэродинамического сопротивления от скорости полета:

- А — аэродинамическое сопротивление,
- Г — гидродинамическое сопротивление,
- С — суммарное,
- Т — располагаемая тяга,
- И — избыток тяги;
- а — режим плавания,
- б — глиссирование,
- в — преодоление «горба» сопротивления,
- г — отрыв от воды,
- д — полет.

Рис. 7. Поляра ЭСКА-1 на разных высотах.



Из графика, который в аэродинамике называют полярой, видно, как близость экрана сказывается на подъемной силе и лобовом сопротивлении (рис. 7). С уменьшением относительной высоты полета растет C_y и снижается C_x . Происходит крутой сдвиг поляры вверх и влево. Она получает менее выраженный максимум, так как срыв потока на верхнем контуре профиля меньше влияет на величину подъемной силы. Это приводит к значительному росту аэродинамического качества всего аппарата. У ЭСКА-1 оно, например, достигало 25. Сложнее обстоит дело с устойчивостью и управляемостью. Для условий полета эти параметры экранолетов изучены все еще слабо, тем более что при смене режима движения или с изменением высоты они, как правило, резко меняются. Рассмотрим, как ведет себя экранолет в экранном режиме. Предположим, что он движется в нескольких сантиметрах над водой. Картина обтекания крыла воздухом следующая: давление под крылом возрастает, начинает действовать экранный эффект, качество увеличивается. Но за это приходится дорого платить: на скорости более 200 км/ч экранолет неожиданно теряет устойчивость и переворачивается через корму. Именно так погибли в 1967 году Дональд Кэмпбелл на «Синей птице» и семь лет спустя - Чезаре Скотти на туннельном катере.



Р и с. 8. Распределение давления на профиле крыла.



Катер-амфибия ЭСКА-1

ОДНО ИЗ ВРЕДНЕЙШИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СУДА И
ЭКРАНОПЛАНЫ С КОТОРЫМ БОРОЛСЯ И ИССЛЕДОВАЛ

Р. Е. АЛЕКСЕЕВ.

КАВИТАЦИЯ

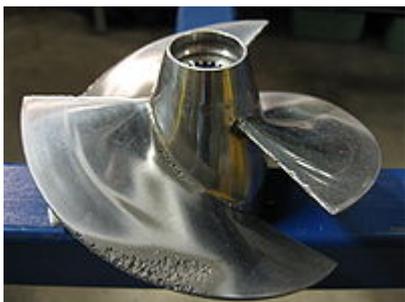
Кавитация — (от [лат.](#) *cavitas* — пустота) — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных [паром](#). Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении [акустической волны](#) большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом [ударную волну](#). Кавитация разрушает поверхность [гребных винтов](#), [гидротурбин](#), акустических излучателей и др. Во многих источниках физика этого явления объясняется следующим образом. Физический процесс кавитации близок процессу закипания жидкости. Основное различие между ними заключено в том, что при закипании изменение фазового состояния жидкости происходит при среднем по объёму жидкости давлении равном давлению насыщенного пара, тогда как при кавитации среднее

давление жидкости выше давления насыщенного пара, а падение давления носит локальный характер. Имеются расчётные данные, что температура внутри пузырьков может достигать 1500 градусов цельсия [1]. Следует также учитывать, что в растворённых в жидкости газах содержится больше кислорода в процентном отношении, чем в воздухе, и поэтому газы в пузырьках при кавитации химически более агрессивны, чем атмосферный воздух.

Вредные последствия



Повреждения, наносимые эффектом кавитации (часть насоса)



Кавитационные повреждения гребного винта

Химическая агрессивность газов в пузырьках, имеющих к тому же высокую температуру, вызывает эрозию материалов, с которыми соприкасается жидкость, в которой развивается кавитация. Эта эрозия и составляет один из факторов вредного воздействия кавитации. Второй фактор обусловлен большими забросами давления, возникающими при схлопывании пузырьков и воздействующими на поверхности указанных материалов.

Поэтому кавитация во многих случаях нежелательна. Например, она вызывает разрушение гребных винтов судов, рабочих органов насосов,

гидротурбин и т. п., кавитация вызывает шум, вибрации и снижение эффективности работы.

Когда схлопываются кавитационные пузыри, энергия жидкости сосредотачивается в очень небольших объемах. Тем самым, образуются места повышенной температуры и возникают ударные волны, которые являются источниками шума. Шум, создаваемый кавитацией, является особой проблемой на подводных лодках (субмаринах), так как из-за шума их могут обнаружить. При разрушении каверн освобождается много энергии, что может вызвать повреждения. Эксперименты показали, что вредному, разрушительному воздействию кавитации подвергаются даже химически инертные к кислороду вещества ([золото](#), [стекло](#) и др.), хотя и намного более медленно. Это доказывает, что помимо фактора химической агрессивности газов, находящихся в пузырьках, важным является также фактор забросов давления, возникающих при схлопывании пузырьков. Кавитация ведёт к большому износу рабочих органов и может значительно сократить срок службы винта и насоса. В [метрологии](#), при использовании ультразвуковых [расходомеров](#), кавитационные пузыри модулируют волны, излучаемые расходомером, что приводит к искажению его показаний.

Полезное применение кавитации

Хотя кавитация нежелательна во многих случаях, есть исключения. Например, сверхкавитационные торпеды, используемые военными, обволакиваются в большие кавитационные пузыри. Существенно уменьшая контакт с водой, эти торпеды могут передвигаться значительно быстрее, чем обыкновенные торпеды. Такие исследования проводились, например, в [Институте гидромеханики НАН Украины](#).

Предотвращение последствий

Наилучшим методом предотвращения вредных последствий кавитации для деталей машин считается изменение их конструкции таким образом, чтобы предотвратить образование полостей либо предотвратить раз-

рушение этих полостей возле поверхности детали. При невозможности изменения конструкции могут применяться [защитные покрытия](#), например, [газотермическое напыление сплавов](#) на основе кобальта.

В системах [гидропривода](#) часто используют [системы подпитки](#). Они, упрощённо говоря, представляют собой дополнительный насос, жидкость от которого начинает поступать через специальный клапан в гидросистему, когда в последней давление падает ниже допустимого значения. Если давление в гидросистеме не опускается ниже допустимого, жидкость от дополнительного насоса идёт на слив в бак. Системы подпитки установлены, например, во многих [экскаваторах](#).

Другие области применения

Существуют несколько проектов использования тепловой энергии, выделяемой при кавитации, для обогрева помещений (так называемый [вихревой тепловой генератор](#)).

Число кавитации

Кавитационное течение характеризуют безразмерным параметром (числом кавитации) :

$$X = \frac{2(P - P_s)}{\rho V^2}, \text{ где}$$

P — гидростатическое давление набегающего потока, Па;
 P_s — давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре окружающей среды, Па;
 ρ — плотность среды, кг/м³;
 V — скорость потока на входе в систему, м/с.

Известно, что кавитация возникает при достижении потоком критической скорости $V = V_c$, когда давление в потоке становится равным давлению парообразования (насыщенных паров). Этой скорости соответствует граничное значение критерия кавитации.

В зависимости от величины X можно различать четыре вида потоков:

- докавитационный — сплошной (однофазный) поток при $X > 1$,

- кавитационный — (двухфазный) поток при $X \sim 1$,
- пленочный — с устойчивым отделением кавитационной полости от остального сплошного потока (пленочная кавитация) при $X < 1$,
- суперкавитационный — при $X \ll 1$.

Измерение

Уровень кавитации измеряют (как правило в относительных единицах) с помощью приборов, называемых кавитометрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для тех, кто решит всерьёз заняться этой работой необходимо изучать не только аэродинамику, гидродинамику, но также и столь важнейшую КАВИТАЦИЮ, которая влияет на ресурс аппаратов. Необходимо изучать труды французских, немецких, американских и самое главное труды наших выдающихся учёных таких как Р. Е. Алексеев и его коллектив ЦКБ по СПК, которое было впереди планеты всей по этой технике. Аналогам, которых ещё не придумали конструкторы других стран. Существует потребность в этом виде техники, так как она более перспективна и в спасении людей и в доставке грузов как по воде так и по льду и по суше, да и бездорожье не страшно.

Литература

1. Биркгоф Г., Сарантонелло Э. [Струи, следы и каверны. пер. с англ. М.: Мир, 1964. 466с.](#)
2. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. М.: ГИТТЛ, 1951. 200с.
3. Акуличев В. А. Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях. М.: Наука, 1978. 280с.
4. Гумилевский Л.И. Крылья Родины. Детгиз. Москва- 1954г.
5. Николаев Н.Н. Летающий вездеход. Воениздат. Москва-1963г.
6. Петров Г.Ф. Гидросамолёты и экранопланы России. 1910-1999. — М: РУСАВИА- 2000г.

7. Маскалик А.И., Нагапетян Р.А. и др. Экранопланы - транспортные суда XXI века - СПб.: Судостроение – 2005г.

8. Маскалик А.И. и др. Крылатые суда России. История и современность/- СПб.: Судостроение - 2006г.

9. Калашников Максим. Экранопланы - будущее России, альманах Восток, Выпуск: N 5 (41), декабрь 2006г

10. Журналы «Моделист-конструктор», «Техника молодежи 1972-75гг.», «Крылья Родины 1975-79гг.».