

Ежи Бель

Модели  
и любительские  
суда  
на воздушной  
подушке

rutracker.org



expert22 для <http://rutracker.org>

**Jerzy Bień**

**Modele  
i pojazdy amatorskie  
na poduszce  
powietrznej**

---



**Wydawnictwa Komunikacji i Łączności  
Warszawa 1979**

*Ежи Бенъ*

# Модели и любительские суда на воздушной подушке

---

Сокращенный перевод с польского  
Т. Н. ИВАНОВОЙ и Н. И. СЛИЖЕВСКОГО

**rutracker.org**  
новое имя для torrents.ru



Ленинград  
«Судостроение»  
1983

**expert22** для <http://rutracker.org>

**ББК 39.427**  
**Б46**  
**УДК 629.124.9.039 (023.11)**

**Научный редактор Коронатов Г. Д.**

**Бень Е.**  
**Б46**      **Модели и любительские суда на воздушной подушке:**  
**Пер. с польск. — Л.: Судостроение, 1983 — 128 с., ил.**  
**ИСБН**

В популярной форме изложены основы теории образования воздушной подушки и механики движения (полета) судов на воздушной подушке. Приведены расчетные соотношения, знание которых необходимо при проектировании малых любительских судов. Даны примеры наиболее распространенных конструктивных решений. Рассмотрены тенденции и перспективы развития данного типа судов. Текст дополнен большим количеством иллюстраций.

Для лиц, интересующихся постройкой любительских судов, судомоделистов и любителей водного спорта.

**Б**  $\frac{3605030000-046}{048(01)-83}$  **69-82**

**39.427**

© Copyright by Jerzy Bien'  
© Перевод на русский язык  
Издательство «Судостроение», 1983

# 1

---

## Вступление

### 1.1. Общие сведения

В 60—80-е гг. получил развитие новый вид транспортных средств — аппараты на воздушной подушке.

Под термином «аппарат на воздушной подушке» (сокращенно АВП) понимается любое средство, передвигающееся над поверхностью с помощью воздушной подушки под его днищем. В английской литературе принято называть АВП «кушнкraft», что означает «судно на подушке», либо «ховерkraft» — «скользящее судно». В американской литературе аппараты подобного типа называют сокращенно GEM (Ground Effect Machine) — «аппарат, способный парить над землей».

### 1.2. Описание наиболее удачных конструкций АВП

Еще ни один вид транспортных средств не внедрялся так быстро в практику, как аппарат на воздушной подушке. Необычайно быстрое развитие АВП в течение последних десятилетий объясняется в первую очередь простотой конструкции, возможностью эксплуатации их на воде, суше и даже на воздухе.

Первые упоминания об исследованиях передвижения на воздушной подушке относятся к началу нынешнего столетия. Русский ученый К. Э. Циолковский в 1927 г. опубликовал брошюру под названием «Сопrotивление воздуха и скорый поезд», в которой обосновал свою идею поезда на воздушной подушке, движущегося по специально спрофилированному полотну.

Основные работы над созданием АВП начались в 50-х годах нашего столетия. В 1956—1958 гг. появились первые практические результаты. Уже в этот период исследования, с одной стороны, носили преимущественно теоретический характер, а с другой — ориентировались на создание реальных конструкций. Далее исследования пошли по пути оптимизации ходовых и конструктивных качеств и создания экспериментальных и серийных АВП.

#### 1.2.1. Английские суда на воздушной подушке

Принято считать, что создателем аппарата на воздушной подушке с периферийным кольцевым соплом является английский инженер Кокерелл. К его заслугам можно отнести постройку

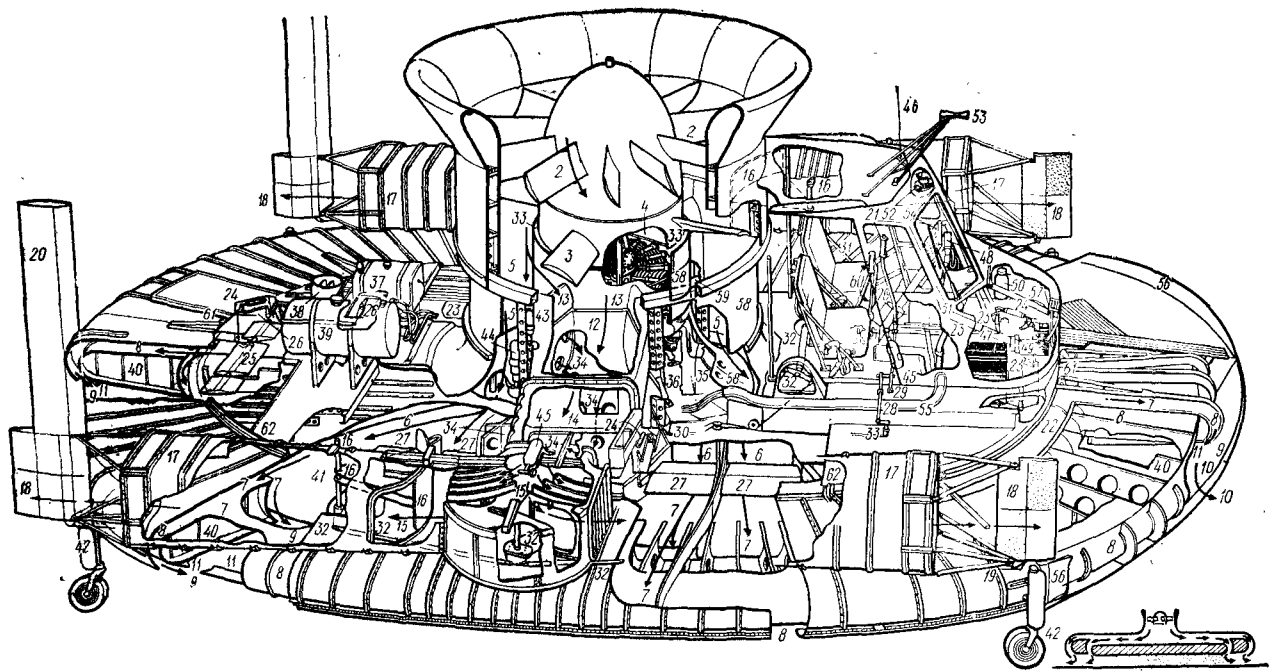


Рис. 1. Схемы аппарата «Саундерс — Ро» SR.N1 «Ховеркрафт» и его несущей системы (внизу справа):

1—основной воздухозаборник; 2—неподвижные направляющие лопатки; 3—лопатка нагнетателя; 4—двигатель; 5—вертикальный воздушный канал; 6 и 7—радиальные воздухопроводы; 8 и 9—кольцевые сопла; 10—струя воздуха, истекающего из сопла; 11—дефлектор; 12 и 14—поток воздуха, поступающий в горизонтальные каналы; 13—стенка воздухозаборника; 15—направляющие решетки; 16—створка; 17—горизонтальные каналы с реактивными соплами; 18—рули направления; 19—кабанчик руля направления; 20—верхняя часть руля направления; 21—основная ручка управления; 22—створка управления относительно поперечной оси; 23—проводка управления; 24—пружина в проводке управления; 25—задняя створка управления относительно поперечной оси; 26—проводка управления; 27—створка управления относительно продольной оси; 28—проводка управления; 29—качалки управления; 30—тросы проводки управления; 31—ручка управления горизонтальной тягой; 32—проводка управления; 33—воздухозаборник системы охлаждения двигателя; 34—выход охлаждающего воздуха; 35—воздухозаборник двигателя; 36—узел крепления двигателя; 37—маслобак; 38—маслорадиатор; 39—топливный бак; 40—радиальные стенки; 41—герметичный отсек; 42—шасси; 43 и 44—огнетушители; 45—ручной огнетушитель; 46—антенна; 47—УКВ-радиостанция; 48—пульт управления радиоаппаратурой; 49—аккумуляторная батарея; 50—баллон с жидкостью для очистки стекол; 51—стеклоочиститель; 52—вращающееся необмерзающее стекло; 53—трубка Вентури; 54—главная приборная доска; 55—направляющая троса; 56—обшивка; 57—отсек оборудования; 58—люки для доступа к двигателю; 59—выхлопная труба двигателя; 60—рычаг управления двигателем; 61—узел для буксировки; 62—узел для швартовки.

экспериментального СВП SR.N1 «Ховеркрафт», которое 11 сентября 1959 г., совершив переход через Ла-Манш, положило начало развитию современных АВП. На рис. 1 показано это СВП в разрезе. Для движения аппарата SR.N1 использован принцип воздушной подушки, создаваемой посредством двухрядного кольцевого сопла, наклоненного внутрь корпуса под углом  $30^\circ$ . Расчетные характеристики этого СВП были подтверждены на испытаниях.

Для образования воздушной подушки под днищем судна, построенного в форме овального понтона, а также для создания горизонтальной тяги на СВП установили осевой нагнетатель, приводимый во вращение двигателем, расположенным во втулке нагнетателя. Разделение воздушного потока за нагнетателем осуществлялось с помощью каналов, при этом на создание воздушной подушки уходило 70% общего расхода воздуха, а горизонтальной тяги — 30%. Возникающее под днищем давление изменялось от 500 до 1000 Па в зависимости от состояния нагрузки СВП. Горизонтальная тяга создавалась реакцией струй воздуха, истекающего из каналов, установленных по бортам судна и заканчивающихся прямоугольными соплами, причем два кормовых сопла предназначались для тяги вперед, два носовых — для реверса тяги.

Управление СВП при парении на месте осуществлялось дроссельными клапанами, приводимыми в действие из кабины специальными рычагами, и заключалось в изменении направления и величины момента пары сил, возникающего при истечении воздуха из сопел противоположных бортов. Во время движения вперед, а также при торможении СВП, управление направлением движения осуществлялось при помощи аэродинамических рулей, частично размещенных в потоке воздуха, вытекающего из сопел, а частично — в набегающем от движения СВП потоке воздуха. При определенном сочетании положений этих рулей аппарат приобретал возможность движения в боковом направлении.

Первоначально для привода нагнетания использовали поршневой двигатель мощностью 320 кВт. Позднее мощность на движение была увеличена, для чего использовали главную энергетическую установку, состоящую из поршневого двигателя и воздушного винта, а далее — реактивный двигатель с тягой до 6090 Н. В ходе экспериментов масса аппарата увеличилась с 1,88 до 5,99 т, а скорость — до 107 км/ч. Несущая поверхность воздушной подушки площадью 22,8 м<sup>2</sup> осталась без изменений.

Фирма «Уэстленд», продолжая работу над созданием АВП, предназначенных для движения над водой, спроектировала и изготовила для опытной эксплуатации в 1962—1965 гг. сначала СВП SR.N2, а затем СВП SR.N3, превосходящее своими размерами предыдущее.

СВП SR.N2 (рис. 2; полная масса — 27 т, экипаж — два человека) предназначалось для перевозки 68 пассажиров или груза массой 6,5 т. Оно было задумано как пассажирский паром со скоростью хода около 100 км/ч для перевозок в проливе Ла-Манш.

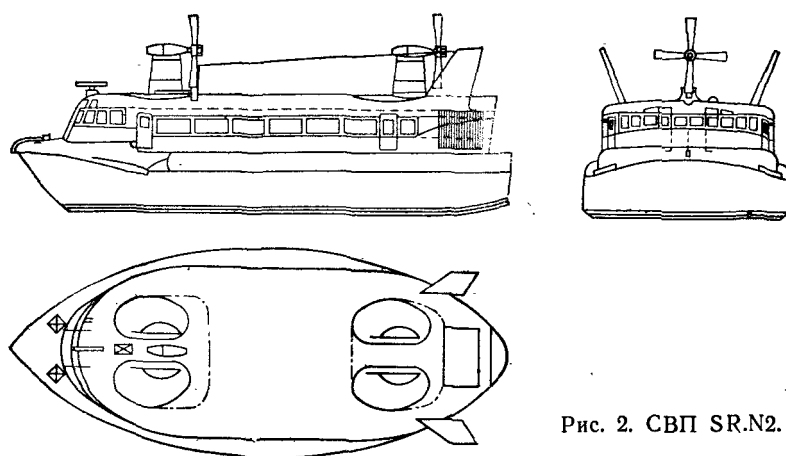


Рис. 2. СВП SR.N2.

Корпус аппарата эллипсоидной формы в плане, заостренной спереди, имел понтон плавучести, который был разделен на 15 водонепроницаемых отсеков, в двух из которых находятся водяные балластные цистерны емкостью по 0,45 м<sup>3</sup> каждая.

Главная энергетическая установка, состоящая из четырех газотурбинных двигателей по 710 кВт каждый, размещалась в кормовой части судна. Каждая пара двигателей приводила во вращение при помощи кинематических связанных передач нагнетатель и воздушный винт.

Два винта размещались на пилонах над корпусом в диаметральной плоскости СВП. Пилоны имели возможность поворачиваться вокруг вертикальной оси, чем обеспечивалось изменение направления горизонтальной тяги для управления судном. Два центробежных нагнетателя диаметром 3,8 м через воздухозаборник, расположенный на верхней палубе у основания пилонов, подают воздух в сопла, находящиеся в понтоне по его периметру.

За три года опытной эксплуатации СВП SR.N2 перевезло 33 000 пассажиров и прошло 13 000 морских миль.

СВП SR.N3 имело общую массу 37 т и грузоподъемность 14 т, предназначалось как для гражданских, так и для военных целей, в частности для десантных операций.

Выполняя заказ армии на создание небольшого скоростного СВП, фирма «Уэстленд» спроектировала SR.N5.

SR.N5 (рис. 3) имеет общую массу 7 т, может взять на борт груз массой 2 т или 20 солдат с полной экипировкой либо 26 пассажиров. За кабиной размещается понтон плавучести — основная прочная связь конструкции корпуса. Главная энергетическая установка состоит из газотурбинного двигателя мощностью 770 кВт, приводящего во вращение через редуктор центробежный нагнетатель с вертикальной осью вращения и четырехлопастный воздушный винт изменяемого шага. Гибкое ограждение дает возможность легко преодолевать неровности опорной поверхности, а так-



же такие препятствия, как рвы глубиной 2 м и шириной 3,6 м, покрытые кустарником пригорки высотой до 2 м, вертикальные стены и единичные препятствия высотой до 1 м, морские волны высотой до 2,5 м. Система управления основана на использовании аэродинамических сил на вертикальном и горизонтальном оперении. С целью повышения эффективности рулей направления на малых скоростях дополнительно применяется обдув их воздухом из специальных каналов, к которым воздух подается от подъемной системы СВП

Об универсальности использования этого типа СВП могут свидетельствовать многочисленные области его применения: в военных целях, для пассажирских перевозок, спасательных работ, в геологических экспедициях, полиции. По существу, нет таких климатических условий, в которых АВП SR.N5 не могут быть использованы. Его возможности проверялись в морских условиях, песках пустынь и во льдах севера. Результаты, полученные в ходе испытаний этого СВП, послужили основой для создания еще более совершенного судна — SR.N6, корпус которого на 3 м длиннее SR.N5 при одинаковой ширине. Он также имеет большую общую массу (20,4 т) и грузоподъемность (до 3 т). Пассажирская модификация этого аппарата позволяет взять на борт, кроме водителя, 38 пассажиров. Конструкция СВП SR.N6 в настоящее время совершенствуется, хотя и заслужила себе репутацию надежного транспортного средства.

Самым большим СВП, построенным в Англии, можно считать СВП SR.N4 под названием «Маунтбаттен» (рис. 4), который в 1968 г. открыл регулярную паромную связь на трассе Дувр — Булон, перевозя через пролив Ла-Манш за один рейс

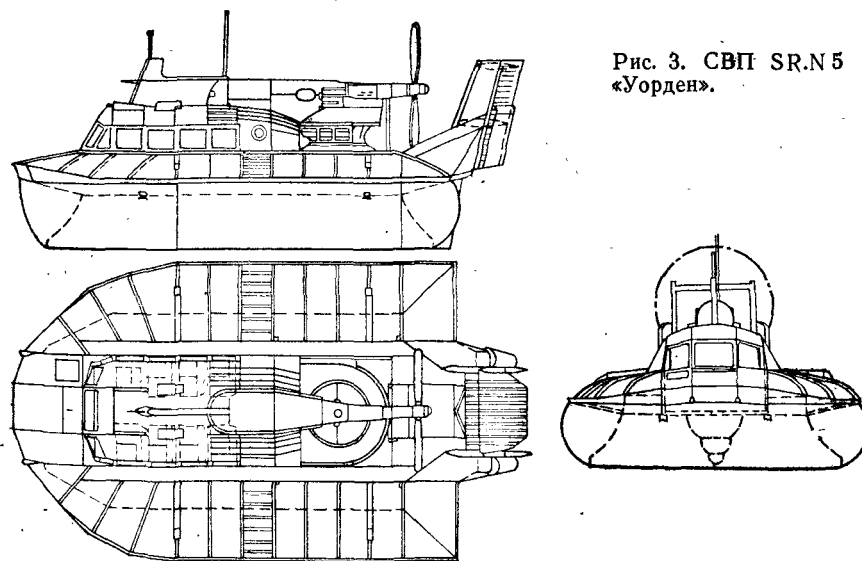


Рис. 3. СВП SR.N5 «Уорден».

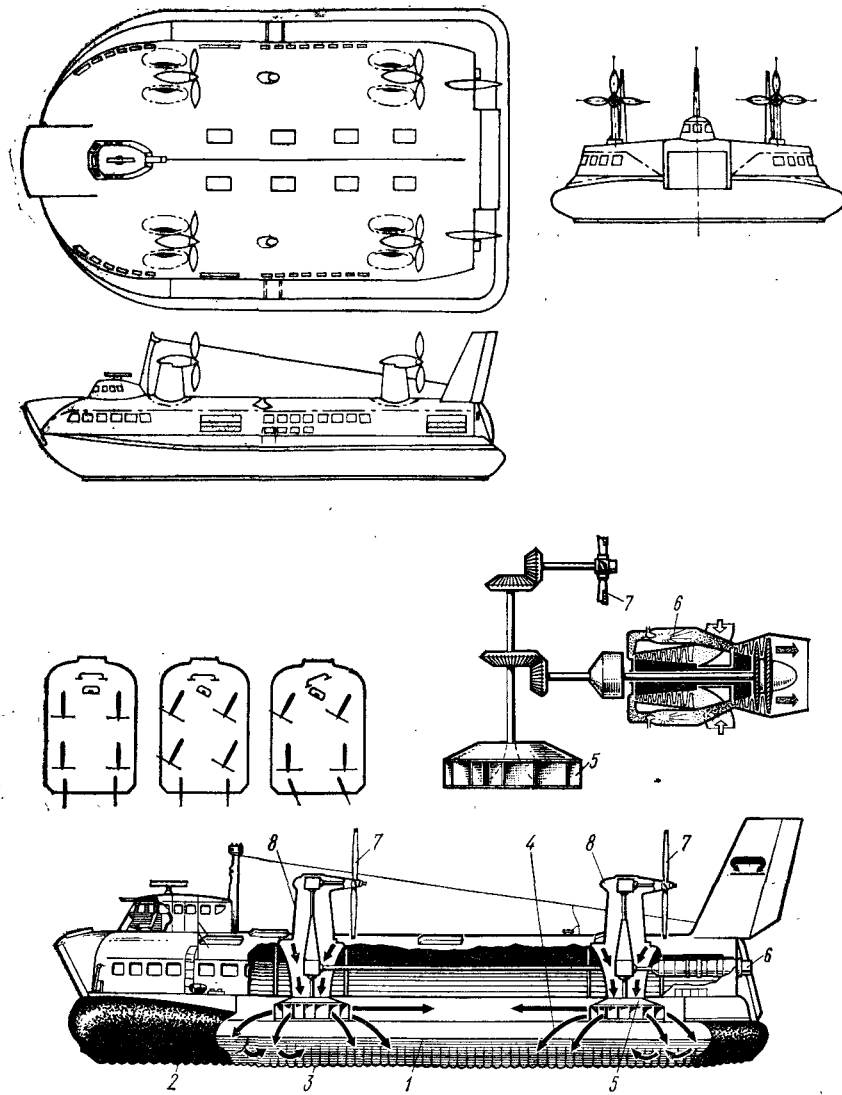


Рис. 4. Крупный СВП постройки 1968 г. SR.N4 «Маунтбаттен».

1—понтон плавучести; 2—гибкое ограждение; 3—поверхность воды; 4—поток воздуха; 5—нагнетатель; 6—газотурбинный двигатель; 7—воздушный винт; 8—поворотный пилон.

254 пассажира и 30 автомобилей, при этом заправка топливом на обратный рейс длится 15 мин. Общая масса СВП — 187 т, грузоподъемность — 85 т, максимальная скорость — 143 км/ч. Судно может передвигаться по морю при высоте волны до 3,6 м. Насколько безопасен этот тип СВП может свидетельствовать тот факт, что СВП, идущее со скоростью 93 км/ч, в случае опасности в состоянии затормозить на отрезке пути примерно в 160 м.

Корпус СВП изготовлен из легких сплавов. Конструктивной основой его является прямоугольный водонепроницаемый понтон, обеспечивающий плавучесть при посадке на воду. Внутри понтона размещены три цистерны для топлива общей емкостью 20,5 м<sup>3</sup>. На палубе понтона установлена надстройка, в бортовых частях которой расположены салоны для пассажиров, а также главные двигатели и механизмы подъемной и тяговой системы судна.

В средней части надстройки помещен грузовой отсек, в носовой и кормовой оконечностях которого имеются аппарели для погрузки и выгрузки автомобилей.

Главная энергетическая установка состоит из четырех газотурбинных двигателей мощностью по 3140 кВт (4250 л. с.), каждый из которых через валопровод, проходящий вдоль судна, приводят во вращение движительно-нагнетательный агрегат, состоящий из центробежного нагнетателя диаметром 3,5 м и воздушного винта диаметром 5,8 м, установленного на поворотном пилоне.

Гибкое ограждение с навесными элементами изготовлено из неопрена, армированного нейлоновой тканью.

Управление судном осуществляется посредством соответствующего поворота пилонов с воздушными винтами по команде водителя.

В рубке предусмотрено четыре места: для капитана, штурмана, радиста и резервное. Для эксплуатации судна в трудных погодных условиях, а также ночью применяются навигационные приборы, в числе которых имеются две радиолокационные станции, специальный радар, измеритель скорости и угла дрейфа.

Рост интереса к СВП, большое количество заказов на их постройку, а также стремление британской промышленности к прибыли в сфере разработки и постройки СВП привели к образованию в 1966 г. концерна «Бритиш Ховеркрафт Корпорейшн» (ВНС), в который вошли три фирмы.

Высокий технический уровень СВП этой корпорации заинтересовал другие государства, например США и Японию, которые приобрели лицензии на постройку некоторых типов СВП или на отдельные важнейшие узлы и агрегаты. Возникновение корпорации ВНС послужило стимулом для расширения работ, проводившихся до этого частным порядком в других странах, как, например, во Франции, где ускорились работы по созданию АВП для движения по земле и железной дороге.

Первым СВП, созданным ВНС, является СВП ВН.7 (рис. 5), предназначенное преимущественно для военных целей как судно для патрулирования и снабжения. Грузоподъемность судна 18 т при общей массе 48 т, скорость около 140 км/ч на спокойной воде.

Корпус СВП ВН.7 подобно судам серии SR.N представляет собой конструкцию, выполненную из легких сплавов и пластмасс. Главная энергетическая установка состоит из одного газотурбинного двигателя мощностью 3140 кВт, приводящего во вращение движительно-нагнетательный агрегат, аналогичный одному из

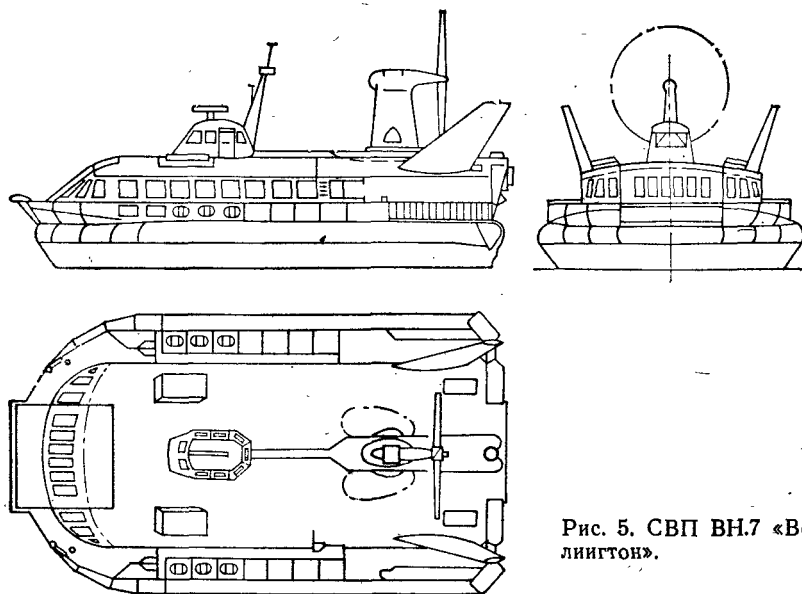


Рис. 5. СВП ВН.7 «Веллингтон».

установленных на СВП SR.N4. Управление в горизонтальной плоскости осуществляется изменением направления тяги воздушного винта при повороте пилона, расположенного в кормовой части.

С 1960 г. в Великобритании начала постройку собственных АВП известная авиационная фирма «Бриттен-Норман». АВП фирмы, за исключением экспериментальной СС-1, характеризуются использованием для создания горизонтальной тяги и воздушной подушки единых центробежных нагнетателей. Благодаря этому АВП завоевали себе репутацию самых бесшумных.

Экспериментальный двухместный АВП СС-1 «Кушенкрафт» был построен в 1960 г. У этого АВП (рис. 6) нагнетатель, по размерам соответствующий кольцевому соплу для образования воздушной подушки, приводился во вращение от двигателя через фрикционную передачу (использовалось автомобильное колесо). Горизонтальная тяга создавалась двумя воздушными винтами (были использованы хвостовые винты вертолета), установленными на стойках в кормовой части аппарата, которые через редукторы и карданные валы приводились во вращение от того же двигателя.

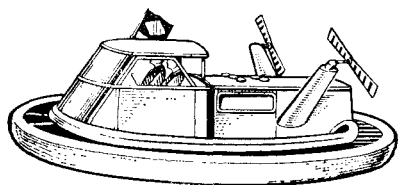


Рис. 6. АВП СС-1.

Аппарат АВП СС-2 (рис. 7), построенный фирмой «Бриттен-Норман», предназначался для движения над водной поверхностью. Этот АВП использовался как грузопассажирское такси, способное взять на борт десять

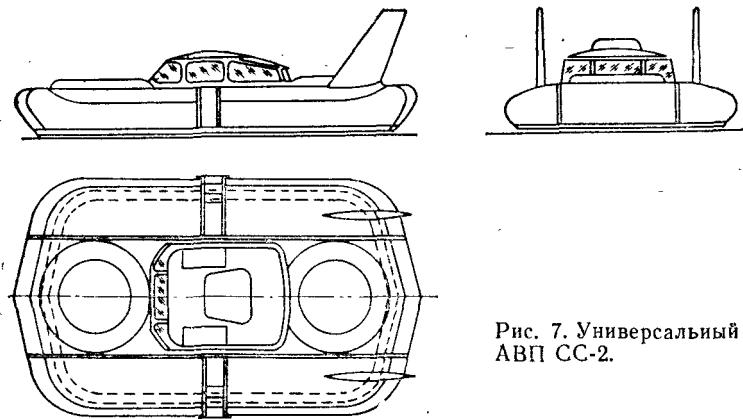


Рис. 7. Универсальный  
АВП СС-2.

пассажира или соответствующий по массе груз. Корпус был изготовлен из легких сплавов. С целью обеспечения его непотопляемости в нижней части корпуса были установлены поплавки. Воздушная подушка создавалась через кольцевое сопло без гибкого ограждения, причем горизонтальная тяга образовалась путем отклонения воздушного потока от нагнетателей непосредственно в кольцевом сопле. Для образования воздушной подушки применили два центробежных нагнетателя диаметром 2,1 м, приводимых во вращение от автомобильного двигателя «Роллс-ройс» объемом 6,2 л. Кабина вместе с мотором размещена в средней части СВП. Прекрасные аэродинамические данные корпуса этого СВП, значительная остойчивость судна во время полета и простая система привода (один двигатель приводит в движение два нагнетателя) привлекли внимание многих моделлистов-любителей.

Появление СВП СС-4 (рис. 8, 9) ознаменовало собой новое направление в дальнейших разработках аппаратов этого типа, характеризующееся размещением нагнетателей на горизонтальной оси вращения в кормовой части корпуса по обе его стороны. Это

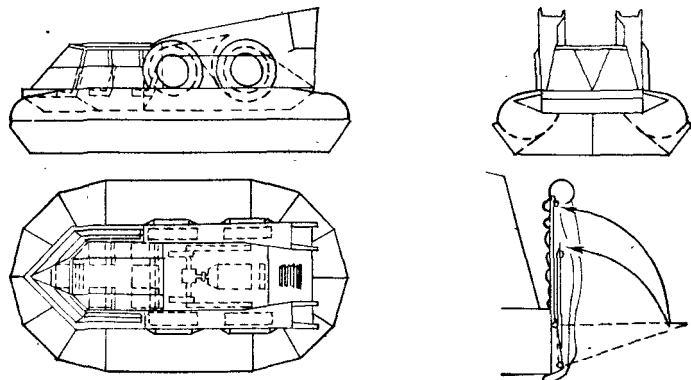


Рис. 8. СВП  
СС-4.

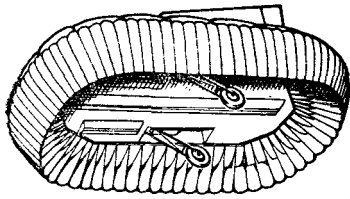


Рис. 9. Гибкое ограждение СВП СС-4.

СВП массой 2 т способно взять на борт семь пассажиров.

Силовой агрегат, состоящий из четырех нагнетателей и одного мотора мощностью 100 кВт, обеспечивал скорость до 70 км/ч.

Улучшенным вариантом СВП СС-4 является модель СС-5. Этот аппарат общей массой 2,2 т берет на борт 12 пассажиров. Так же как и СС-4, он снабжен гибким ограждением воздушной подушки с кольцевым соплом.

Корпус судна изготовлен из пластмассы, армированной стекловолокном.

В 1968 г. было создано СВП СС-7, способное перевозить до десяти человек. СС-7 предназначено для перевозок по воде на короткие расстояния. Сфера его применения — патрульная и санитарная службы, а также местные инженерные работы. Длина корпуса этого СВП — 7,8 м, ширина — 4,6 м, грузоподъемность — 960 кг, общая масса — 2250 кг. Для создания воздушной подушки и горизонтальной тяги используются два центробежных нагнетателя, приводимых во вращение от газотурбинного двигателя мощностью 370 кВт, что позволяет развивать скорость 93 км/ч. Конструкцией корпуса предусмотрена его разборка для перевозки по железной дороге.

Фирма «Воспер Торникрофт» построила СВП VT-1, предназначенное исключительно для эксплуатации на воде. На этом СВП для создания горизонтальной тяги применены два гребных винта регулируемого шага, приводимые во вращение от газотурбинных двигателей мощностью 1470 кВт каждый. От этих же турбин через редукторы приводятся во вращение по четыре центробежных нагнетателя с горизонтальной осью вращения. Полная масса этого СВП — 86,2 т, аппарат берет на борт 22 т груза или 320 пассажиров, его скорость — 90 км/ч. Размеры АВП: длина — 29,1 м, ширина — 13,6 м, высота — 9,5 м (в режиме на воздушной подушке), высота гибкого ограждения — 11,7 м.

Фирма «Ховермарин Лтд» построила скеговое СВП «НМ2», характерными особенностями которого являются низкая стоимость эксплуатации и высокие технико-эксплуатационные показатели. Наличие скегов (боковых стенок воздушной подушки), исключая истечение воздуха, и гибких ограждений воздушной подушки в носу и корме требует небольшого расхода воздуха в подушку и, следовательно, малых затрат мощности на ее образование. Вследствие этого «НМ2» может конкурировать с классическими водоизмещающими судами и судами на подводных крыльях. К основным его достоинствам следует отнести значительную скорость, отсутствие сноса при боковых ветрах, широкие возможности маневрирования и плавность хода, причем для экипажа «НМ2» не требуется длительной специальной подготовки.

Четыре центробежных нагнетателя, установленные в носовой части корпуса, приводятся во вращение дизельным двигателем мощностью 118 кВт. Движение обеспечивается двумя гребными винтами. При общей массе 19 т это СВП имеет максимальную скорость 65 км/ч.

Фирма «Виккерс» проводит исследования совершенно в другом направлении, чем уже названные фирмы. Она занимается разработкой сухопутных АВП на колесах, которые также снабжены воздушной подушкой. Примером такой конструкции может служить сухопутный АВП «Лендровер» и дорожный прицеп большой грузоподъемности. В этих транспортных средствах применение воздушной подушки позволяет уменьшить удельное давление на грунт колес транспортных платформ, благодаря чему они одинаково хорошо могут двигаться по мокрой пахоте и сухой поверхности. Платформа на воздушной подушке, передвигаясь по дороге или мосту с ограниченной прочностью покрытия, не наносит ему повреждений, так как давление распределяется равномерно по площади опорной поверхности. Такая платформа может перевезти груз массой до 330 т, при этом давление в воздушной подушке достигает 39 кПа.

### 1.2.2. Французские АВП

Наиболее известным во Франции институтом по разработке АВП является институт Бертина. В этом институте создано целое семейство самоходных транспортных АВП с воздушной разгрузкой, отличающихся различными системами создания горизонтальной тяги (рис. 10). Перечислим некоторые из них: «ВС-4» — с движением от горизонтальной аэродинамической тяги двигателя; «ВС-6» — с приводом на два колеса, переднее служит для управления, а заднее является ведущим; «ВС-7» — с классической четырехколесной компоновкой, при этом колеса снабжены лопатками для передвижения над водой; «ВС-8» — с движением от двух агрегатов воздушный винт — мотор.

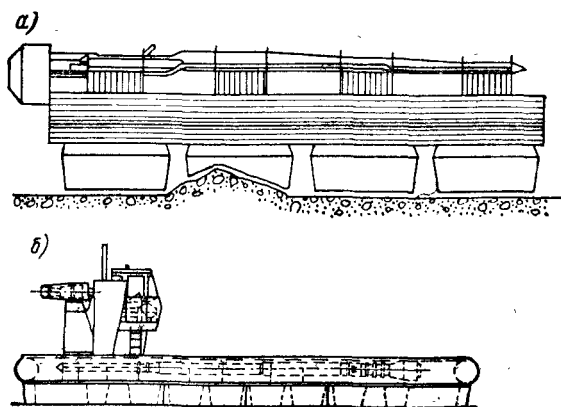


Рис. 10. Транспортная платформа на воздушной подушке института Бертина: а — «ВС-4»; б — «ВС-8».

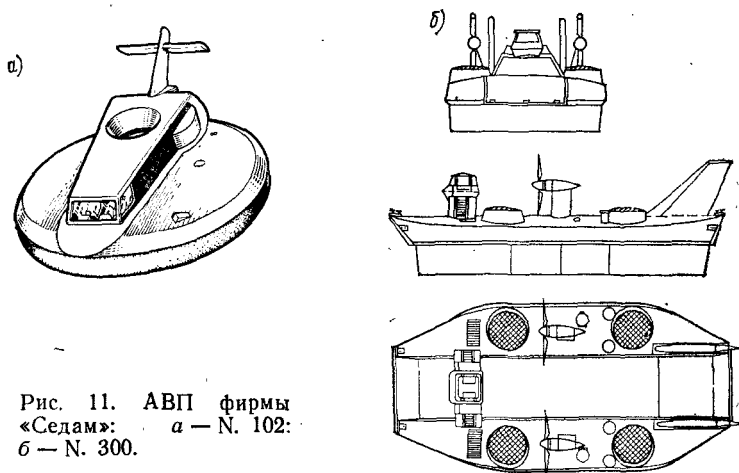


Рис. 11. АВП фирмы «Седам»: а — N. 102; б — N. 300.

Все эти АВП имеют общую особенность: наличие большого количества кольцевых юбок в форме усеченного конуса, обращенного к опорной поверхности. Общая масса конструкций достигает 3—4 т, грузоподъемность — 2 т при давлении в воздушной подушке от 2 до 3 кПа. Общая мощность двигателей АВП доходит до 180 кВт, за исключением «ВС-8», оснащенного двумя моторами мощностью 147 кВт каждый. Скорость перечисленных АВП при полной загрузке — 70 км/ч. Их размеры следующие: длина — от 9 («ВС-6») до 10 м («ВС-8»), ширина — от 3,3 («ВС-6») до 5 м («ВС-8»), высота — от 2,2 до 2,7 м.

Заслугой института Бертина является создание АВП железнодорожного типа. Передвигаются эти аппараты по бетонной эстакаде, имеющей в сечении форму перевернутой буквы «Т». Нижняя плоскость служит опорной поверхностью, вертикальная перегородка является центрирующей, т. е. направляет движение в горизонтальной плоскости. Горизонтальная тяга у подобных аппаратов может создаваться воздушными винтами в кольце или без него, реактивными двигателями, а также линейными электродвигателями, получившими наибольшее развитие в последнее время.

Аппараты фирмы «Седам» (рис. 11) предназначены для движения как по воде, так и по суше. Их характерной особенностью является наличие гибкого ограждения многокамерного типа.

Первым экспериментальным образцом этого типа был СВП «Нэвиллан» N.101. Его масса составляла 420 кг, а скорость достигала 60 км/ч. Улучшенная модификация N.102 спроектирована в форме диска, на котором размещена надстройка в виде фюзеляжа самолета.

Следующим СВП было N.102-с, развивающее скорость до 115 км/ч при массе 4 т, на борт берет кроме водителя 13 пассажиров. Его размеры: длина — 10,25 м, ширина — 7,7 м, высота — 3,6 м.



Дальнейшим шагом в развитии СВП явилась модель N.300. Это тридцатитонное судно движется со скоростью 110 км/ч, берет на борт 90 пассажиров. Воздушная подушка создается четырьмя (по два с каждого борта) осевыми нагнетателями, горизонтальная тяга — двумя воздушными винтами, установленными на пилонах, расположенных по бортам корпуса СВП. Каждый комплекс одного борта приводится во вращение через трансмиссию по бортам корпуса СВП от газотурбинного двигателя мощностью 100 кВт. В носовой и кормовой частях корпуса расположены откидные аппарели с гидроприводом, предназначенные для погрузки и выгрузки транспортных средств.

Параллельно с испытанием СВП N.300 фирма «Седам» приступила совместно с институтом Бертина к созданию еще большего аппарата N.500. Его общая масса достигает 260 т.

### **1.2.3. Американские АВП**

SKMR-1 — первый экспериментальный американский АВП был спроектирован в 1961 г. фирмой «Белл». Он предназначался для передвижения по воде и суше. Масса — 20 т, максимальная скорость — 120 км/ч. Воздушная подушка создавалась четырьмя (по два с каждого борта) осевыми нагнетателями через кольцевое сопло. Горизонтальная тяга обеспечивается двумя воздушными винтами в кольцах — насадках, позади которых установлены аэродинамические рули направления. Привод воздушного винта и нагнетателей каждого борта осуществляется от двух газотурбинных двигателей через систему валов и редукторов, образующих кинематически связанную трансмиссию. Наличие колец на воздушных винтах увеличивает тягу приблизительно на 30%.

Используя закупленные лицензии на SR.N5 и SR.N6, «Белл» приступила к их постройке по заказам различных фирм США, назвав свои модели SK-5 и SK-6. Первое предназначалось для военных целей, второе — для пассажирских перевозок. Положительные результаты использования этих моделей побудили фирму к разработке еще более крупных аппаратов: SK-9 и SK-10.

СВП SK-10 представляет собой чисто военное судно для десантных операций. Оно берет на борт танки и бронетранспортеры общей массой до 60 т.

Канадским филиалом фирмы «Белл» был спроектирован оригинальный аппарат «Вояджер». Это уникальная конструкция, выполненная в форме плоской платформы, на которой в зависимости от требований, предъявляемых к различным модификациям СВП, можно размещать грузы или специальные устройства. Благодаря этой особенности конструкции «Вояджер» является многоцелевым АВП и может применяться в качестве универсального патрульного судна, парома-транспорта или платформы для перевозки военных грузов и вооружения. Судно надежно в сложных метеорологических условиях и может передвигаться по льду,

тундре, над болотами и т. п. Это СВП может транспортировать 25 т груза либо 200 пассажиров с багажом. Причем его скорость над спокойной водной поверхностью достигает 100 км/ч. Подъемная и движительная системы подобны системам, применяемым на других СВП этой фирмы. Особенностью «Вояджера» является то, что его конструкция разборная, благодаря этому его можно перевозить автотранспортом, по железной дороге и воздуху.

Концерн «Дженерал Дайнемикс Корпорейшн» работает над созданием АВП «SKIP», что позволит начать разработку серии АВП, развивающих скорость до 200 уз (370 км/ч) и имеющих общую массу до 5000 т.

Параллельно с работами по проектированию АВП для передвижения над сушей и водной поверхностью в США проводятся исследования в области создания аппаратов, использующих эффект влияния поверхности земли на крыло самолета. Такой АВП, называемый экранопланом, можно считать самым быстрым СВП, летающим над поверхностью воды. При незначительных скоростях он плывет подобно моторной лодке, но по мере увеличения скорости выходит в режим глиссирования, постепенно отрывается от поверхности, при этом возникает эффект устойчивого парения над водой. Исследования показали, что этому типу СВП требуется на 30% меньше мощности, чем классическим надводным СВП.

#### **1.2.4. Советские АВП**

После постройки в 1962 г. первых советских СВП «Радуга» и «Нева» в СССР проводятся интенсивные исследования в области создания АВП. В 1967 г. поступили в эксплуатацию амфибийные СВП «Сормович» и скеговое «Заря», а в 70-е гг. закончена постройка еще нескольких типов СВП.

СВП «Сормович» (рис. 12) берет на борт 50 пассажиров, оно предназначено для перевозок по внутренним водным путям со скоростью до 140 км/ч. Воздушная подушка создается осевым нагнетателем через двухрядное кольцевое сопло с гибким ограждением высотой около 1 м. Для движения применены два воздушных винта изменяемого шага, помещенные в кольца. В потоке воздуха за воздушными винтами установлено по два руля направления. Нагнетатели и воздушные винты приводятся во вращение от газотурбинного двигателя мощностью 1970 кВт.

Скеговое СВП «Заря» (рис. 13) принимает на борт 48 пассажиров, развивает скорость 34 км/ч. Это СВП предназначено для внутренних мелководных водоемов и может эксплуатироваться только в летнее время, когда поверхность рек не покрыта льдом. Главная энергетическая установка состоит из дизельного мотора мощностью 173 кВт, который приводит во вращение центробежный нагнетатель, создающий воздушную подушку, и водометный движитель, обеспечивающий движение.

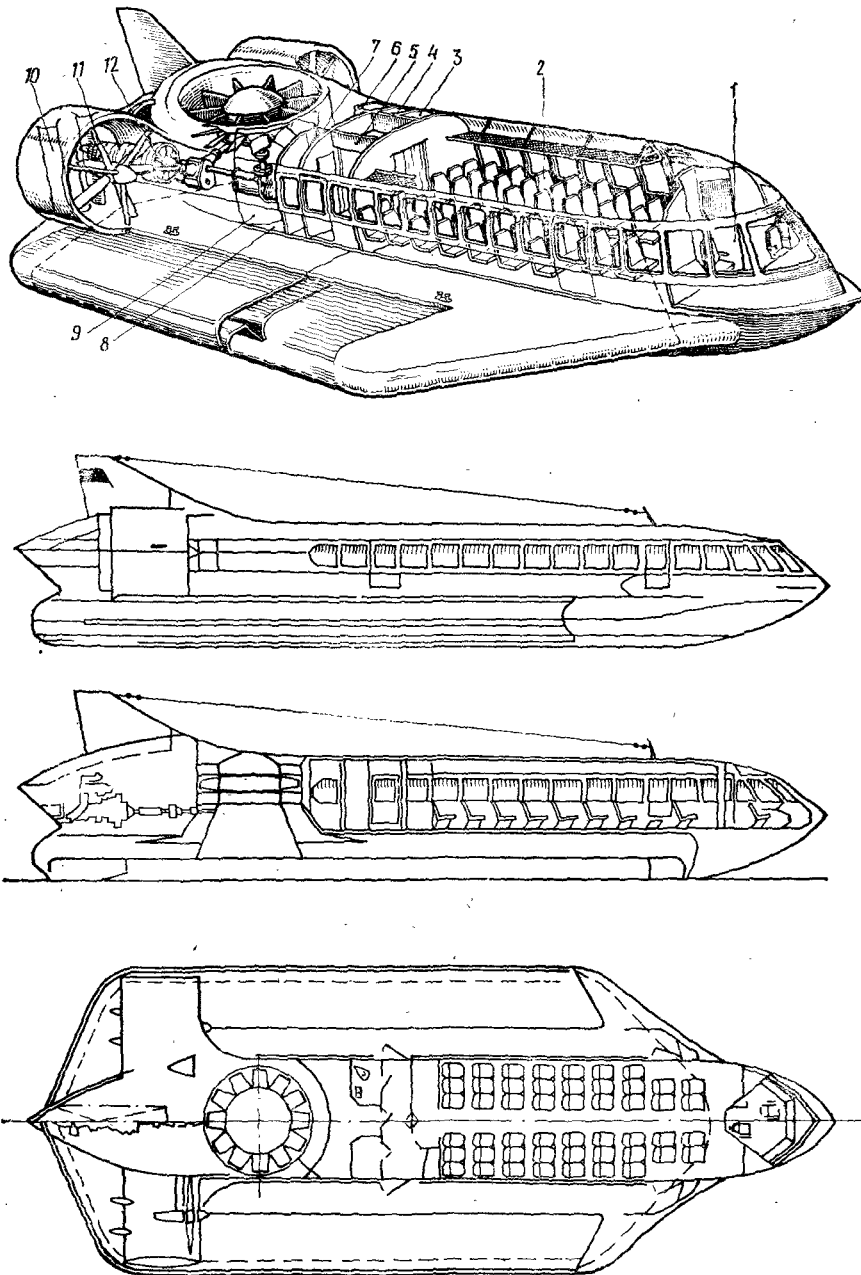


Рис. 12. Советское судно на воздушной подушке «Сормович».  
 1—кабина экипажа; 2—салон для 50 пассажиров; 3—крыша; 4—вход на судно; 5—буфет;  
 6—туалет; 7—кладовая; 8—багажное отделение; 9—переборка; 10—рули направления;  
 11—воздушный винт; 12—газотурбинный двигатель.

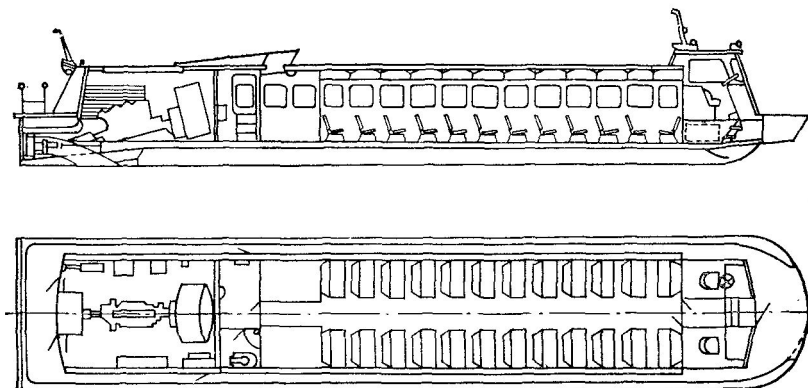


Рис. 13. Скеговое СВП «Заря».

В настоящее время проводятся работы по созданию и опытной эксплуатации АВП нового поколения, пригодных для перевозки большого количества пассажиров, а также грузов и снаряжения и предназначенных для различных климатических условий.

### 1.3. Различные области применения АВП

Сферы применения АВП постоянно расширяются. Так, во внутризаводских условиях в широких масштабах стали применяться такие приспособления на воздушной подушке, как скиды, транспортеры, самоходные шасси, буксируемые платформы и т. п.

Образцом серийного скида может служить аппарат фирмы «Кларк экуипмент Ко», работающий с использованием принципа воздушной пленки. Аппарат экономичен, прост в эксплуатации, надежен в работе. Он облегчает перевозку грузов массой до 3000 кг. Скид может передвигаться в небольших помещениях, над невысокими препятствиями. Его используют и в сочлененном варианте — для транспортировки тяжелых деталей или крупных механизмов.

Транспортеры на воздушной подушке служат для перемещения мешков, пакетов, бумажных кип и т. п. на складах, внутри автомашин, самолетов и в трюмах судов. Основными агрегатами транспортера являются автоматические клапаны, размещенные под платформой. Клапаны закрыты, если тележка не загружена, и открываются, давая возможность для прохода воздушного потока в момент, когда груз помещен на платформу. Мешок массой 80 кг может быть перевезен при помощи этого транспортера с применением горизонтальной тяги около 5 кг или же по плоскости с уклоном в  $0,5^\circ$  по направлению движения.

Платформы на воздушной подушке проектируются для транспортировки сельскохозяйственных машин или продукции по па-

хоте или бездорожью. При этом благодаря малому удельному давлению почва не повреждается.

С точки зрения конструкции такая платформа весьма простое приспособление, снабженное несущей воздушной камерой или кольцевым соплом. Малые платформы имеют ручную тягу и управление, а крупные — буксируются при помощи тягача или вездехода.

Ведутся работы по применению АВП в сельском хозяйстве для удобрения почвы и ухода за деревьями в условиях бездорожья. Незначительное удельное давление на почву дает возможность работать с ранней весны на переувлажненной земле и до глубокой осени, т. е. практически круглый год. При этом почва не утрамбовывается. Для этих целей созданы АВП с частично разгруженными колесами либо полностью парящие над землей. Примером АВП первого типа может служить упомянутый ранее автомобиль «Лендровер», снабженный воздушной подушкой. В этой конструкции удельное давление колеса на почву можно регулировать в зависимости от давления воздуха в подушке. Отрыв колес возможен при давлении воздуха в подушке 2,4 кПа, что составляет 70% от максимального давления.

Существуют и другие АВП этого типа, для которых характерно наличие системы, функционирующей с помощью воздушного винта и рулей, размещенных в потоке воздуха за ним.

Еще одной новой, очень популярной и перспективной областью развития принципа движения на воздушной подушке является создание моделей АВП, а также конструирование и постройка АВП в любительских условиях. Толчок развитию любительских АВП дала работа конструкторов-профессионалов.

#### 1.4. АВП в Польше

В Польше, как и в других странах, проводились исследовательские работы по созданию АВП. Уже в 1959 г. автор этой книги приступил к работе в авиационном институте по созданию модели аппарата с воздушным ресивером и кольцевым соплом. Одновременно исследовалось влияние земли на воздушный винт. На основе этих изысканий в 1959—1960 гг. был построен экспериментальный АВП с кольцевым соплом, на котором использовался мотор мощностью 48 кВт.

В 1962 г. в Центре внутреннего транспорта при Объединении строительных машин была разработана модель малой платформы по проекту автора. На основе проведенных исследований создана буксируемая платформа большего размера, предназначенная для транспортировки заготовок в условиях заводских цехов. Одновременно была проанализирована возможность применения и развития в Польше системы внутривозвездского транспорта на воздушной подушке.

В 1964 г. автор проводил работу по постройке небольших моделей АВП и созданию малогабаритных любительских АВП в

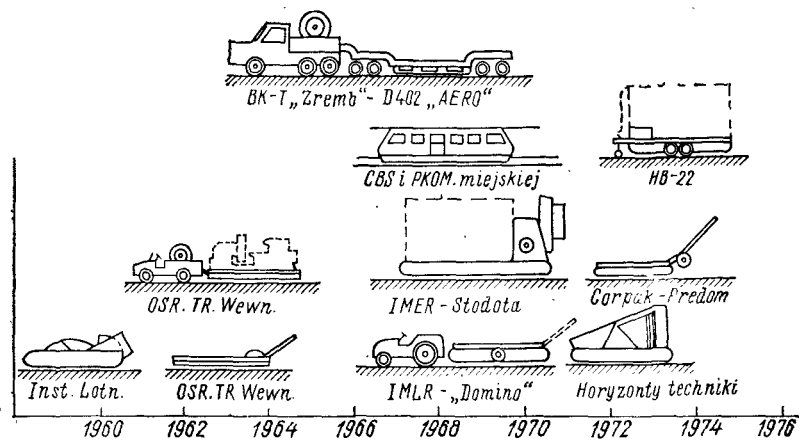


Рис. 14. Развитие транспортных средств в Польше в 1958—1975 гг.

молодежном Доме культуры «Муранов» в Варшаве. В 1966 г. автор разработал проект дорожного прицепа большой грузоподъемности. Грузоподъемность этого прицепа — 40 т. В 1967—1969 гг. под руководством автора в Институте механизации и электрификации сельского хозяйства на специально спроектированном испытательном стенде проводились исследования влияния воздушной подушки на поверхностный слой почвы и растения в различных стадиях вегетации. Эти исследования были подтверждены в полевых условиях: испытывалась платформа на воздушной подушке грузоподъемностью 500 кг. Результатом проведенных исследований явилась разработка проекта сельскохозяйственного АВП типа «Стодола» грузоподъемностью 10 т.

По поручению Центрального бюро исследований и проектов городских коммуникаций в Варшаве автор проанализировал возможности АВП в системе городского транспорта Варшавы. Такая же работа была проведена и по поручению Центра исследований и развития техники в системе железнодорожного транспорта, что создало предпосылки для развития в Польше транспортных систем АВП, включая железнодорожные. В 1971 г. в Главном центре развития промышленных потребительских артикулов «Предом» автор сконструировал скид на воздушной подушке грузоподъемностью 400 кг на базе бытового пылесоса.

В тот же период автор построил по своему проекту модель-прототип двухместного АВП, предназначенного для любительского конструирования. Этот проект был помещен в журнале «Горизонты техники». Проведенные в сентябре 1971 г. испытания на аэродроме «Гослав» в Варшаве показали хорошие ходовые качества модели, остойчивость, а также эффективность управления.

Используя прежние достижения (рис. 14), автор продолжает работу над АВП новых поколений.

В Кораблестроительном институте города Гданьска создаются надводные АВП. Совсем недавно были разработаны АВП сельскохозяйственного профиля в Институте механизации сельского хозяйства Академии сельскохозяйственных наук в Варшаве.

### **1.5. Тенденции развития АВП**

В ходе совершенствования АВП создаются новые типы аппаратов с улучшенными техническими и эксплуатационными качествами. Тенденции развития АВП следующие:

— увеличение габаритов и массы, а вследствие этого и грузоподъемности надводных АВП позволит быстрее транспортировать грузы;

— постройка самых быстроходных надводных АВП — экранопланов, на борту которых могут размещаться по 500 и более пассажиров, причем в комфортабельных условиях; скорость движения экранопланов превышает 60 км/ч, что делает их конкурентами пассажирских лайнеров;

— распространение во многих странах мира железнодорожных АВП по мере развития сети дорог и включения их в систему международных перевозок, приспособление их габаритов и оборудования к возрастающему потоку пассажиров;

— использование особенностей конструкции сухопутных АВП для быстрого передвижения по отведенным для них участкам автострад, которые имеют специальный профиль, обеспечивающий устойчивость движения, а также развитие платформ большой грузоподъемности для транспортировки тяжелых грузов;

— увеличение грузоподъемности средств местного и внутризаводского транспорта на воздушной подушке, улучшение устойчивости и системы управления, позволяющих заменить в ряде случаев традиционный колесный транспорт.

### **1.6. Примерная классификация аппаратов и приспособлений на воздушной подушке**

Классифицируют АВП по принципу образования воздушной подушки, характеру поверхности, над которой они движутся, а также по назначению или выполняемой работе. По назначению АВП могут быть пассажирскими, транспортными, спортивными, туристическими, сельскохозяйственными, военными, спасательными, промышленными и др.

По принципу образования воздушной подушки АВП делят на два основных типа: с динамической воздушной подушкой и со статической воздушной подушкой. Каждая из групп подразделяется на подгруппы:

1. АВП с динамической воздушной подушкой: крыло с опущенной задней кромкой; крыло туннельного типа, свободное крыло.

2. АВП со статической воздушной подушкой: камерная схема с жестким или гибким ограждением воздушной подушки; камерная схема с боковыми стенками (скегами), уплотненные только в носовой части корпуса либо одновременно в носовой и кормовой частях корпуса; сопловая схема с кольцевым соплом — жестким или гибким; схема, в которой используется влияние экрана (земли, воды и т. п.) на воздушный винт.

В зависимости от вида поверхности, над которой передвигается АВП, различают надводные, надводно-сухопутные, а также сухопутные. Они, в свою очередь, делятся на подгруппы:

1. Надводные АВП: с полным отрывом от воды и тягой от воздушного движителя, с полным отрывом от воды и тягой от водяного движителя (водомет или гребной винт); скеговые СВП; экранопланы, а также суда с аэродинамической разгрузкой.

2. Надводно-сухопутные АВП: с полным отрывом от поверхности и тягой от воздушного движителя; движущиеся при помощи лопастных колес (дорожные); самолеты-амфибии с шасси на воздушной подушке.

3. Сухопутные АВП: колесные с разгрузкой; буксируемые прицепы и платформы; приспособления и средства внутризаводского транспорта; железнодорожные; самолеты с шасси на воздушной подушке; платформы на воздушной подушке;

Следует добавить, что приведенная выше классификация АВП может быть продолжена. Например, надводные АВП можно разделить еще на аппараты, применяющиеся на внутренних водах, в прибрежных водах и на море.

### **1.7. Интерес модельстов и конструкторов-любителей к АВП**

Прогресс в области проектирования и постройки промышленных образцов АВП не мог не вызвать интерес модельстов и конструкторов-любителей к постройке аппаратов небольших размеров, предназначенных для спортивных состязаний и туризма. После изучения аппаратов различных типов и схем создания воздушной подушки конструкторы-любители стали строить модели или небольшие аппараты, способные приподниматься над поверхностью. На современном этапе их волнует совершенствование конструкций и достижение высоких эксплуатационных качеств.

Вслед за моделями современных АВП началось создание моделей аппаратов будущего. Помощниками в деле развития моделизма АВП можно считать технические журналы, а также деятельность конструкторов и специальных фирм, которые предлагают модельстам готовые чертежи моделей, материалы для постройки аппаратов, а также наборы узлов для индивидуального моделирования. Некоторые любители предпочитают создавать собственные конструкции, используя смелые, новаторские решения, причем нередко они превосходят промышленные образцы.



Создание моделей АВП осуществляется в соответствии с общими законами, характерными для моделирования вообще. Часто при этом используется также достигнутый опыт в других областях моделирования. Хотя способы постройки моделей АВП и отличаются в принципе от способов создания других моделей, тем не менее двигатели для моделей, сама технология постройки, материалы и оборудование, а также системы управления либо приспособлены, либо целиком заимствованы из других областей моделирования.

Любительские аппараты на воздушной подушке с точки зрения их конструкции, технологии постройки и назначения в отличие от промышленных АВП обладают своими собственными оригинальными, характерными чертами. Поэтому они не похожи ни на один из традиционных транспортных средств настоящего времени. Их невозможно сравнить ни с автомобилем, ни с аэросанями, хотя АВП могут передвигаться по воде, как моторная лодка, по суше — как автомобиль, а по снегу — как сани.

Следует добавить также, что любительские АВП способны передвигаться по размокшему грунту, над лугами, кустарником, не повреждая их. Хотя высота парения любительских АВП и незначительна, они обладают многими качествами, которые роднят их с летательными аппаратами: у тех и других аппаратов много общего в конструкции, механике полета, оборудовании и внешней форме. Создатели тех и других аппаратов большое значение придают их обтекаемости, что способствует снижению аэродинамического сопротивления.

Любительские АВП для туризма и спорта, в сущности, представляют своим создателям возможность сконструировать средство передвижения, эксплуатация которого не ограничена ни характером поверхности (вода, суша, снег), ни временем года, ни атмосферными условиями. Эти аппараты могут развивать при движении над водой значительную скорость, что невозможно на традиционной моторной лодке, которая как бы «приклеена» к воде. Таким образом, АВП представляет собой новое слово в области спортивной и туристической техники.

Спорт и туризм с использованием любительских АВП имеют достаточно глубокие традиции в Западной Европе. Регулярно проводятся различные соревнования АВП, гонки любительских моделей и дальние походы на АВП. В Западной Европе существует организация, называемая «Ховер-клуб». Она объединяет владельцев и конструкторов-любителей АВП для обмена опытом, идеями, а также для организации соревнований, защищает интересы конструкторов-любителей АВП. Все национальные отделения «Ховер-клуба» объединены в Международную федерацию.

## Теоретические основы принципа движения на воздушной подушке и аэродинамики АВП

### 2.1. Влияние близости опорной поверхности (экрана) на крыло

Принцип поддержания аппаратов, известный как принцип движения на воздушной подушке, представляет собой явление возникновения сил поддержания (динамического или статического давления воздуха под днищем АВП), способных удерживать аппарат над опорной поверхностью.

Динамическая воздушная подушка возникает при движении АВП вблизи опорной поверхности вследствие ее влияния на крыло с опущенной задней кромкой (рис. 15, а); крыло туннельного типа с концевыми шайбами (рис. 15, б); свободное крыло (рис. 15, в).

Для создания статической воздушной подушки кроме опорной поверхности требуется нагнетатель — источник давления под днищем АВП. Наибольшее распространение получили следующие схемы создания статической воздушной подушки:

— взаимодействие воздушного винта (изолированного или в кольце) с опорной поверхностью (рис. 15, г);

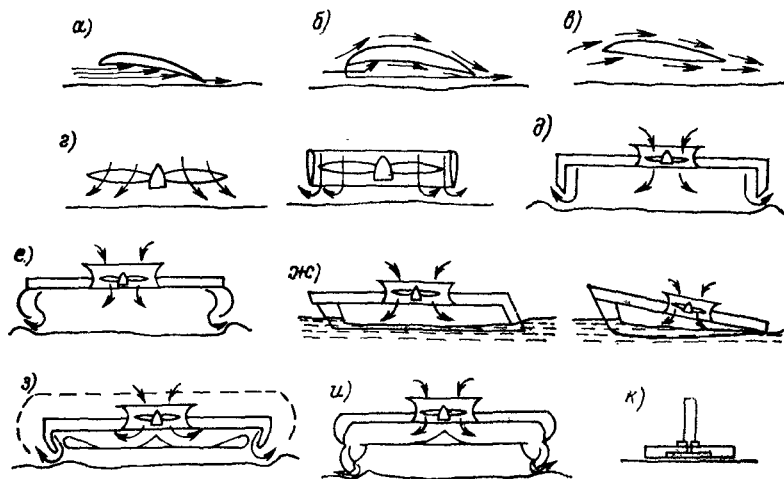


Рис. 15. Типы воздушной подушки.

— камерная схема с ее разновидностями: жесткими стенками и полным отрывом от опорной поверхности (рис. 15, *д*), с гибким ограждением воздушной подушки (рис. 15, *е*), с жесткими, частично погруженными бортовыми стенками (рис. 15, *ж*);

— сопловая схема с периферийным жестким (рис. 15, *з*) и гибким (рис. 15, *и*) соплами;

— воздушная пленка (рис. 15, *к*).

АВП, для создания силы поддержания которых используется эффект влияния близости экрана на аэродинамическое крыло, названы экранопланами. Эффект влияния экрана в основном зависит от высоты полета крыла  $h$ . Расположение крыла над экраном измеряется относительной высотой  $\bar{h} = h/b$ , где  $h$  — высота задней кромки крыла над экраном,  $b$  — хорда крыла. Экспериментальными и теоретическими исследованиями установлено, что заметное влияние экрана на аэродинамические характеристики крыла проявляется при  $\bar{h} < 1$ , т. е. при движении на высоте, которая меньше хорды крыла.

Эффект влияния экрана на крыло в основном заключается в следующем.

1. Увеличение подъемной силы крыла вследствие повышения давления воздуха между нижней поверхностью крыла и экраном, вызываемое подтормаживанием потока. При очень малых расстояниях от экрана ( $\bar{h} = 0,1 \div 0,2$ ) давление повышается и максимальное значение может достигнуть величины скоростного напора  $q = \rho v^2/2$ .

2. Снижение лобового сопротивления крыла путем уменьшения схода потока за крылом и, как следствие, снижение индуктивного сопротивления крыла.

На использовании влияния близости экрана на крыло или принципа динамической воздушной подушки строятся разного рода аппараты, передвигающиеся вблизи земли или воды, например крылатые лодки и экранопланы.

Эффект влияния опорной поверхности на воздушный винт, изучение которого было начато в авиации, проявляется исключительно при взлете и приземлении. Этот эффект используется и при постройке «летающих платформ».

Влияние близости опорной поверхности на характеристики воздушного винта проявляется прежде всего в увеличении силы тяги, причем тем сильнее, чем ближе к земле находится винт. Объяснить это явление можно торможением воздушных потоков за воздушным винтом при приземлении, в результате чего под ним наблюдается значительное повышение давления.

## **2.2. Камерная схема создания воздушной подушки**

В наиболее простой схеме создания воздушной подушки — камерной — нагнетатель подает воздух в камеру под аппаратом, называемую подкупольным пространством или нагнетательной

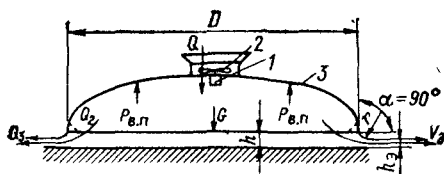


Рис. 16. Камерная схема.  
1—двигатель; 2—нагнетатель; 3—корпус.

Высота подъема зависит от мощности приводного двигателя нагнетателя, если принять, что количество воздуха, поступающего в камеру, равно количеству воздуха, выходящему из нее.

Для этих условий равновесия получим

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = F_3 v_3,$$

где  $Q$  — объемный расход воздуха;  $F_3$  и  $v_3$  соответственно эффективная площадь зазора между опорной поверхностью и корпусом аппарата и эффективная скорость истечения.

Для аппарата круговой формы в плане эффективная площадь

$$F_3 = \pi(D + 2r)h_3,$$

где  $r$  — радиус скругления стенок нагнетательной камеры;  $h_3$  — эффективная высота над поверхностью.

Если принять  $h_3 = \epsilon h$  (рис. 17), можно считать, что  $r = h - h_3 = h(1 - \epsilon)$ , отсюда

$$F_3 = \pi \epsilon h [D + 2h(1 - \epsilon)].$$

Скорость истечения воздуха  $v_3$  из подкупольного пространства в атмосферу можно приближенно определить по формуле

$$v_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \rho} \left[ \frac{1}{\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{1/2}} \right].$$

В этой формуле  $\rho_0$  — плотность воздуха при атмосферном давлении;  $\rho$  — плотность воздуха, сжатого нагнетателем.

Подставив в формулу значение давления в воздушной подушке

$$p_{в.п} = \frac{G}{F},$$

где  $F = (\pi/4) D^2$ , получим

$$v_3 = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \frac{G}{F}} \left[ \frac{1}{\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{1/2}} \right].$$

Окончательная формула для объемного расхода воздуха, выхо-

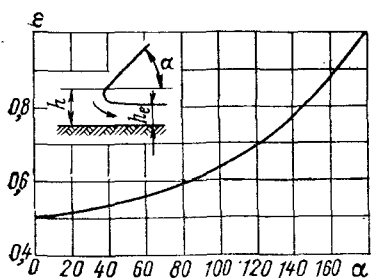


Рис. 17. Зависимость коэффициента сжатия струи от угла наклона боковой стенки корпуса аппарата.

дящего из подкупольного пространства, имеет вид

$$Q = \pi \varepsilon h [D + 2h(1 - \varepsilon)] \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \frac{G}{F}} \left[ \frac{1}{\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{1/2}} \right].$$

Мощность двигателя привода нагнетателя при малых давлениях рассчитывается по формуле

$$N_{в.п} = \frac{pQ}{\eta} = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho_0} \frac{G}{F}} \pi \varepsilon h [D + 2h(1 - \varepsilon)] G}{\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^{2/2} F \eta},$$

где  $\eta$  — КПД нагнетателя.

### 2.3. Движение воздуха в воздушном тракте и анализ потерь давления

Плохо спроектированные воздушные тракты в зависимости от конфигурации могут иметь сопротивление, на преодоление которого уйдет свыше 60% мощности двигателя привода нагнетателя, однако эти потери можно ограничить до 30% (рис. 18).

Стенки воздушных каналов АВП имеют определенную шероховатость, которая влияет на значение коэффициента трения  $\lambda$  при турбулентном течении, тогда как в области ламинарных течений ( $Re < 2300$ ) изменение значения этого коэффициента незначительно.

Зависимость коэффициента трения  $\lambda$  от шероховатости каналов для различных значений числа  $Re$  приведена на графике (рис. 19), построенном по экспериментальным данным Никурадзе.

Независимо от потерь давления от трения на всей длине прямолинейных либо слегка искривленных каналов постоянного сечения в воздушном тракте существуют местные потери, связанные с резким увеличением либо уменьшением поперечного сечения и изменением направления движения воздуха (изгибы или изломы канала, имеющие малый радиус кривизны). Источниками

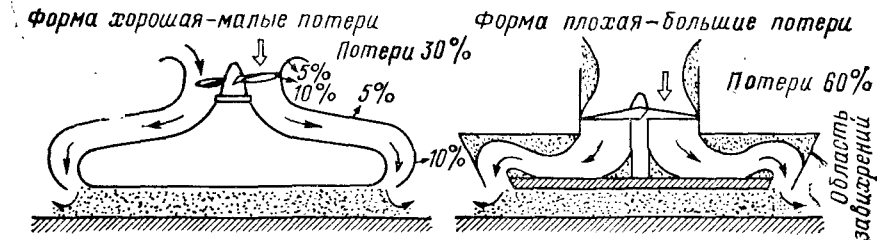


Рис. 18. Сравнение формы воздушных трактов АВП: а — хорошо спроектированные; б — плохо спроектированные.

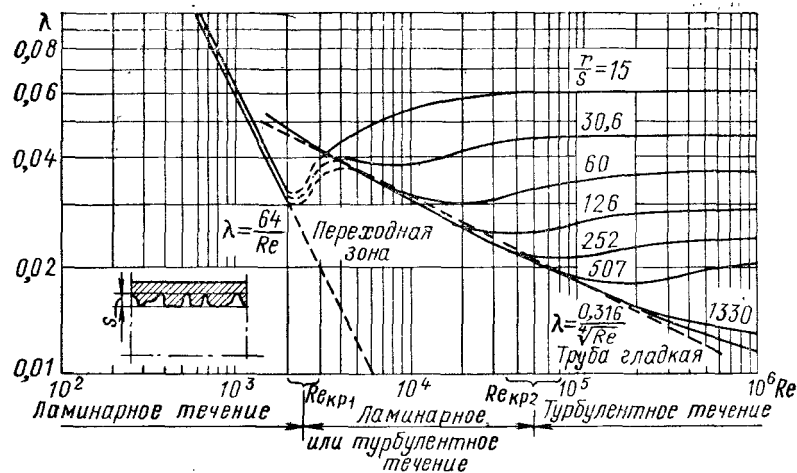


Рис. 19. График Никурадзе.

местных потерь могут быть также различного рода входные и выходные отверстия воздухопроводов и т. д. Эти потери определяются по следующей формуле:

$$h_m = \zeta_m = \frac{v^2}{2g},$$

где  $h_m$  — местные потери;  $\zeta_m$  — коэффициент местных потерь.

Значение коэффициента  $\zeta_m$  зависит от числа Re, характеризующего течение.

Для вычисления потерь по всему каналу используют формулу

$$h_n = \Delta p_n = \lambda \frac{l}{d} = \frac{v^2}{2g} + \sum h_m = \frac{v^2}{2g} \left( \frac{l}{d} \lambda + a\zeta_1 + b\zeta_2 + \dots \right),$$

где  $\zeta_1, \zeta_2$  — коэффициенты местных потерь 1, 2..., имеющих место  $a, b, \dots$  раз на отрезке  $l$ .

Необходимо стремиться к тому, чтобы падение давления в тракте было минимальным. Большое влияние на это оказывают число, вид и размещение нагнетателей, а также конфигурация и чистота поверхности каналов. Уменьшение потерь проще всего можно добиться за счет снижения скорости движения воздуха. Однако для этого требуется увеличивать поперечное сечение каналов воздушного тракта, что, как правило, невозможно из-за ограниченных размеров аппарата. Уменьшение шероховатости стенок, выступающих частей в каналах и ликвидация резких изгибов и поворотов также способствуют снижению потерь давления.

Оптимальной формой воздухозаборника нагнетателя считают патрубок с закругленными кромками несмотря на то, что конструктивно удобнее конус. График (рис. 20) иллюстрирует, как правильно спроектировать воздухозаборник.

Плавные изгибы воздушных каналов, показанных на рис. 21, помогают избежать образования вихрей. Линия тока воздуха

Рис. 20. Коэффициенты местных сопротивлений на воздухозаборнике нагнетателя.

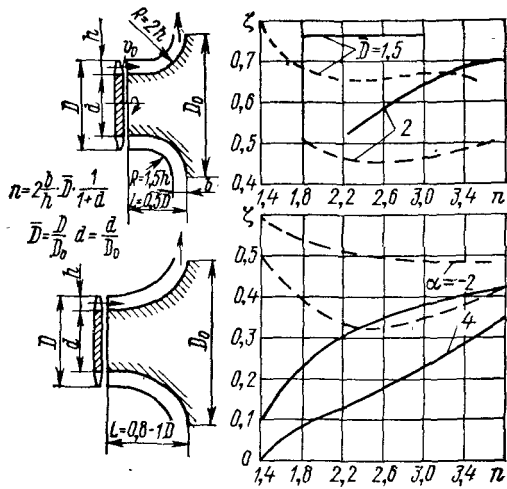
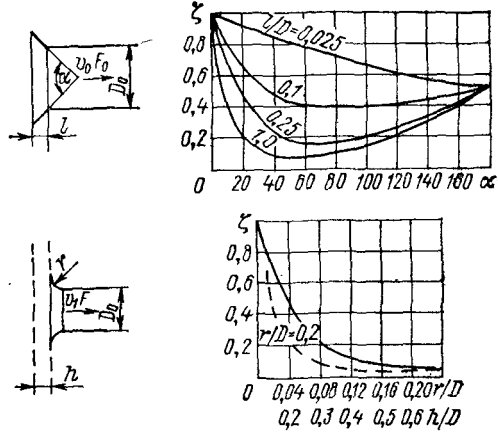


Рис. 21. Коэффициенты местных сопротивлений в воздушных каналах за нагнетателем. — с нагнетателем; --- без нагнетателя.

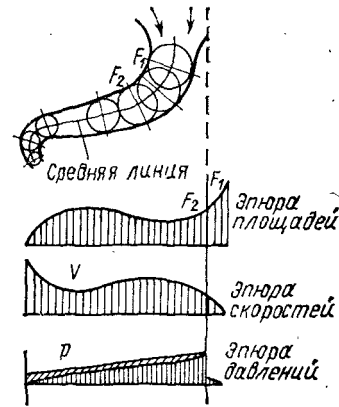
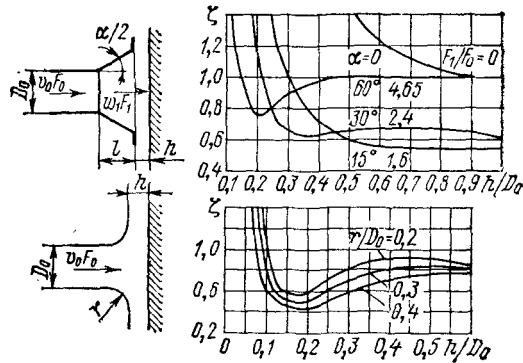


Рис. 22. Поперечное сечение канала и эюры поперечных сечений, скоростей и давлений.

Рис. 23. Коэффициенты локальных сопротивлений на выходе из канала.



должна быть как можно более плавной. Этого можно достичь либо путем увеличения радиуса кривизны, либо для уменьшения размеров — используя направляющие и спрямляющие лопатки при более резких изгибах. Однако такие устройства трудны в изготовлении и к тому же создают дополнительное сопротивление. Конструирование каналов следует начать с вычерчивания эпюры (рис. 22) площадей их поперечных сечений, а потом вычислить площадь внутренней поверхности и затем произвести расчет скоростей и сопротивления в соответствии с правилами аэродинамики. Эпюры скоростей и давлений позволяют найти скорость движения воздуха в данной точке и давление. Изменение площадей сечений, скорости и давления должны быть плавными, так как в противном случае в местах резких переходов и внезапных расширений возникнут значительные потери.

Следует обратить внимание также и на аэродинамику истечения воздуха из сопел и из-под днища аппарата (рис. 23).

#### 2.4. Основные типы нагнетателей и их выбор

Для приведения в движение воздуха в воздуховодном тракте аппарата и придания ему требуемых параметров используют нагнетатели, которые создают напор, необходимый для преодоления сопротивления воздушного тракта и создания давления в воздушной подушке.

В зависимости от типа аппарата этот напор составляет от нескольких десятков до нескольких сотен килограммсилы на один квадратный метр, причем первые значения относятся к небольшим и легким аппаратам, а вторые — к большим морским СВП. В моделях, где нагнетателем служит зачастую воздушный винт для авиамodelей, эти значения еще меньше, однако, в аппаратах, действующих на принципе воздушной пленки, они велики и достигают 0,4—0,7 МПа. От напора зависит производительность (объемный расход воздуха), которая также является основной характеристикой нагнетателя и назначается в зависимости от схемы создания воздушной подушки, размеров аппарата, высоты подъема и т. д.

Чтобы правильно выбрать нагнетатель, т. е. определить его тип, размеры и аэродинамические характеристики, необходимо сравнить характеристики имеемого нагнетателя с требуемыми, предъявляемыми к данному аппарату. Целесообразно также проверить опытным путем на модели или аппарате правильность выбора аэродинамических характеристик нагнетателя, которые влияют на

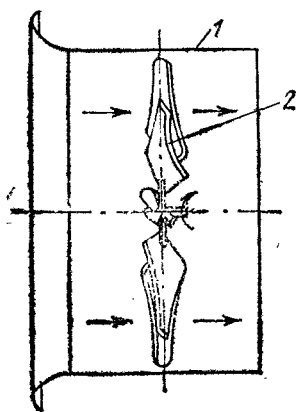


Рис. 24. Нагнетатель осевой МС (серия ЦАГИ)  
1 — корпус; 2 — рабочее колесо



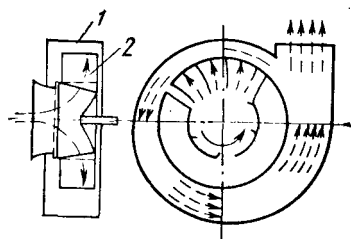


Рис. 25. Центробежный нагнетатель.  
1—корпус; 2—рабочее колесо.

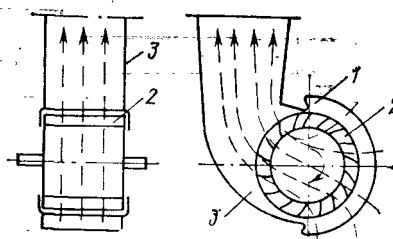


Рис. 26. Диаметральный нагнетатель.  
1—корпус; 2—рабочее колесо; 3—диффузор.

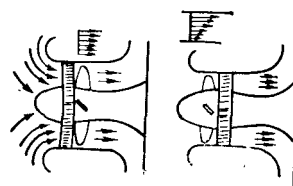


Рис. 27. Одноступенчатый осевой нагнетатель с сопловым устройством.

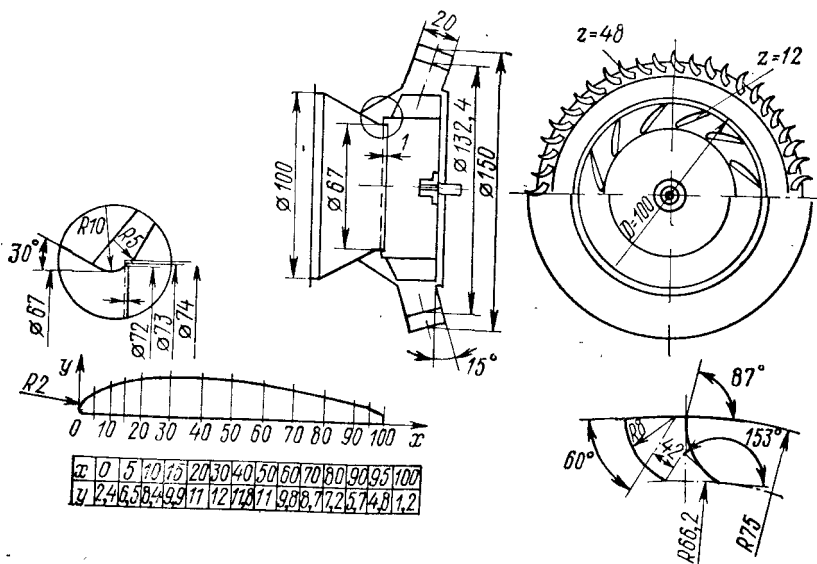


Рис. 28. Центробежный нагнетатель с сопловым устройством в радиальном диффузоре.

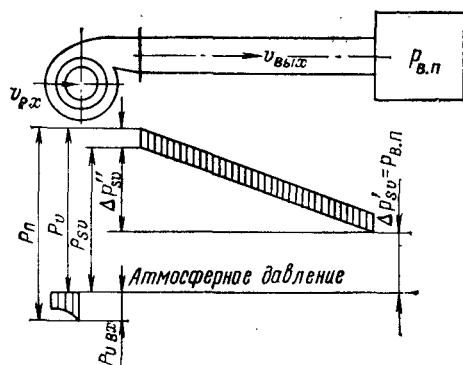


Рис. 29. График напора центробежного нагнетателя.

оптимальную работу всей конструкции.

В зависимости от конструкции и связанной с ней схемы прохождения воздуха через рабочее колесо, нагнетатели делятся на осевые, центробежные и диаметральные (рис. 24, 25, 26). В зависимости от величины создаваемого напора различают нагнетатели: низконапорные  $p < 1$  кПа; средненапорные  $p = 1-3$  кПа; высоконапорные  $p < 15$  кПа.

Осевые нагнетатели, как правило, низконапорные, имеют бóльшие производительность и КПД, чем у центробежных нагнетателей. В наиболее совершенных аэродинамических схемах нагнетателей применяются так называемые сопловые устройства (рис. 27 и 28). Это неподвижные лопатки, устанавливаемые как на входе в нагнетатель (входной направляющий аппарат), так и за рабочим колесом (спрямляющий аппарат), которые выравнивают поток воздуха, закручиваемый рабочим колесом при его вращении, повышают КПД и снижают шумность нагнетателя. Нагнетатели без направляющего и спрямляющего аппаратов применяют на небольших АВП простейшей конструкции, а нагнетатели с сопловыми устройствами — на АВП, для которых необходимы высокие КПД, напор и производительность.

Схема работы нагнетателя на воздуховодный тракт АВП показана на рис. 29. Нагнетатель забирает воздух из атмосферы и подает его по воздуховодному тракту в воздушную подушку, в которой создает избыточное давление.

При работе нагнетателя на его входе образуется динамическое разрежение  $p_{v \text{ вх}} = \rho v_{\text{вх}}^2 / 2$ , а на выходе создается давление, называемое полным давлением за нагнетателем  $p_v$ .

Таким образом, полный напор нагнетателя составляет

$$P_v \text{ полн} = p_{v \text{ вх}} + p_v.$$

В свою очередь, полное давление за нагнетателем можно представить в виде суммы

$$p_v = p_{sv} + p_{dv},$$

где  $p_{sv}$  — статическое давление за нагнетателем;  $p_{dv} = \rho v_{\text{вых}}^2 / 2$  — динамическая составляющая полного давления, обусловленная наличием скорости  $v_{\text{вых}}$  на выходе из диффузора нагнетателя.

Часть статического давления за нагнетателем  $\Delta p'_{sv}$  расходуется на преодоление сопротивления воздуховодного тракта, т. е.  $\Delta p'_{sv} = \sum \Delta h_m$ , другая часть — на создание давления в воздушной подушке  $\Delta p''_{sv} = p_{в.п.}$

В центробежных нагнетателях забираемый рабочим колесом воздух проходит через межлопаточные каналы и далее отбрасывается центробежной силой непосредственно в воздушные каналы АВП. Рабочие колеса центробежных нагнетателей имеют лопатки разных форм, показанных на рис. 30.

Рабочие колеса с радиальными лопатками используют при больших окружных скоростях, они отличаются хорошими прочностными свойствами. Рабочие колеса с лопатками, загнутыми вперед, обеспечивают меньший статический напор при довольно высоком КПД ( $\eta = 0,5—0,65$ ). Поддерживая малый статический напор, можно добиться большой производительности. Рабочие колеса с лопатками, загнутыми назад, уменьшают напор с повышением производительности. Для увеличения напора необходимо повысить окружную скорость, увеличив наружный диаметр рабочего колеса либо частоту вращения.

Области применения осевых и центробежных нагнетателей показаны на рис. 31.

Параметры нагнетателя, т. е. его производительность и напор определяют с помощью аэродинамических характеристик, важнейшей из которых является зависимость давления от производительности  $p_v = f(Q)$ . В качестве примера на рис. 32 приведены характеристики осевого нагнетателя, на рис. 33 — центробежного.

В каталогах и справочниках по нагнетателям приводятся безразмерные характеристики для серий нагнетателей одного типа, но различных размеров, геометрически подобных, содержащие вместо абсолютных значений величин расхода, давления, мощности и КПД, их процентное отношение к номинальным значениям. Как пользоваться конкретными графиками объясняется в каталогах нагнетателей.

При расчете нагнетателя при данных условиях работы используют графики, содержащие величины  $Q$ ,  $p_v$ ,  $N$ ,  $\eta$  (рис. 34). Нанеся на график характеристики нагнетателя характеристику сети, т. е. воздуховодного тракта аппарата (кривую его сопротивления в зависимости от производительности), получаем на их пересечении точку А, называемую рабочей точкой нагнетателя. В точках пересечения вертикали, опущенной через точ-

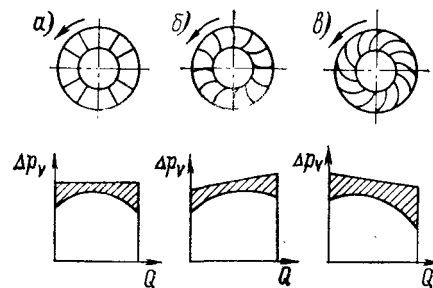


Рис. 30. Форма лопаток центробежных нагнетателей и их характеристики: а — радиальные лопатки; б — лопатки, загнутые вперед; в — лопатки, загнутые назад.

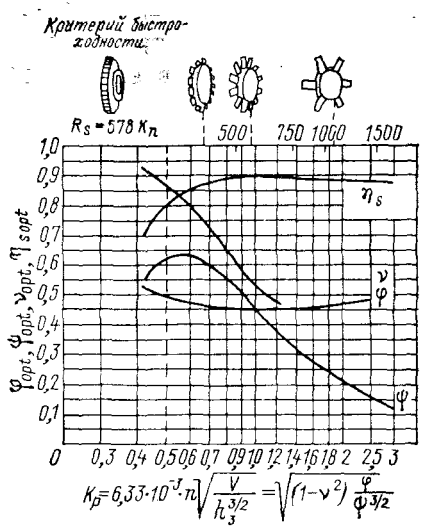


Рис. 31. Области применения осевых и центробежных нагнетателей.

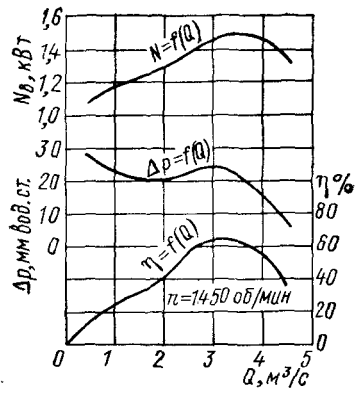


Рис. 32. Пример характеристики осевого нагнетателя.

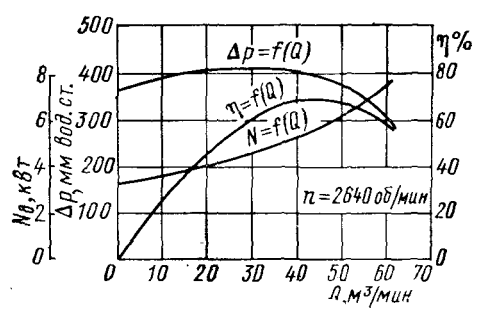


Рис. 33. Характеристики центробежного нагнетателя, изображенного на рис. 28.

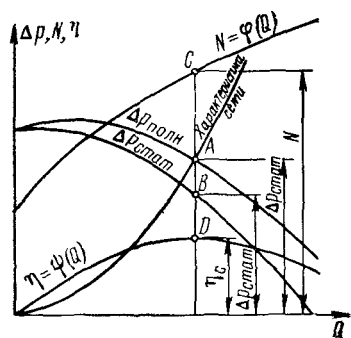


Рис. 34. Нахождение рабочей точки нагнетателя.

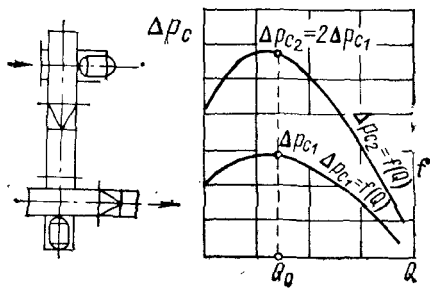
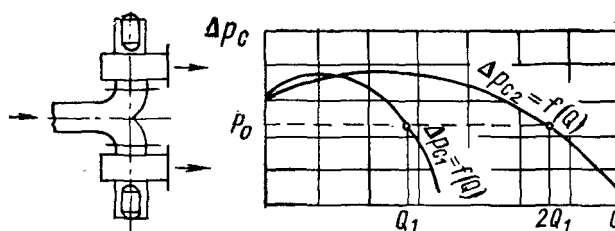


Рис. 35. Характеристики последовательно соединенных нагнетателей.

Рис. 36. Характеристики параллельно соединенных нагнетателей.



ку  $A$  на ось производительности нагнетателя, с кривыми мощности, КПД полного и статического напоров получаем их численные значения. Если нагнетатель выбран правильно, то точка  $A$  будет соответствовать максимальному КПД нагнетателя либо находиться вблизи.

В случае необходимости повышения давления в воздушных каналах при отсутствии нагнетателей требуемого давления можно установить два нагнетателя, включенных последовательно (рис. 35). При таком включении производительность нагнетателей не увеличится, а полное давление в каждой точке характеристики будет равно сумме давлений нагнетателей.

В случае, когда требуется большая производительность, часто ставят два нагнетателя или более параллельно. При этом, если их напоры одинаковые, то производительность складывается на графике по горизонтали, как показано на рис. 36.

Характеристики нагнетателей приводятся преимущественно для нормальных условий, т. е. для атмосферного давления  $p_a = 760$  мм рт. ст. (101,5 кПа), температуры воздуха  $15^\circ\text{C}$ , плотности  $1,2$  кг/м<sup>3</sup> и средней влажности  $\psi = 80\%$ . Изменить параметры нагнетателя можно, изменив частоту вращения рабочего колеса с  $n_0$  на  $n$ . Тогда напор  $p_v = p_{v_0} (n/n_0)^2$ ; производительность  $Q = Q_0 (n/n_0)$ ; мощность привода  $N = N_0 (n/n_0)^3$ . КПД для каждой точки характеристики при этом не меняется ( $\eta = \eta_0$ ).

Регулирование производительности и напора центробежных нагнетателей можно выполнить несколькими способами: дросселированием, изменением частоты вращения и изменением положения сопловых устройств.

Поворачивая клапан, либо закрывая и открывая заслонку, можно изменить проходную площадь сечения и сопротивление, в результате чего изменяются производительность и напор нагнетателя. Кривые дросселирования показаны на рис. 37.

Наиболее экономичным, чаще всего применяемым в АВП способом регулирования является изменение частоты вращения, которое основано на использовании описанных выше зависимостей. На практике при использовании в качестве привода нагнетателя двигателя внутреннего сгорания изменение частоты вращения осуществляют повышением или понижением его мощности либо включая между двигателем или нагнетателем механическую передачу. Изменение частоты вращения менее мощных нагнетателей,

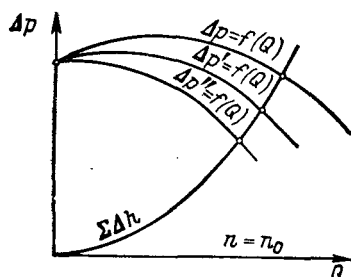


Рис. 37. Регулирование нагнетателя дросселированием на входе с помощью дроссельной заслонки.

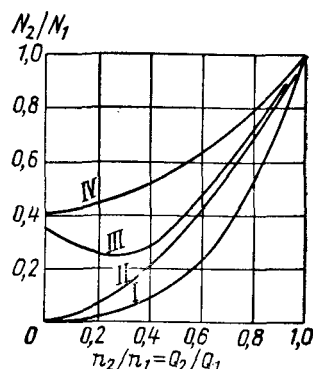


Рис. 38. Потребляемая мощность центробежного нагнетателя при различных способах регулирования: I — изменением частоты вращения; II — с помощью гидравлической муфты; III — с помощью осевого направляющего аппарата; IV — дросселированием заслонкой на входе.

приводимых в движение с помощью ременной передачи, можно осуществить, изменив диаметры шкивов.

Регулирование производительности и напора с помощью сопловых устройств экономичнее, чем регулирование дросселированием, и находит все более широкое применение. Оно основано на придании струям воздуха предварительного вращательного движения в направлении вращения рабочего колеса с помощью соответствующей установки лопаток направляющего аппарата.

На рис. 38 представлены сравнительные кривые потребляемой для привода центробежного нагнетателя мощности при различных способах регулирования. Ясно видны преимущества регулирования изменением частоты вращения перед остальными способами.

В самом начале появления АВП чаще использовались осевые нагнетатели, а в настоящее время предпочтение отдают центробежным, причем даже и на небольших любительских аппаратах. Это объясняется тем, что центробежный нагнетатель легче komponуется в конструкции аппарата, а также его меньшей шумностью и большей устойчивостью к воздействию пыли и других загрязнений.

## 2.5. Сопротивление движению и выбор воздушного винта

Во время движения АВП возникают внешние силы, затрудняющие его движение. Они зависят от характера поверхности, над которой движется АВП (вода или земля, лед), от скорости движения, аэродинамических форм аппарата, количества всасываемого внутрь АВП и увлекаемого вместе с ним воздуха и т. д. Большое влияние оказывает и волновое сопротивление в том случае, если аппарат движется над поверхностью воды.

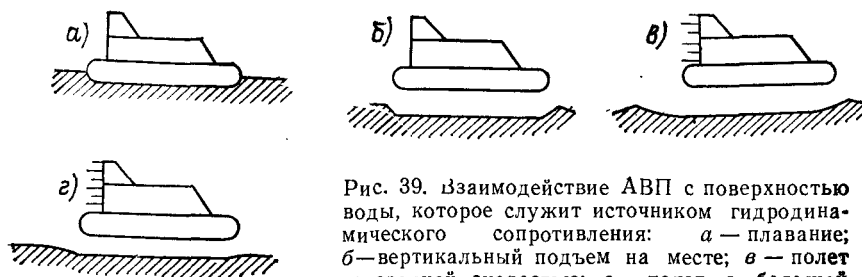


Рис. 39. взаимодействие АВП с поверхностью воды, которое служит источником гидродинамического сопротивления: а — плавание; б — вертикальный подъем на месте; в — полет со средней скоростью; г — полет с большой скоростью.

Задача конструкторов состоит в поиске компромиссных технических решений для создания наиболее оптимального проекта аппарата, который характеризовался бы минимальным сопротивлением движению. От этого будет зависеть экономичность эксплуатации будущего транспортного средства. Совсем несложно построить аппарат, который потребляет значительную мощность для преодоления сопротивления при заданной скорости движения.

Применение воздушного движителя — не единственный способ создания горизонтальной тяги для движения; хотя в любительских аппаратах он используется часто, так как обеспечивает амфибийность АВП, т. е. возможность движения как над водой, так и над твердой опорной поверхностью. Недостатком этого типа движителя является малая отдача тяги на единицу подведенной к нему мощности.

В конструкциях СВП можно применять гребные винты, а также водометные, лопастно-колесные движители.

При движении аппарата над водой на ее поверхности возникает впадина (рис. 39), глубина которой зависит от давления воздуха в подушке. По мере движения АВП впадина перемещается вместе с ним, при этом образуется волновая система, аналогичная возникающей при движении водоизмещающих судов, т. е. появляется волновое сопротивление. По мере увеличения скорости характер этого сопротивления подвергается изменению: сначала оно растет интенсивно, потом падает. При значении числа Фруда  $Fr = v/\sqrt{gL}$ , превышающем 0,7, волновое сопротивление резко снижается.

Величину волнового сопротивления  $X_v$  при движении АВП прямоугольной формы в плане можно приближенно определить по формуле

$$X_v = \frac{4G^2E}{\pi v^2 L_{в.п}^2},$$

где  $v$  — скорость движения аппарата;  $G$  — масса (водоизмещение) аппарата;  $L_{в.п}$  — длина воздушной подушки;  $\rho$  — массовая плотность воды;  $E$  — коэффициент, зависящий от отношения

$L_{в.п}/B_{в.п}$  (где  $L_{в.п}$  и  $B_{в.п}$  — соответственно длина и ширина воздушной подушки) и числа Фруда (рис. 40).

Из анализа приведенной формулы следует вывод, что волновое сопротивление увеличивается с увеличением отношения  $L_{в.п}/B_{в.п}$ .

Независимо от наличия волнового сопротивления во время движения АВП возникает аэродинамическое сопротивление, состоящее из воздушного сопротивления (сопротивления формы) и импульсного сопротивления — силы инерции воздуха (движущегося по воздушному тракту), вовлеченного в движение вместе с аппаратом.

Воздушное сопротивление зависит от площади поперечного сечения аппарата, коэффициента аэродинамического сопротивления и скорости хода в квадратичной зависимости от ее значения.

Воздушное сопротивление вычисляется по формуле

$$X_{\text{возд}} = C_x \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где  $\rho$  — плотность воздуха;  $v$  — скорость движения аппарата;  $S$  — площадь поперечного сечения аппарата;  $C_x$  — коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от формы аппарата; определение величины  $C_x$  производится по результатам продувок модели данного аппарата в аэродинамической трубе, приблизительно его значение для АВП колеблется от 0,3 до 0,5, причем для хорошо обтекаемых аппаратов приближается к 0,3.

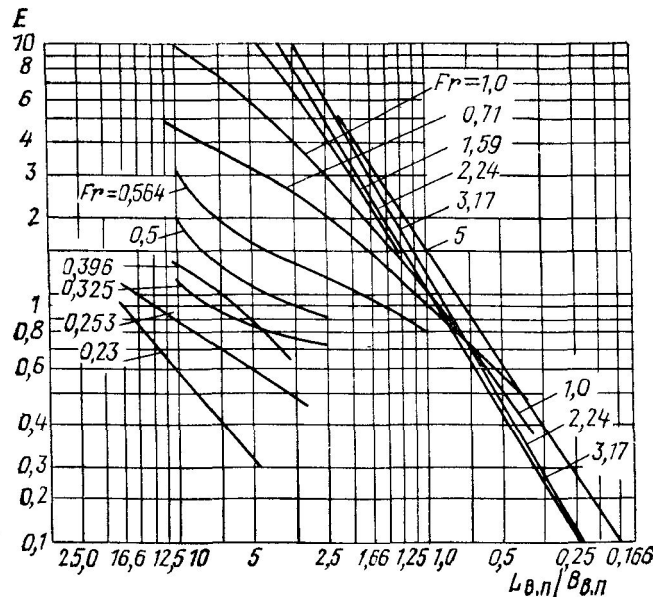


Рис. 40. График коэффициента волнового сопротивления  $E$ .



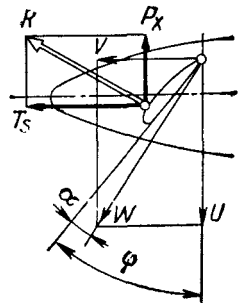


Рис. 41. Силы, возникающие на лопасти воздушного винта.

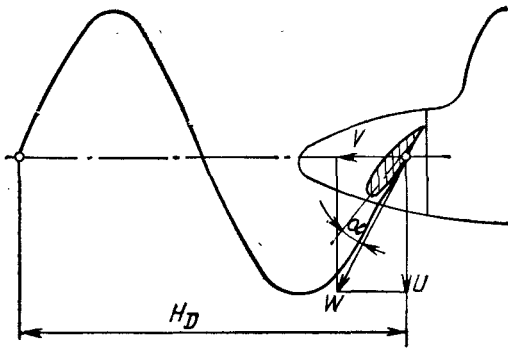


Рис. 42. Поступь винта.

Импульсное сопротивление зависит от массы воздуха, подаваемого нагнетателем в воздушную подушку, и скорости движения АВП, т. е.

$$X_{\text{имп}} = \rho Q v,$$

где  $\rho$  — плотность воздуха;  $Q$  — объемный расход воздуха в воздушную подушку;  $v$  — скорость движения аппарата.

Мощность, необходимую для преодоления всех видов сопротивления, возникающих при движении АВП, должен обеспечить тяговый двигатель, который посредством движителя создает горизонтальную тягу.

Сила тяги воздушного винта  $T_v$ , эквивалентная сопротивлению движения, может быть определена по формуле

$$T_v = \frac{N_{\text{дв}} \eta}{v},$$

где  $N_{\text{дв}}$  — мощность, необходимая для движения;  $\eta$  — КПД воздушного винта (у любительских АВП  $\eta = 0,6 \div 0,8$ );  $v$  — скорость движения АВП.

По принципу действия работу воздушного винта (рис. 41) можно сравнить с действием крыла. Отличие состоит лишь в том, что скорость каждого сечения лопасти винта является равнодействующей двух скоростей: окружной скорости и скорости движения. Скорость движения в данный момент постоянна, в то время как окружная скорость изменяется вдоль лопасти винта. При постоянной частоте вращения сечения лопасти описывают круги разных диаметров, вследствие чего расстояние, пройденное ими по дуге окружности, будет разным. Сечение лопасти, находящееся рядом с осью вращения, имеет окружную скорость, равную нулю, а расположенное на конце лопасти — наивысшую скорость.

Профиль лопасти воздушного винта, имеющий в данном сечении определенный угол установки лопасти  $\phi$ , взаимодействует с потоком воздуха под постоянным углом атаки  $\alpha$ . Таким образом,

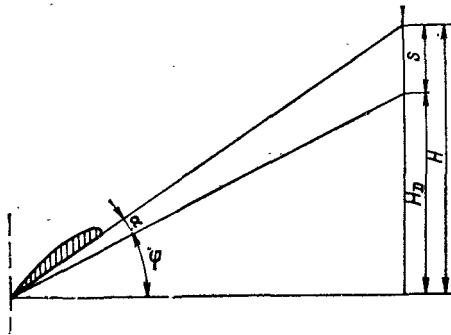


Рис. 43. Развертка винтовой линии лопасти.

винта;  $\rho$  — плотность воздуха;  $D$  — диаметр воздушного винта;  $n_s$  — частота вращения.

Чтобы воздушный винт работал более эффективно, все его сечения должны вращаться под строго определенным углом атаки, а поскольку набегающий поток воздуха проходит в одном направлении и у корневых и концевых сечений лопасти, то угол установки сечений лопасти должен меняться вдоль лопасти. Этим обстоятельством объясняется характерная крутка лопасти воздушного винта.

Если двигатель вращает воздушный винт с частотой  $n_s$ , то путь, пройденный воздушным винтом за один оборот,  $H_D = v/n_s$ .

Это расстояние называется поступью винта, которая является одной из характеристик, по которой судят о работе винта (рис. 42).

Путь сечений лопасти можно представить себе на плоскости через развертку винтовой линии, как это показано на рис. 43. Один катет треугольника обозначает поступь винта  $H_D$ , другой — развернутую окружность круга, который описывает данное сечение лопасти. Если представить себе траекторию лопасти как тангенциальную касательную к хорде профиля в данном сечении, то сечение проходит чисто теоретический путь, который называется геометрическим шагом или шагом винта  $H$ .

В действительности, в момент установившейся работы винта, когда модель или аппарат движутся с постоянной скоростью, всегда имеет место скольжение винта  $S$ , представляющего собой разность между его геометрическим шагом и поступью. Вместо того, чтобы оперировать величиной абсолютного шага  $H$ , вводится понятие так называемого относительного шага  $h = H/D$  (где  $D$  — диаметр).

Подобным же образом вводится понятие относительной поступи  $\lambda = v/(n_s D)$ .

Во время работы воздушный винт использует всю мощность двигателя. Общее представление о мощности, которая потреб-

на нем возникает аэродинамическая сила, одна из составляющих которой параллельна направлению полета и определяет силу тяги винта.

Сила тяги  $T_B$  может быть также вычислена по формуле

$$T_B = \alpha \rho D^4 n_s^2,$$

где  $\alpha$  — коэффициент тяги, определяемый экспериментальным путем, зависящий от формы и количества лопастей, а также от шага и поступи

ляется воздушным винтом, можно выразить следующей формулой:

$$N = \beta \rho D^5 n_s^3,$$

где  $N$  — мощность, потребляемая винтом;  $\beta$  — коэффициент мощности, определяемый экспериментально и зависящий от тех же самых факторов, что и коэффициент тяги  $\alpha$ .

Работу воздушного винта можно рассчитать с помощью коэффициента полезного действия. Воздушный винт, используя всю мощность двигателя, отдает во время работы только ее часть. Полезная работа винта, или эффективная мощность двигателя, выражается как произведение величины тяги винта и скорости полета. Коэффициент полезного действия винта  $\eta$  есть отношение полезной мощности винта  $N_v$  к мощности, развиваемой двигателем  $N$ :

$$\eta = \frac{N_v}{N} = \frac{T_v v}{N}.$$

После подстановки вместо  $T_v$  и  $N$  выражений, приведенных выше, получаем коэффициент полезного действия  $\eta$ , который зависит, по существу, от относительной поступи  $\lambda$ , коэффициента тяги и мощности:

$$\eta = \lambda \frac{\alpha}{\beta}.$$

Величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\eta$  тесно связаны между собой и в известной степени зависят от условий полета или относительной поступи  $\lambda$ . Эта зависимость выражается графиком (рис. 44), который дает представление об аэродинамических характеристиках воздушного винта.

Существуют два способа подбора воздушного винта: 1) по конструктивным соображениям задается диаметр винта; 2) выбор диаметра винта.

Первый способ не требует подробного объяснения. Следует только заметить, что для данного диаметра  $D$ , скорости полета  $v$ , частоты вращения  $n_s$  коэффициент полезного действия воздушного винта должен быть максимальным. При втором способе выбор диаметра винта усложняется, потому что в приведенных выше формулах будет присутствовать неизвестный диаметр винта  $D$ .

Принимая  $\rho$ ,  $\lambda$ ,  $N$ , а также  $n_s$  за известные величины, можно преобразовать соответствующим

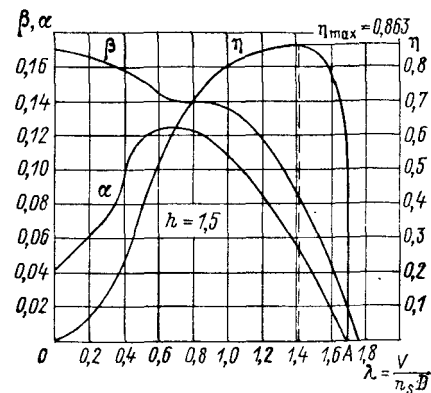


Рис. 44. Характеристика воздушного винта с относительным шагом  $h = 1,5$ .

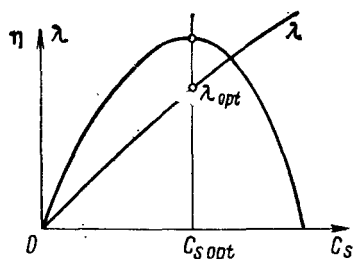


Рис. 45. График КПД и относительной поступи воздушного винта в функции от  $C_s$ .

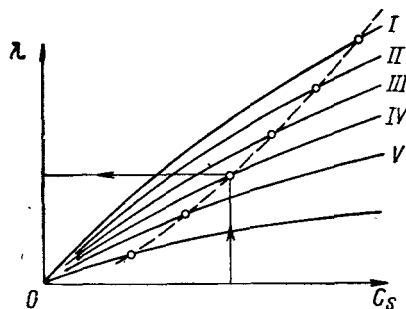


Рис. 46. График относительной поступи семейства винтов в функции от  $C_s$ .

образом уже известные формулы и получить равенство

$$N\lambda^5 = \beta\rho \frac{v^5}{n_s^2}.$$

После преобразований получаем величину коэффициента, зависящего от диаметра винта  $C_s$

$$C_s = \frac{\lambda}{\sqrt[5]{2\pi C_M}} = \frac{\lambda}{\sqrt[5]{\beta}}.$$

Этот коэффициент зависит только от известных величин, поэтому его можно вычислить, используя графики  $\eta(\lambda)$  и  $\beta(\lambda)$  в графиках  $\eta(C_s)$  и  $\lambda(C_s)$  (рис. 45). Как очевидно,  $\eta_{\max}$  соответствует определенной величине  $C_s$ .

Чтобы выбрать оптимальный воздушный винт среди винтов данного типа, следует воспользоваться графиком  $\lambda(C_s)$ . Выбор воздушного винта с помощью коэффициента  $C_s$  основан прежде всего на вычислении его величины для заданных  $\rho$ ,  $N$ ,  $v$ ,  $n_s$  и последующего определения оптимального КПД воздушного винта. Зная  $\lambda$ ,  $v$ ,  $n_s$ , можно в соответствии с последней формулой вычислить диаметр воздушного винта  $D$ , а геометрические характеристики винта должны быть такими же, как у винта, соответствующего  $\lambda_{\text{opt}}$  (на рис. 46 этот винт показан под номером IV).

В главе, посвященной проектированию любительских конструкций АВП, представлен пример расчета винта.

Чтобы закончить тему, посвященную воздушным винтам, следует вспомнить о часто применяемых винтах в кольце, которые характеризуются большими значениями КПД и тяги. Это происходит вследствие:

- меньших аэродинамических потерь в потоке воздуха, отбрасываемом винтом, находящемся в кольце, по сравнению с изолированным винтом;

- уменьшения индуктивных потерь на кольцах лопастей винта при вращении его в кольце.

Сила тяги системы «винт в кольце»  $T_{в.к}$  может быть представлена в виде:

$$T_{в.к} = \sqrt[3]{\frac{1}{\bar{T}_{из}}} \left( \sqrt{\rho \frac{\pi}{2} \eta_{ок} N D} \right)^{3/2},$$

где  $T_{из}$  — относительная тяга изолированного воздушного винта;  $N$  — мощность на валу.

Для сравнения тяговых характеристик системы «винт в кольце» и изолированного винта при равных значениях диаметра винта и мощности можно пользоваться следующим соотношением:

$$\frac{T_{в.к}}{T_{из}} = \sqrt[3]{\frac{1}{\bar{T}_{из}}} \left( \frac{\eta_{ок}}{\eta_{о.из}} \right)^{2/3}.$$

Сравнивая идеальные характеристики тяги системы «винт в кольце» и изолированного винта, при одинаковых значениях мощности и диаметра винта, получаем:

$$\frac{T_{в.к.ид}}{T_{из.ид}} = \sqrt[3]{\frac{1}{\bar{T}_{из}}},$$

где

$$\bar{T}_{из} = \frac{T_{из}}{T_{в.к}} = \frac{T_{из}}{T_{к} + T_{в}} < 1.$$

Эта зависимость представлена на графике (рис. 47).  $\bar{T}_{из}$  называется относительной тягой винта, которая может принимать минимальное значение около 0,5, для колец с большим относительным радиусом кривизны образующей кольца  $\bar{r}_к = r_к/R$ , где  $R$  — радиус винта;  $r_к$  — радиус кривизны образующей. Таким образом,

$$\frac{T_{в.к.ид}}{T_{из.ид}} = \sqrt[3]{2} = 1,262.$$

Другими словами, достижимая тяга идеальной системы «винт в кольце» на 26,2% выше тяги изолированного винта.

Поскольку не существует идеального движителя, ниже приводится сравнение действительных характеристик тяги винта в оптимальном кольце и свободного винта. Используя графики, представленные на рис. 48 и 49, можно построить график функции

$$\frac{T_{в.к}}{T_{из}} = f(\bar{r}_к, \eta_0),$$

приведенный на рис. 50. На нем представлены теоретические пределы роста тяги в случае, когда воздушный винт помещен в кольцо с большой кривизной образующей. Если изолированный винт имеет КПД  $\eta = 0,8; 0,7; 0,6$ , то предельная тяга может возрасти соответственно на 34, 38 и 44%. Большого прироста тяги

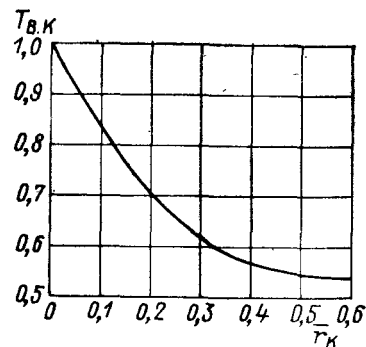


Рис. 47. Зависимость относительной тяги винта в кольце от относительного радиуса кривизны поверхности кольца.

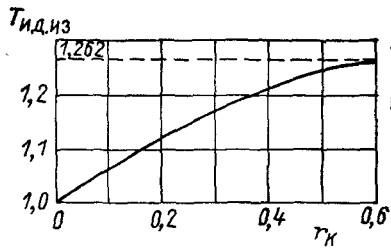


Рис. 48. Прирост тяги идеального винта в кольце по отношению к тяге свободного винта для колец, имеющих различную относительную кривизну поверхности.

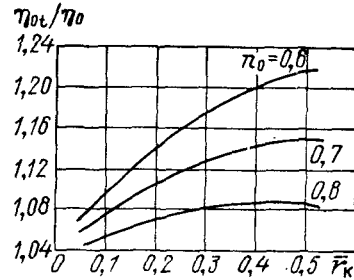


Рис. 49. Сравнение КПД винта в кольце и свободного винта при одинаковых углах атаки.

достичь невозможно, какой бы тип кольца не применялся. На рисунке показано также, что максимальный прирост тяги можно получить при относительном радиусе кривизны образующей  $\bar{r}_k$  равной около 0,5, вследствие чего применение  $\bar{r}_k > 0,5$  нецелесообразно, так как не дает дальнейшего прироста тяги.

С практической точки зрения следует выбирать такие параметры кольца, которые дают наилучший эффект при возможных малых габаритах.

Диаметр винта в кольце можно выразить через так называемый эквивалентный диаметр  $D_{э\bar{k}в}$ , соответствующий диаметру свободного винта:

$$D_{в. \text{э\bar{k}в}} = D(1 + \bar{B}),$$

где  $\bar{B} = B/R\bar{B}$  — относительная ширина кольца;  $R$  — радиус винта диаметра  $D$ ;  $B = R + 2r_k$  — половина ширины кольца. Тогда

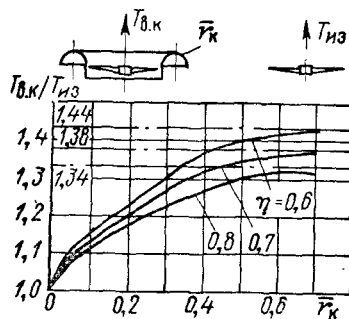


Рис. 50. Прирост тяги винта в кольце по отношению к свободному винту при одинаковых углах атаки.

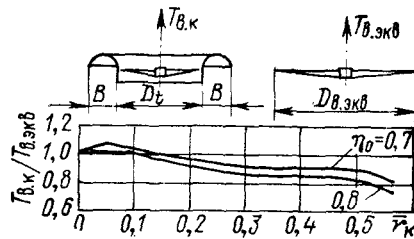


Рис. 51. Сравнение тяги винта в кольце с тягой винта эквивалентного диаметра, если они работают при одних и тех же углах атаки лопастей.

тяга винта эквивалентного диаметра

$$T_{\text{эkv}} = (1 + \bar{B})^{2/3} \left( \sqrt{\rho} \sqrt{\frac{\pi}{2} \eta_{0 \text{ из}}} DN \right),$$

следовательно, соотношение тяг

$$\frac{T_{\text{в.к}}}{T_{\text{в.эkv}}} = \sqrt[3]{\frac{1}{\bar{T}_{\text{из}}}} \left[ \frac{\eta_{0 \text{к}}}{\eta_{0 \text{из}}} \frac{1}{(1 + \bar{B})} \right]^{2/3}.$$

Эта зависимость представлена на графике (рис. 51).

Из опыта известно, что если относительная ширина кольца не превышает  $\bar{B} \approx 30\%$ , то расчет винта в кольце можно производить так же, как и для изолированного винта, диаметр которого равен наружному диаметру кольца.

## 2.6. Механика полета АВП, его остойчивость и непотопляемость

При условии, что АВП передвигается на данной высоте над твердой поверхностью с постоянной скоростью  $v$  (принимая систему координат  $xz$ , как на рис. 52), во время движения возникают аэродинамические силы, действующие на аппарат, т. е. аэродинамическое сопротивление

$$X = C_x \frac{\rho_0 v^2}{2} S$$

и подъемная сила

$$Z = C_z \frac{\rho_0 v^2}{2} F,$$

где  $C_x$  и  $C_z$  — коэффициенты аэродинамического сопротивления и подъемной силы, определенные экспериментальным путем;  $S$  — лобовая поверхность;  $F$  — поверхность днища АВП.

Сила сопротивления  $K$ , возникающая во время полета вследствие наличия скорости движения воздуха, проходящего через нагнетатель, а также через переднее и заднее сопла, составляет:

$$K = vQ + v_2 Q' - v_2 Q''',$$

где  $Q$ ,  $Q'$  и  $Q'''$  определяют расход воздуха, проходящего через нагнетатель подъемной системы, а также через передние и задние сопла, если влияние воздушного потока, вытекающего из боковых сопел, одинаково.

Для вычисления силы аэродинамического сопротивления и силы горизонтальной тяги используются коэффициенты  $C_x =$

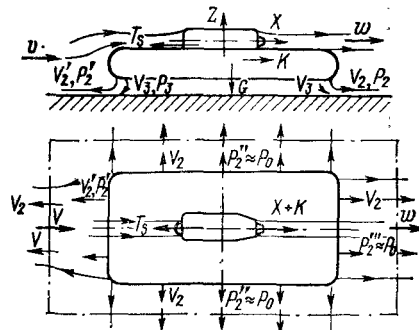


Рис. 52. Распределение сил, действующих на аппарат в момент движения.

$= 0,8 \div 1,0$ , а также  $C_z = 0,10 \div 0,25$ , причем лобовая поверхность  $S = 0,5BH$ , где  $B$  — ширина, а  $H$  — высота АВП.

Для определения силы  $K$  следует вычислить расход

$$\begin{aligned} Q &= \rho v_1 (\Pi_{в.п} - B) b + \rho v_1' B b'; \\ Q' &= \rho v_1' B b'; \\ Q'' &= \rho v_1 B b, \end{aligned}$$

отсюда

$$K = \rho [v v_1 \Pi_{в.п} - (v + v_2)(v_1 b - v_1' b) B],$$

где  $v_1 = \sqrt{v_2 v_3}$ ;  $v_1' = \sqrt{v_2' v_3}$ ;  $\Pi_{в.п}$  — периметр площади воздушной подушки аппарата.

Основное равенство установившегося горизонтального движения в условиях равновесия:

$$P_x + K = T_c,$$

где  $T_c$  — горизонтальная тяга, развиваемая воздушным соплом, равная

$$T_c = (\omega - v) Q_c = 2\epsilon \varphi_c^2 (\rho_{в.п} - \rho_0) F_c,$$

здесь  $v$  — скорость движения АВП;  $\omega = \varphi_c \sqrt{\frac{2}{\rho} (\rho_{в.п} - \rho_0)}$

— скорость истечения воздуха из сопловой системы горизонтальной тяги;  $\varphi_c = 0,8 \div 0,95$  — коэффициент скорости тягового сопла;  $Q_c = \epsilon \rho \omega F_c$  — расход воздуха через сопло горизонтальной тяги;  $\epsilon = 0,95 \div 0,98$  — коэффициент сопротивления воздушного потока;  $F_c$  — площадь сопла.

Мощность двигателя, необходимая для создания тяги, рассчитывается по формуле

$$N_{пр} = \frac{1}{\eta} \frac{\rho_{в.п} - \rho_0}{\rho} Q_c,$$

где  $\eta$  — КПД сопловой системы горизонтальной тяги.

Дальность хода  $R$  при емкости топливных баков  $Q_p$ , удельном расходе топлива  $B_g$ , а также при скорости движения  $v$ , можно представить в виде формул:

— в условиях безветрия

$$R = v \frac{Q_p}{B_g};$$

— при движении против ветра

$$R_c = (v - v_c) \frac{Q_p}{B_g};$$

— при попутном ветре

$$R_t = (v_t + v) \frac{Q_p}{B_g}.$$

Изменение направления движения АВП, который не имеет непосредственного контакта с поверхностью, следует понимать иначе, чем поворот автомобиля или самолета (рис. 53).



Совершающий поворот АВП оказывается в значительно более сложной ситуации, чем любое другое транспортное средство, так как отсутствуют силы бокового сопротивления. Он не может иметь значительных наклонов в целях удержания равновесия центробежной силы и горизонтальной составляющей подъемной силы. В связи с этим радиус поворота АВП значительно больше (примерно в 5 раз), чем радиус поворота автомобиля. Для ориентировочного расчета минимального радиуса поворота  $r_{\min}$  можно пользоваться формулой

$$r_{\min} = 0,03 \frac{v^3}{1,36 \frac{N}{G}},$$

где  $v$  — скорость движения во время поворота, км/ч;  $N$  — мощность двигателей, кВт;  $G$  — масса аппарата, т.

Торможение АВП также происходит значительно сложнее, чем у колесных машин. Это вызвано отсутствием тормозного контакта с поверхностью: сила, тормозящая движение АВП, есть сила реакции потока воздуха, действующего по направлению движения. В экстренных случаях возможно торможение путем соприкосновения днища аппарата с землей или водой. В нормальных же условиях аппарат должен обладать способностью тормозиться при помощи автономных устройств.

Силу торможения в любительских конструкциях АВП получают благодаря потоку воздуха, направленному в сторону движения через специальные устройства реверса тяги. В момент торможения путем поворота лопастей воздушного винта его КПД уменьшается до 40%.

Приблизительно путь торможения можно рассчитать по формуле

$$S = \frac{4,3v^2}{73,6 \frac{N}{G}},$$

где  $S$  — путь торможения, м;  $v$  — начальная скорость, км/ч;  $G$  — общая масса, м;  $N$  — общая мощность, кВт; 4,3 — экспериментальный коэффициент.

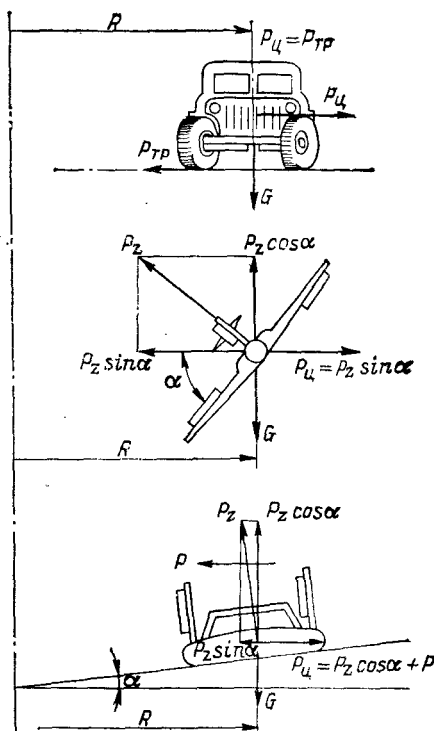


Рис. 53. Сравнение сил, влияющих на автомобиль, самолет, АВП в момент поворота (виража).

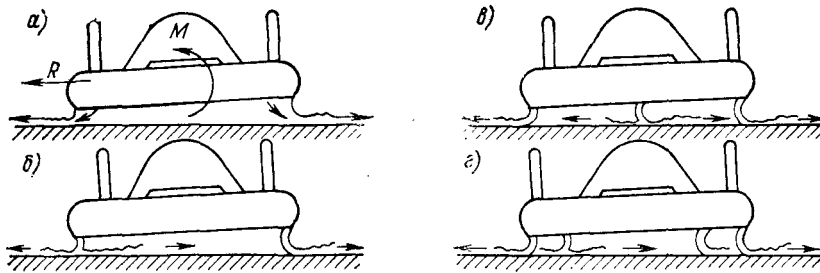


Рис. 54. Сравнение статической остойчивости для разных схем АВП: а — камерная схема; б — одиночное периферийное сопло; в — одиночное периферийное и продольное сопла; г — двухрядное периферийное сопло.

Для обеспечения статической остойчивости любого аппарата необходимо, чтобы сумма моментов сил, действующих на него, была равна нулю, а линии их действия пересекались.

Одной из самых трудных проблем, связанных с постройкой любительских аппаратов на воздушной подушке, является придание им поперечной и продольной остойчивости, как статической, так и динамической во всех режимах движения.

Для нормальной статической остойчивости любого аппарата сумма моментов сил, действующих на него, должна быть равна нулю.

На примере АВП камерной схемы видно, что наклон аппарата вследствие приложения пары сил с моментом  $M$  (рис. 54) приводит к увеличению истечения воздуха из-под поднятой стороны АВП. В результате появляется боковая сила тяги, которая, если ее не уравновесить, приводит к дальнейшему накрениванию аппарата. В момент прекращения действия пары сил вследствие увеличения скорости истечения воздуха в приподнятой части аппарата, давление падает, что приводит к стабилизации положения аппарата. Это обстоятельство свидетельствует об остойчивости аппаратов с данной схемой образования воздушной подушки, но лишь при незначительных углах крена АВП. В случае же больших кренов скорость выброса воздуха в приподнятой части аппарата уменьшается, что приводит к увеличению давления и, в итоге — к ухудшению остойчивости. Улучшение остойчивости АВП камерной схемы можно обеспечить путем разделения подкупольного пространства на ряд отдельных камер.

Наклон АВП с одиночным периферийным соплом под воздействием кренящего момента вызывает разделение потока воздуха, вытекающего из сопла, расположенного ближе к поверхности на две части: одна часть наружу, другая — под аппарат, увеличивая расход воздуха из-под приподнятой части аппарата. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию давления в данной части и наклону аппарата, что свидетельствует об отсутствии остойчивости АВП данной системы.

С целью придания остойчивости аппаратам сопловой схемы применяется секционирование воздушной подушки под днищем

аппарата с помощью продольных и поперечных сопел. При использовании одного сопла, расположенного вдоль оси симметрии аппарата, в случае накренения АВП происходит возрастание давления в опущенной части и его уменьшение в приподнятой части, что создает восстанавливающий момент, который возвращает АВП в первоначальное положение.

Подобное стабилизирующее действие одиночного сопла характерно и для схемы двухрядного периферийного сопла. В момент наклона аппарата давление возрастает в районе между соплами, которое приближается к земле, и уменьшается — в противоположной стороне. Это приводит к тому, что возникает восстанавливающий момент, противодействующий кренящему.

Управление АВП — это возможность движения над поверхностью в направлении, заданном пилотом с помощью соответствующих устройств и органов управления. Для АВП особенно важна управляемость в горизонтальной плоскости, т. е. способность аппарата реагировать на изменение положения вертикальных аэродинамических рулей либо на изменение направления действия струи в реактивном сопле. Управляемость в вертикальной плоскости обеспечивается переключением горизонтального руля либо соответствующим переключением дроссельных клапанов регулирующих истечение воздуха из воздушной подушки в носовой или кормовой оконечностях аппарата.

Непотопляемость надводных АВП обеспечивается при помощи водонепроницаемых понтонов, составляющих основную часть корпуса. Понтоны дают возможность АВП держаться на поверхности воды и передвигаться по ней при отключенной системе подъема. В этом случае АВП движутся как классические водоизмещающие суда. Понтоны должны обладать соответствующими плавучестью, жесткостью и прочностью для обеспечения возможности буксировки или торможения аппарата. Иногда внутри понтона смонтировано стационарное или выдвижное шасси, служащее для перемещения аппарата по суше.

Исходя из условия равновесия сил плавучести и тяжести плавающих в воде тел, можно рассчитать осадку понтона по формуле

$$Z = \frac{G}{\gamma BL},$$

где  $G$  — общая масса аппарата;  $L$  — длина понтона, м;  $B$  — ширина понтона, м;  $\gamma$  — объемная масса воды.

Надо иметь в виду, что важна также и остойчивость аппарата в режиме плавания на воде. Она основывается на способности тела, наклоненного под определенным углом, возвращаться в исходное положение. АВП, центр массы которого обычно находится выше центра поддержания, приобретает остойчивость благодаря воздействию бортовых частей понтона. При этом следует помнить о мерах безопасности для АВП, идущего при боковом ветре.

## 2.7. Аэродинамические измерения

Для испытаний АВП в целом, а также отдельных его частей, например нагнетателей, воздухопроводов и т. д. (рис. 55), необходимы измерения давления, напора и скорости воздуха, а иногда и температуры. Для этих целей и служат соответствующие приборы.

Для измерения давления применяются манометры. К самым простым по конструкции относятся жидкостные манометры, которые нашли широкое практическое применение. Они к тому же очень точны. Манометр состоит из стеклянной трубки в форме латинской буквы *U*, наполненной водой, ртутью или спиртом, и миллиметровой шкалы (рис. 56). Он служит для измерения давления (избыточного или вакуумметрического), которое определяется разницей высоты  $\Delta h$  столбов жидкости в плечах манометра. Для вычисления давления, существующего в резервуаре, используют формулу

$$p_a - p = \gamma h,$$

где  $p_a$  — атмосферное давление;  $p$  — измеряемое давление;  $\gamma$  — удельный вес воздуха;  $h$  — высота столба жидкости.

Чтобы измерить разницу давлений между двумя точками, следует оба конца трубки соединить с местами измерения. В этом случае используется дифференциальный манометр, а разница давлений, измеряемая этим манометром, эквивалентна разнице высот столбов жидкости в его плечах и составляет  $p_2 - p_1 = \gamma h$ .

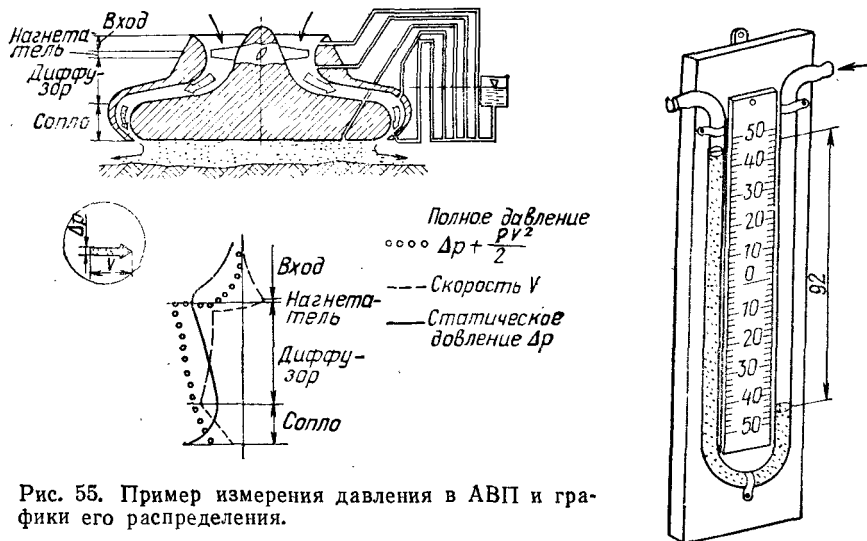


Рис. 55. Пример измерения давления в АВП и графики его распределения.

Рис. 56. Манометр с трубкой в форме латинской буквы *U*.

Для одновременного измерения давления во многих точках используются батарейные манометры (рис. 57).

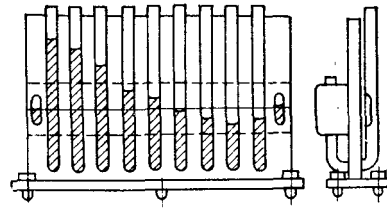


Рис. 57. Батарейный манометр.

Скоростной метод измерения объемного расхода воздуха основан на определении скоростей в отдельных точках сечения воздухопровода. Для измерения служит трубка Прандтля. С помощью этой трубки можно измерять динамическое давление  $p_{дин}$  и рассчитывать скорость прохождения воздуха в точках сечения воздухопровода, используя зависимость

$$p_{дин} = \frac{\gamma v^2}{2g},$$

отсюда

$$v = \sqrt{\frac{2gp_{дин}}{\gamma}}.$$

Динамическое давление означает разницу между полным  $p$  и статическим  $p_{ст}$  давлениями или  $p_{дин} = p - p_{ст}$ .

Давления статическое  $p_{ст}$ , динамическое  $p_{дин}$  и полное  $p$  могут быть измерены с помощью трубки Прандтля в сочетании с тремя трубчатыми U-образными манометрами (рис. 58).

Вычислив скорость прохождения воздуха в отдельных точках сечения канала, вычерчивают эпюру распределения скорости (рис. 59), по которой рассчитывается средняя скорость, служащая для определения объемного расхода воздуха,  $m^3/c$ ,

$$Q = v_{ср}F,$$

где  $F$  — поверхность сечения.

В некоторых случаях для определения скорости прохождения воздуха достаточно простейшего прибора, так называемой трубки Пито (рис. 60). Открытое плечо трубки устанавливают параллельно направлению прохождения потока воздуха, а конец ее соединяют с манометром, с тем, чтобы определить динамическое давление, как разницу уровней жидкости в обеих коленах открытого.

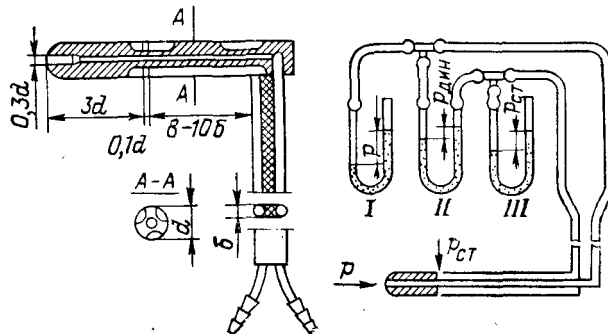


Рис. 58. Трубка Прандтля для измерения статического, динамического и полного давлений.

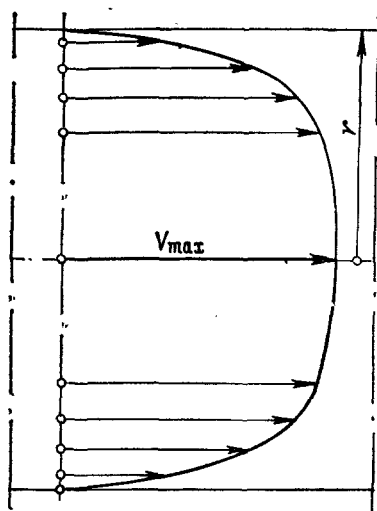


Рис. 59. Эпюра скоростей в сечении воздуховода.

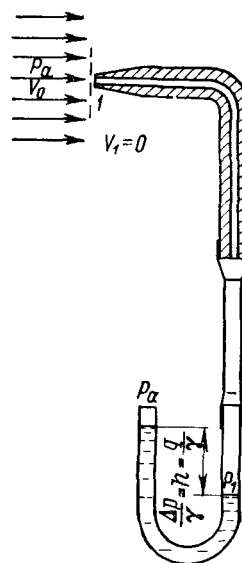


Рис. 60. Трубка Пито.

манометра. В другом колене манометра действует атмосферное давление.

Зная разницу давлений, обозначенную манометром, можно рассчитать скорость по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}.$$

Кроме вышеописанных приборов для измерения скорости движения воздуха, в особенности атмосферного, служат анемометры. Существуют крыльчатые анемометры, используемые для непосредственного измерения скорости в интервале 0,5—10 м/с, и чашечные анемометры, применяемые при скоростях 1—20 м/с.

### 3

## Модели аппаратов на воздушной подушке

### 3.1. Вступление

В настоящее время модельстами создается большое количество моделей различных типов АВП, которые являются копиями натуральных аппаратов либо представляют собой оригинальные конструкции, иногда же это модели транспорта бу-

дущего. В зависимости от предназначения модели на воздушной подушке классифицируют следующим образом: масштабные самоходные, спортивные, экспериментальные.

Модели АВП можно также классифицировать в зависимости от того, к какой разновидности транспорта они относятся: СВП; сухопутные АВП; железнодорожные АВП; аппараты, использующие воздушную подушку только для отрыва от земли и приземления; средства внутризаводского транспорта.

На основании этой классификации в дальнейшем будут рассматриваться необходимые условия для любительского моделирования.

В любительском моделировании нашли отражение принципы создания натуральных АВП. Чаще всего в моделях АВП используют камерную схему, периферийное сопло, эффект влияния поверхности на крыло и винт самолета, воздушную подушку скегового типа. В конструктивном плане создают миниатюрные копии хорошо известных АВП либо проектируют новые морские СВП, сухопутные и железнодорожные АВП, а также АВП нового, будущего поколения.

Для моделей АВП используются двигатели всех типов, которые применяются в авиа-, авто- и судомоделизме. Наиболее же широко применяются двигатели внутреннего сгорания и электромоторы.

Управление моделями осуществляется дистанционно: как по радио, так и с помощью тросов (кордовые модели).

В зависимости от назначения создаются разнообразные модели по конструкции, технологии изготовления и эстетическому совершенству. Масштабные самоходные модели принято считать наиболее совершенными с точки зрения конструкции и дизайна. Спортивные модели интересны способностью развивать большую скорость, преодолевать различные препятствия на пересеченной местности, а также широким диапазоном маневренности. С помощью экспериментальных моделей можно изучать характерные аэродинамические и конструктивные особенности и свойства новых аппаратов в условиях движения.

Масштабные самоходные модели обладают всеми характеристиками, линиями корпуса и пропорциями настоящего АВП, что достигается сравнительно большой массой аппарата и достаточным запасом мощности двигателя для создания воздушной подушки и силы тяги и для движения. Для обеспечения необходимых ходовых качеств модели конструкторы нередко прибегают к увеличению площади несущей поверхности и площади рулей, что помогает лучше управлять движением аппарата. Прибегать к подобным решениям следует осторожно, так как модель может получиться непропорциональной по своим размерам.

При конструировании моделей следует учитывать необходимость обеспечения остойчивости модели и способности к сопротивлению механическим ударам и воздействиям внешних препятствий. Наибольшее удовлетворение конструктору-любителю

приносит постройка мощного, тщательно технологически разработанного и оригинального по ходовым качествам аппарата. Модели этого типа способствуют популяризации АВП.

Спортивные модели должны отвечать прежде всего специфическим требованиям, которые предъявляют к ним спортивные состязания.

Для того чтобы модель АВП могла развить максимальную тягу, естественно, требуется установить двигатель максимальной мощности, обладающий при этом наименьшей массой. Модели с поршневыми двигателями в категориях: 2,5; 5; 10 см<sup>3</sup>, а также модели с электрическим приводом вызывают наибольший интерес. Чтобы в полной мере использовать все возможности для получения высоких результатов, следует выбирать те моторы, которые имеют лучшие показатели величины мощности на единицу массы. Очень важен также выбор оптимального воздушного винта, который наиболее подходил бы для данного двигателя и предполагаемой скорости движения модели. Большое значение имеет аэродинамическое сопротивление аппарата, которое должно быть минимальным, для чего следует использовать конструкцию с минимальной площадью поперечного сечения и выступающих частей корпуса.

Все это приводит к усложнению конструкции АВП. Следует отметить, что обычно спортсмен склонен стремиться одновременно и к простоте конструкции, и к достижению наивысших результатов, показываемых моделью.

Экспериментальные модели служат для проведения испытаний более совершенных АВП. В процессе их создания возникает возможность выявления конструктивных недостатков и эксплуатационных особенностей будущих АВП.

Модели, предназначенные для использования над поверхностью воды, должны обладать соответствующей плавучестью, которая гарантирует поддержание модели на водной поверхности после остановки двигателя, создающего воздушную подушку. Для масштабной модели объем плавучести должен соответствовать двукратной общей массе модели. Форма корпуса не должна затруднять образование воздушной подушки, а также ухудшать аэродинамику аппарата. Для обеспечения плавучести моделей АВП лучше всего использовать пенопласт, так как он достаточно легок и не размокает в воде.

Модели железнодорожных АВП движутся по специальной колее, направляющей движения аппарата. Такие модели должны иметь приспособленную для этой колее форму корпуса.

Модели, использующие принцип воздушной подушки только при полете в непосредственной близости от земли или воды, а также в момент старта и приземления, по своему конструктивному решению приближаются к моделям экранопланов или самолетов. Эти модели могут свободно летать или управляться с помощью корда. Для старта и поддержания заданного курса полета в воздухе необходимо прежде всего обеспечить устойчивость и управляе-



мость моделей, а также выполнить все требования, предъявляемые к летающей модели. Наиболее подробные сведения по этому вопросу можно найти в книгах по авиамоделизму.

### **3.2. Материалы, инструменты и технология изготовления**

Для постройки моделей АВП чаще всего используют древесину. Применяют также и пластмассы. Начинающие моделисты обычно используют картон.

Независимо от рода материалов и технологии изготовления моделей во всех типах аппаратов наиболее нагруженные узлы, например рамы двигателей, рулевые петли, шасси и т. п., изготавливают из металла.

Древесина, используемая при постройке моделей, может быть хвойных и лиственных пород. Из хвойных пород рекомендуется использовать сосну, ель, пихту; из лиственных — липу, тополь, березу, ольху, клен, орех и т. д.

Из металлов при постройке моделей АВП чаще всего применяют сталь или легкие сплавы. Металлические детали моделей АВП изготавливают из легкодоступных заготовок: металлических листов, проволоки и т. п.

При постройке стеклопластиковых моделей вначале из дерева или гипса изготавливаются специальные формы (болваны), на которых выклеивают корпус или его детали. Другой пластмассой, пригодной для изготовления моделей АВП, считается пенопласт. По сравнению с бальзовым деревом пенопласт обладает меньшей прочностью, поэтому элементы из него следует делать несколько более массивными. Хорошая устойчивость пенопласта к воздействию воды и горючего определяет его преимущественное использование в моделях. Следует также не забывать и об отрицательных свойствах этого материала, таких, как, например, скалывание тонких и острых углов, отсутствие устойчивости к воздействию растворителей и лаков (нитролака, ацетона и т. п.), что вынуждает прибегать к особой технике склеивания и окраски.

Ввиду низкой прочности пенопласта, которая объясняется его губчатой структурой, этот материал главным образом применяется для изготовления нижних частей корпуса моделей, а также для элементов, не подверженных действию нагрузок. Кроме того, пенопласт используется при постройке наиболее простых моделей, в процессе изготовления которых не возникает особых технических трудностей.

Обработка пенопласта не сложна. Хорошо заостренный нож можно считать самым лучшим универсальным инструментом для его резания. Следует помнить, что нож может быстро затупиться, а это ведет к ухудшению качества поверхности среза.

Для постройки модели АВП необходима конструкторская документация. На рис. 61 в качестве примера показаны наиболее часто публикуемые чертежи моделей. Для наиболее сложных моде-

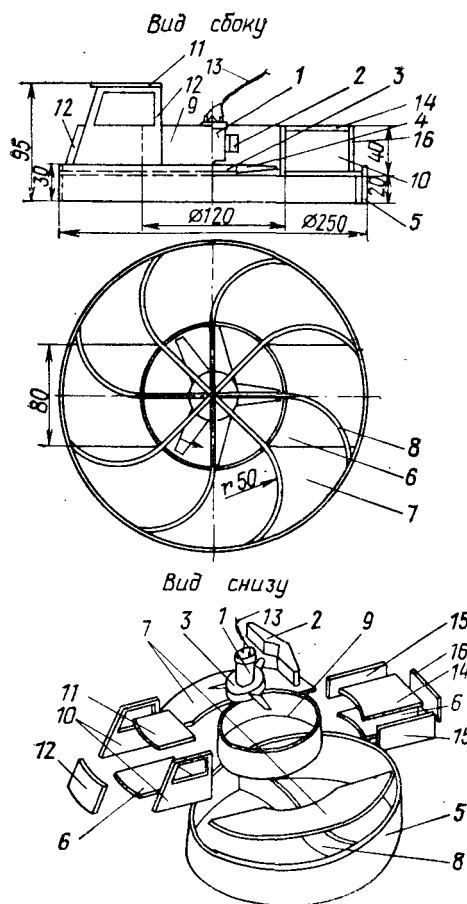


Рис. 61. Простейшая модель АВП.  
 1—двигатель; 2—рама; 3—штулка нагнетателя;  
 4—лопатка нагнетателя; 5—боковая стенка  
 корпуса; 6—центральная часть палубы; 7—бор-  
 товые части палубы; 8—спрямляющие лопатки;  
 9—корпус нагнетателя; 10—боковая стенка ка-  
 бины; 11—крыша кабины; 12—носовая часть  
 кабины; 13—электрический кабель; 14—крыша  
 надстройки; 15—боковая стенка надстройки;  
 16—задняя надстройка.

внешнем виде модели. Надо обратить особое внимание на технологию окраски модели и аккуратность нанесения цифр и буквенных обозначений.

### 3.3. Размеры, масса и равновесие моделей АВП

Перед тем как приступать к постройке модели (рис. 62) или созданию проекта, следует тщательно изучить соответствующие

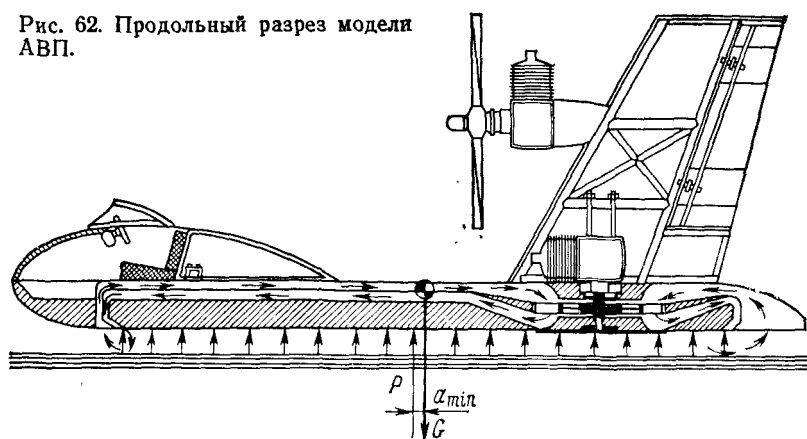
лей количество чертежей может быть значительным. В технических документах указываются материалы, последовательность сборки основных агрегатов и узлов, из которых состоит модель, а также рекомендации по наладке и испытаниям.

Модели АВП достаточно сложны и их постройка требует тщательного расчета параметров, определенное сочетание которых обеспечивает устойчивость полета модели. Несоблюдение основных технических требований может привести к тому, что модель, «выдуманная» ее создателем без чертежей и расчетов, может вообще не подняться над землей, не говоря уже о способности движения или маневрирования.

После завершения постройки модели необходимо проверить соответствие ее размеров и массы, а также центровку с данными, заложенными в проекте. В случае превышения предусмотренной в проекте массы модели следует произвести ее доработку, исключив некоторые лишние элементы, либо заменить их на более легкие. Центровку модели можно исправить путем уменьшения массы в наиболее тяжелых элементах конструкции.

Не следует забывать и о

Рис. 62. Продольный разрез модели АВП.



материалы, опубликованные в журналах и книгах. Изучение технических параметров, т. е. размеров, массы, системы создания воздушной подушки, мощности моторов и т. п. для начинающих любителей является настоящей необходимостью. Сведение в одну общую таблицу всех характеристик тех или иных моделей позволяет сопоставить возможности разных конструкций АВП. Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что увеличение грузо-подъемности моделей непосредственно влияет на возрастание

Таблица 1. Технические данные моделей на воздушной подушке

Параметры	Тип модели		
	РМ «Томашевский»	№ 1 «Войвар»	№ 6 «Хобби»
<b>Размерения, м:</b>			
длина . . . . .	0,70	1,00	1,12
ширина . . . . .	0,34	0,76	0,57
высота . . . . .	0,20	0,22	0,43
<b>Система создания воздушной подушки . . . . .</b>	Камерная схема	Сопловая схема	Камерная схема
Площадь воздушной подушки, м <sup>2</sup> . . . . .	0,15	0,60	0,57
<b>Масса, кг . . . . .</b>	0,95	2,20	2,50
<b>Мощность двигателя, кВт:</b>			
подъемной системы . . . . .	0,081	0,26	0,37
горизонтальной тяги . . . . .	0,081	0,081	0,37
<b>Тип двигателя . . . . .</b>	2х Яепа 1 см <sup>3</sup>	2,5—5 см <sup>3</sup> 1 см <sup>3</sup>	2×6 <sup>-10</sup> см <sup>3</sup>
<b>Удельные показатели:</b>			
давления в воздушной подушке, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	6,33	3,66	4,38
мощности на тягу, кг/кВт . . . . .	11,7	8,5	6,75
общей мощности, кг/кВт . . . . .	5,8	6,5	3,37
<b>Скорость, км/ч . . . . .</b>	35	30	35

мощности двигателей, а увеличение максимальной скорости связано с увеличением тяги. Мощность, необходимая для увеличения скорости полета, находится в кубической зависимости от скорости хода, т. е. чтобы увеличить скорость модели в 2 раза мощность двигателя должна быть увеличена не менее чем в 8 раз.

Из табл. 1 видно также, что АВП с большей площадью воздушной подушки имеют и большую грузоподъемность, но парят над поверхностью на той же высоте, как и малые модели с такой же мощностью. Уменьшение размеров корпуса АВП способствует улучшению ходовых характеристик модели. Анализ характеристик массы моделей АВП свидетельствует, что увеличение массы модели при неизменных мощности двигателя и размерах ведет к увеличению давления в воздушной подушке и, соответственно, к уменьшению зазора между моделью и поверхностью.

Конструктор должен хорошо знать основные требования, предъявляемые к будущей модели. Сравнение технических данных различных моделей должно помочь ему в этом разобраться. Масса модели, естественно, должна быть по возможности минимальной, чтобы модель АВП обладала наилучшими характеристиками. Таким образом, важно знать параметры массы отдельных агрегатов и всей модели с тем, чтобы уменьшить общую массу до минимума. Источником информации могут служить статистические данные, по которым можно судить о массе различных элементов АВП с двигателями емкостью 5 и 2,5 см<sup>3</sup>:

— элементы, не зависящие от размеров модели; двигатель — 190 г, оборудование двигателя — 30 г, крепление двигателя 40 г, бак для топлива — 30 г, нагнетатель или воздушный винт 30 г, система управления — 20 г, итого — 340 г;

— элементы зависящие от размеров модели с двигателями 5 и 2,5 см<sup>3</sup>: корпус — 60, 50 г, гибкое ограждение — 40, 30 г, вертикальные стабилизаторы — 20, 10 г, итого — 120, 90 г. Общая масса модели — 460, 430 г.

### **3.4. Выбор системы подъема и движения**

Специфика моделей АВП такова, что некоторые известные схемы образования воздушной подушки для них неприемлемы. Наиболее распространенными типами воздушной подушки являются камерная и сопловая схемы, а также схемы, основанные на использовании эффекта влияния экрана на крыло самолета (рис. 63).

Камерная схема (рис. 64) — наиболее простая из всех известных применяется чаще всего в варианте жесткого корпуса. Для подачи воздуха используются осевые нагнетатели, изготовленные из дерева или металла, а иногда воздушные винты авиамodelей. Реже применяются центробежные нагнетатели. Для создания тяги используются как модельные двигатели внутреннего сгорания, так и модельные электромоторы, применяемые и для других схем воздушной подушки.

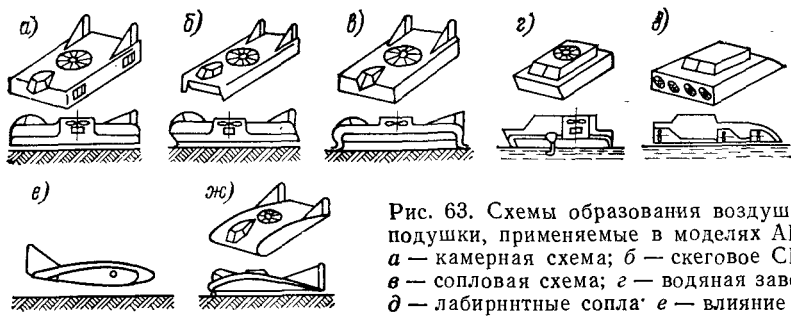


Рис. 63. Схемы образования воздушной подушки, применяемые в моделях АВП; а — камерная схема; б — скелетное СВП; в — сопловая схема; г — водяная завеса; д — лабиринтные сопла; е — влияние поверхности на крыло.

Размеры подкуольного пространства вместе с воздушными каналами должны соответствовать теоретическим требованиям. На практике же часто приходится идти на компромисс в зависимости от назначения модели. Для масштабных самоходных моделей АВП ради улучшения внешнего вида можно отказаться от стремления к достижению высоких ходовых качеств. Что же касается спортивных моделей, то такой компромисс в этом случае невозможен.

Сопловая схема (см. рис. 64) имеет очень много вариантов. Выбор нужного зависит от уровня подготовки моделиста. Простые модели характерны несложными конструктивными решениями кругового сопла; более сложные — имеют двухрядное кольцевое сопло или рециркуляцию воздуха.

Так как нагнетатели моделей АВП создают небольшое воздушное давление, материал, из которого изготавливается гибкое ограждение, должен быть мягким, легким, устойчивым к трению и влиянию атмосферы. Для моделей, используемых внутри помещений, применяется техническая ткань разных видов на хлопчатобумажной или нейлоновой основах, а также стекловолокна, если этого

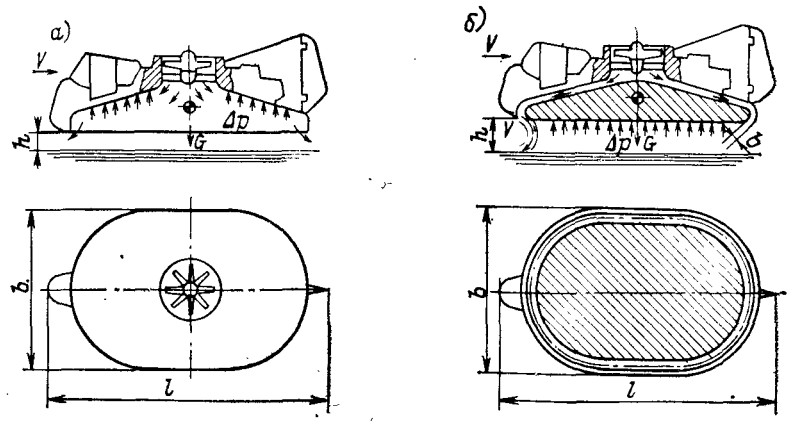


Рис. 64. Геометрические характеристики камерной и сопловой схем.

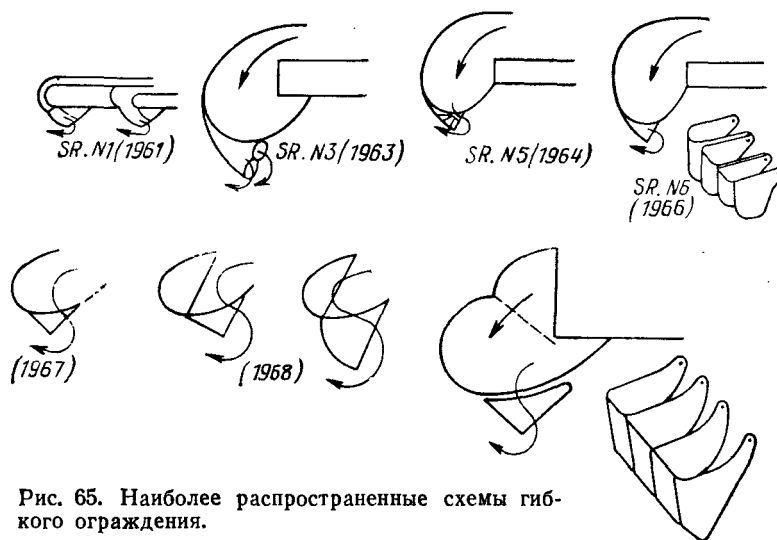


Рис. 65. Наиболее распространенные схемы гибкого ограждения.

требуют условия эксплуатации и позволяют размеры модели. Во всех случаях применения гибкого ограждения наиболее сложной проблемой является способ его соединения с корпусом модели. Сложность заключается в том, чтобы это соединение было простым в эксплуатации, несложным в изготовлении, не пропускало большого количества воздуха и не портило внешний вид. На рис. 65 показаны различные формы гибкого ограждения, устанавливаемого на натуральных АВП. Их можно использовать и на моделях. На этом рисунке показаны также конструкции и принцип работы съемных элементов гибкого ограждения, которые быстрее изнашиваются и поэтому подлежат частой замене.

Пример расчета требуемой мощности двигателей подъемной системы и скорости хода моделей АВП камерной и сопловой схем.

Дано: полная масса модели — 1,5 кг; мощность двигателя — 0,15 кВт; объем двигателя — 2,5 см<sup>3</sup>; размеры модели — 760 × 1000 мм. Схема образования воздушной подушки — камерная.

Расчет:

— площадь воздушной подушки

$$F = 1 \cdot 0,76 = 0,76 \text{ м}^2;$$

— давление в воздушной подушке

$$p_{в. п} = \frac{G}{F} = \frac{1,5}{0,76} = 1,97 \text{ кг/м}^2 \text{ (19,7 Па)};$$

— высота подъема корпуса модели  $h = 5 \text{ мм}$ ;

— эффективная высота подъема корпуса модели над поверхностью:

$$h_э = 0,7h = 3,5 \text{ мм} = 0,0035 \text{ м};$$

— эффективная площадь истечения воздуха по периметру корпуса модели

$$F_э = \text{периметр} \times h_э = (0,76 + 1 \text{ м}) \cdot 2 \times 0,0035 = 0,0122 \text{ м}^2;$$

— приближенное значение скорости истечения воздуха из-под корпуса модели

$$v = \sqrt{\frac{2g \Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,97}{1,22}} = 5,6 \text{ м/с,}$$

где  $g = 9,81$  — ускорение свободного падения;  $\gamma$  — объемная масса воздуха  $1,22 \text{ кг/см}^3$ ;

— необходимый расход нагнетателя системы подъема

$$Q = F_3 v = 0,0122 \text{ м}^2 \cdot 5,6 \text{ м/с} = 0,068 \text{ м}^3/\text{с};$$

— мощность, требуемая для образования воздушной подушки, составит

$$N_{в.п} = \frac{Q p_{в.п}}{75 \eta_n} = \frac{0,068 \cdot 1,77}{75 \cdot 0,8} = 0,0022 \text{ л. с} = 0,0016 \text{ кВт,}$$

где  $\eta_n = 0,8$  — принятый КПД нагнетателя.

Из приведенного расчета видно, что имеется избыток мощности двигателя, предназначенного для установки на модели. Эту избыточную мощность можно использовать либо на увеличение высоты подъема корпуса модели при неизменной массе модели, либо на размещение дополнительного оборудования (например, аппаратуры дистанционного управления).

Подобный расчет для такой же модели с сопловой схемой образования воздушной подушки показывает следующее:

— избыток мощности для модели будет больше, так как у нее выше КПД подъемной системы;

— мощность, необходимую для подъемной системы модели, можно рассчитать по формуле

$$N_{в.п} = \frac{kn \sqrt{G} \Delta p}{\eta} = \frac{0,07 \cdot 0,05 \sqrt{1,5} \cdot 1,97}{0,56} = 0,0015 \text{ л. с} = 0,0011 \text{ кВт,}$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от формы корпуса модели в плане; для овального корпуса  $k = 0,07$ , для прямоугольного — при соотношении длины к ширине равном двум  $k = 0,08$ , при соотношении равном трем  $k = 0,09$ ;  $\eta = \eta_n \eta_{в.т} \eta_{пер}$  — общий КПД, где  $\eta_n$  — КПД нагнетателя (0,6—0,8);  $\eta_{в.т}$  — КПД воздушного тракта (0,6—0,7);  $\eta_{пер}$  — КПД передачи от двигателя к нагнетателю при непосредственном приводе нагнетателя от двигателя  $\eta = 1$ .

В расчете принято  $\eta = \eta_n = \eta_{в.т} = 0,8 \cdot 0,7 = 0,56$ .

Движение модели АВП осуществляется с помощью горизонтальной тяги, создаваемой движителем (рис. 66). Конкретная конструкция движителя зависит от фантазии модельистов, а также от типа проектируемой модели. Чаще всего, однако, применяют воздушный винт непосредственно навешенный на авиамодельный двигатель, в этом случае тяговый агрегат получается простой и легкий. Такой агрегат позволяет управлять моделью при помощи аэродинамического руля, находящегося в потоке воздуха за воздушным винтом, вследствие чего улучшается управляемость аппарата. Запуск двигателя производится путем раскручивания винта рукой. Кроме того, подобная система позволяет широко



Рис. 66. Варианты движительных систем АВЛ: а — реакция струй воздуха, выходящего из кольцевого сопла; б — воздушно-реактивный; в — свободный воздушный винт; г — воздушный винт в кольце; д — реактивный двигатель.

использовать опыт авиамоделизма для решения многих практических вопросов.

Для упрощения расчетов можно принять за аксиому, что движение модели при заданной мощности является установившимся движением, вследствие чего все силы, которые действуют на модель, и особенно сила тяги винта  $T_v$  должны быть взаимно уравновешены. Таким образом, уравнение можно представить в следующем виде:

$$T_v = P_x,$$

где  $P_x$  — равнодействующая всех сил сопротивления движению модели.

После подстановки

$$\frac{N_v \eta}{v} = C_x S \frac{1}{2} \rho v^2,$$

где  $C_x$  — общий коэффициент сопротивления корпуса;  $S$  — площадь поперечного сечения корпуса;  $N_v$  — мощность тягового двигателя;  $\eta$  — КПД воздушного винта.

Преобразуя обе части равенства, получаем формулу для скорости хода модели.

$$v = \sqrt[3]{\frac{2N_v \eta}{C_x S \rho}},$$

на основании которой можно вычислить с приемлемой точностью максимальную скорость хода модели.

Для расчета скорости модели принимаем:  $N_v = 0,2$  л. с — мощность тягового двигателя объемом  $2,5$  см<sup>3</sup>;  $\eta = 0,8$  — КПД воздушного винта;  $C_x = 0,8$  — коэффициент сопротивления модели;  $S = 0,76 \cdot 0,2 = 0,15$  м<sup>2</sup> — площадь поперечного сечения корпуса модели;  $\rho = 1/8$  кг · с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup> — плотность воздуха

$$v = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 75}{0,8 \cdot 0,15 \cdot 1/8}} = \sqrt[3]{1592,66} = 12,6 \text{ м/с} = 45,5 \text{ км/ч.}$$

Создавая модель, движущуюся с большой скоростью, скажем, кордовую, конструктор-любитель должен позаботиться о придании ей формы с наименьшим аэродинамическим сопротивлением, в частности, стремиться уменьшить площадь поперечного сечения



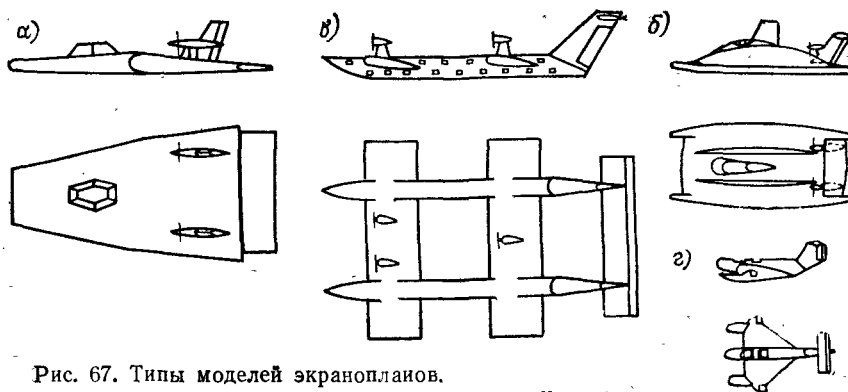


Рис. 67. Типы моделей экранопланов.

а — крыло-таран; б — пассажирский экраноплан «Колумбия»; в — пассажирский двухкорпусный экраноплан «Вейландт»; г — экспериментальный аппарат «Эйрфойлбоут X-112» доктора Липпиша.

модели. Это обеспечит одновременно и уменьшение аэродинамического сопротивления, и максимальное увеличение скорости движения.

Кроме упомянутых выше схем АВП, при создании моделей применяются и другие схемы: с винтом в кольце, скеговые, экранопланы и т. д.

Хорошие результаты показывают модели скеговых СВП. Подобные модели благодаря погружению боковых стенок (скегов) в воду не вызывают сильного волнения водной поверхности. К недостаткам данной модели можно отнести то, что она способна передвигаться только по водной поверхности.

Фантазии модельщиков-конструкторов, создающих летающие модели с использованием эффекта влияния близости экрана на крыло самолета, дали толчок к появлению разнообразных конструктивных схем экранопланов (рис. 67). Специфика полета экранопланов заставляет конструкторов-любителей глубже изучать околоэкранный аэродинамику крыла, чтобы найти наиболее верный путь увеличения подъемной силы модели. Именно поэтому модели экранопланов создаются лишь наиболее опытными модельщиками.

Интерес вызывает и система тяги модели АВП при помощи воздушных сопел в кормовой части модели, через которое вырывается воздух, идущий от нагнетателя или из воздушной подушки. Размещение сопел по бокам аппарата позволяет использовать их для изменения направления тяги, т. е. для торможения и разворота модели.

### 3.5. Двигатели, нагнетатели, движители и передачи

В зависимости от назначения модели, ее размеров, требуемых технических параметров, модельщик выбирает соответствующий тип двигателя, нагнетателя, а также воздушного винта. В моделях, предназначенных как для свободного, так и управляемого

движения по воде или суше, как правило, применяются специальные модельные двигатели внутреннего сгорания. Это в одинаковой степени относится к масштабным самоходным и спортивным моделям. На моделях, демонстрируемых в закрытых помещениях, для предотвращения загрязнения воздуха применяют электродвигатели.

Для моделей АВП применяются авиамодельные двигатели абсолютно всех типов и объемов мощности, в том числе, 2,5, 5, 10 см<sup>3</sup>. Примером подобного двигателя, наиболее доступного в ПНР, является мотор «Сокол» советского производства. Он предназначен для начинающих моделлистов. Его можно использовать для любой модели АВП.

Основные технические данные мотора «Сокол» следующие: диаметр цилиндра — 14,5 мм, ход поршня — 15 мм, рабочий объем цилиндра — 2,48 см<sup>3</sup>, частота вращения — 10 000—14 000 об/мин, максимальная мощность мотора — 0,183 кВт, масса — 130 г, охлаждение — воздушное, смазка — маслом из состава горючей смеси.

Для работы «Сокола» необходимы следующие горючие смеси:  
— стандартное топливо для эксплуатации моторов в период обкатки: 40% эфира, 35% керосина, 25% минерального моторного масла для двухтактных двигателей либо касторового масла;  
— специальная горючая смесь для повышенной мощности двигателя: 40% эфира, 31% керосина, 9% касторового масла, 15% минерального масла, 2% нитританила, 3% бензола.

Размеры мотора: высота — 78 мм, длина — 85 мм, ширина — 42 мм.

На больших моделях, управляемых по радио, применяются моторы объемом до 10 см<sup>3</sup>. Нередко на модель устанавливаются два мотора и даже более. В обычных условиях для достижения определенных технических параметров возможно применение моторов с калильным зажиганием типа «Вебер» австрийского производства. Они предназначены прежде всего для радиомоделей. Эти моторы отличаются простотой конструкции, высокими техническими характеристиками и могут быть оснащены регулятором частоты вращения и глушителем фабричного производства. Вал двигателя установлен на подшипниках качения.

Следует помнить, что во время эксплуатации все моторы чувствительны к запылению и чрезмерной нагрузке, что ведет к сокращению срока их эксплуатации. Аккуратное в соответствии с инструкцией обращение с мотором гарантирует легкий запуск и исправную работу.

В последнее время моделлисты, создающие АВП, заинтересовались мотором с вращающимся поршнем. Этот интерес вызван высокими техническими характеристиками такого мотора. Преимуществами данного типа двигателя можно считать:

— уравновешенность работы, являющейся результатом вращения двигающихся масс, лучший, чем у двухтактного одноцилиндрового двигателя, относительный вращающий момент;



— значительная мощность на  $1 \text{ см}^3$  объема цилиндра, развиваемая при умеренной частоте вращения;

— простота регулировки в большом диапазоне мощности двигателя.

Примером двигателя с вращающимся поршнем является модельный мотор фирмы «Граупнер» из ФРГ типа НСУ/Ванкель. Он имеет следующие технические характеристики: объем цилиндра —  $4,9 \text{ см}^3$ , масса — 310 г, максимальная мощность — 0,6 кВт, частота вращения при максимальной мощности — 17 000 об/мин, максимальный момент —  $45 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$ , диаметр — 70 мм, длина — 64 мм.

Следует обратить особое внимание на необходимость применения специальных резонансных глушителей для наиболее шумных модельных поршневых моторов. Этого требуют законы охраны окружающей среды. Для моторов с объемом мощности от 2,5 до  $8,0 \text{ см}^3$  при 10 000—15 000 об/мин глушитель обязателен. Кроме уменьшения шума он дает увеличение мощности двигателя в среднем на 15%. На рис. 68 представлен чертеж, позволяющий изготовить такой глушитель самостоятельно. Это под силу только тем моделистам, которые обладают навыками пайки и сумеют отрегулировать длину резонансной трубы с целью создания оптимальных условий работы двигателя.

Электродвигатели, используемые для моделей АВП, это прежде всего двигатели постоянного тока, реже — переменного.

Электродвигатели постоянного тока, работающие от батарей сухих элементов или аккумуляторов, обладают рядом достоинств по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. Их основные достоинства: небольшие размеры, низкий уровень шума и степень загрязнения воздуха. К недостаткам таких моторов можно отнести большие массы двигателя (на единицу мощности) и источников питания. Что же касается cordовых моделей АВП, то эти недостатки устраняются, если источник тока находится в руках спортсмена.

В отдельных случаях в качестве двигателей для крупных моделей АВП используют однофазные двигатели переменного тока, применяемые в пылесосах. Это связано с тем, что агрегат сжатого воздуха пылесоса целиком пригоден для питания системы тяги моделей АВП большой грузоподъемности, например средств внутризаводского транспорта, моделей прицепов большой грузоподъемности и аппаратов, движущихся по колее.

После выбора двигателя моделист приступает к проектированию нагнетателя, создающего воздушную подушку, а также воздушного винта, предназначенного для движения аппарата.

Выбирая и проектируя нагнетатель и воздушный винт, следует помнить, каким требованиям они должны отвечать, а именно:

— потреблять наибольшую мощность, предназначенного к установке мотора с таким расчетом, чтобы при движении мотор работал на оборотах, соответствующих оборотам максимальной мощности;

— максимально преобразовать мощность мотора в полезную работу, добиваясь максимального КПД (рис. 69).

Технические и аэродинамические характеристики нагнетателя или воздушного винта на начальной стадии проектирования целесообразнее всего выбрать, используя серии нагнетателей винтов промышленного изготовления.

Ниже приводятся характеристики осевых и центробежных нагнетателей, которые могут быть использованы в моделях любительских АВП (рис. 70), разработанные Центральным аэрогидродинамическим институтом им. проф. Н. Е. Жуковского в Москве. Для расчета нагнетателя данной серии используются следующие формулы:

— площадь рабочего колеса нагнетателя ( $m^2$ )

$$F = \frac{\pi D^2}{4};$$

— окружная скорость рабочего колеса (м/с)

$$u = \frac{\pi D n}{60};$$

— коэффициент производительности расхода

$$\varphi = \frac{Q}{Fu};$$

— коэффициент полного давления

$$\psi = \frac{p_v}{\rho u^2 / 2};$$

— коэффициент мощности

$$\lambda = \frac{N}{\rho \frac{Fu^3}{2}}.$$

Для подбора воздушного винта приведены аэродинамические характеристики серии воздушных винтов (рис. 71). Эта диаграмма показывает зависимость коэффициента мощности от относительной поступи  $\beta = f(\lambda)$  для двухлопастных винтов, отличающихся значением относительного шага. На диаграмме также нанесены кривые коэффициентов полезного действия  $\eta$ .

Подбирая воздушный винт, следует определить три величины: коэффициент мощности  $\beta$ , относительную поступь, а также КПД, которые позволят непосредственно вычислить четвертую искомую

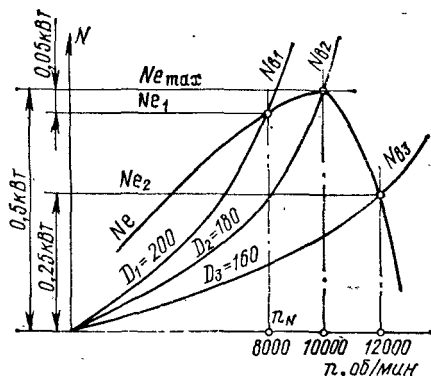


Рис. 69. Выбор винта по характеристикам двигателя и винта.

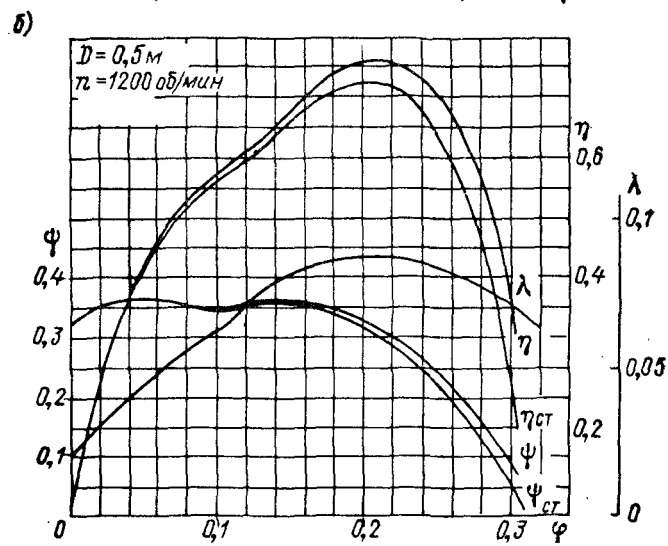
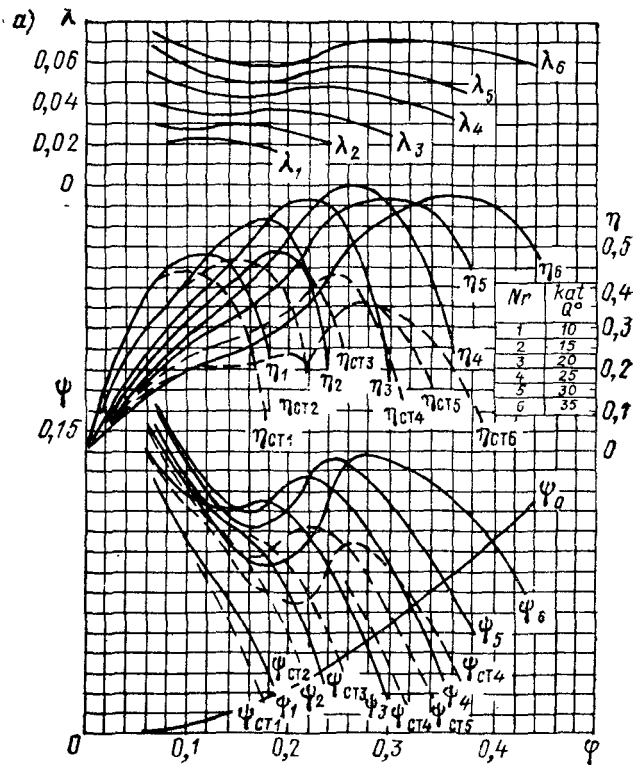


Рис. 70. Аэродинамические характеристики нагнетателей: а — осевых (геометрия лопаток см. рис. 81); б — центробежных.

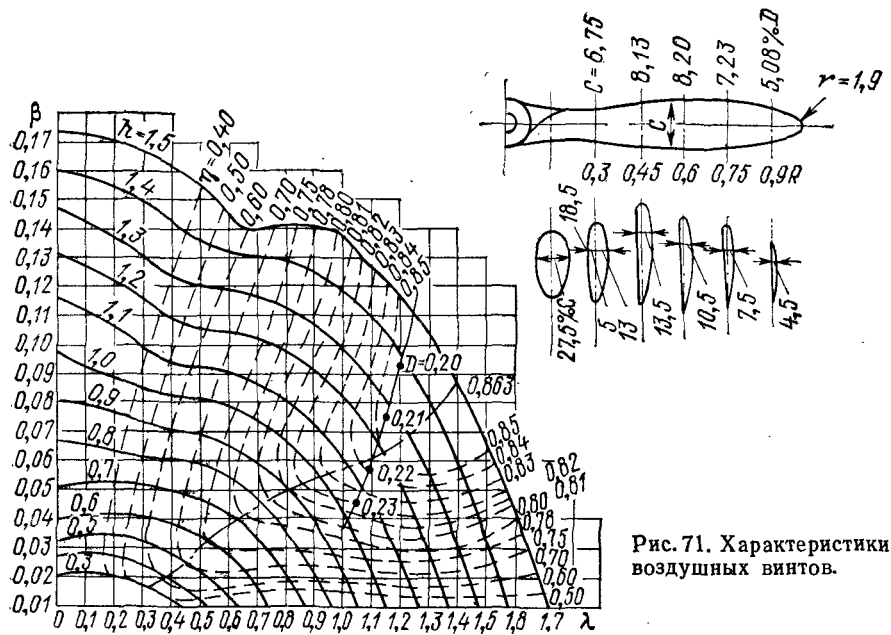


Рис. 71. Характеристики воздушных винтов.

величину, необходимую для выбираемого воздушного винта. Эта величина — коэффициент тяги  $\alpha$  вычисляется по формуле

$$\alpha = \eta \frac{\beta}{\lambda}.$$

Анализ формулы мощности, данный в гл. 2 показывает, что потребляемая мощность винта зависит от его диаметра и коэффициента мощности  $\beta$ . Этот коэффициент для геометрически подобных воздушных винтов, а также для их конкретной серии, зависит главным образом от шага и относительной поступи.

Диаметр и шаг воздушного винта следует выбирать на пересечении характеристики винта с характеристикой двигателя в точке, соответствующей максимальной мощности. При этом КПД винта должен быть наивысшим.

Использование двух-, трех- либо четырехлопастного воздушного винта в качестве нагнетателя в моделях АВП возможно только в исключительных случаях, потому что воздушный винт не может создать требуемое давление потока воздуха, в воздушном тракте АВП.

Делая выбор между центробежным и осевым нагнетателями, следует учитывать, что модель с центробежным нагнетателем будет более низкой, а также не будет иметь потерь давления на прохождение воздуха через диффузор. Различие в прохождении потока воздуха через осевой и центробежный нагнетатели, применительно к АВП с периферийным соплом, показано на рис. 72.

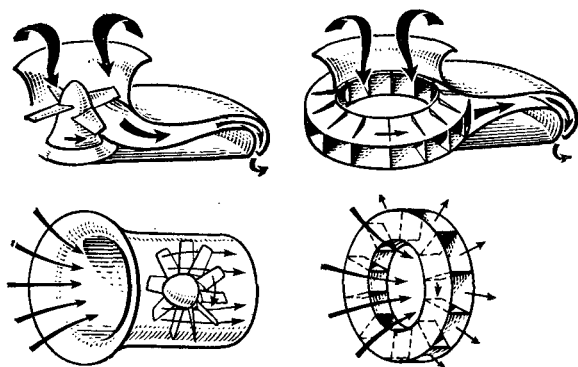


Рис. 72. Сравнение осевого и центробежного нагнетателей применительно к АВП сопловой схемы.

Осевые нагнетатели и воздушные винты изготовляют, как и в авиамоделизме, из дерева, металла и пластмасс. Из дерева проще всего изготовить нагнетатель или винт с малым количеством лопастей. Осевые многолопастные и центробежные нагнетатели изготовляют из листовой стали или легкого сплава путем соответствующей гибки лопастей. Для соединения лопастей осевого нагнетателя со ступицей, а центробежного с дисками применяют газо- и электросварку. Изготовление нагнетателей и винтов из пластмасс сложнее, так как в этом случае необходимо предварительно сделать форму, что оправдано только при их серийном производстве.

Для скеговых СВП применяют гребные винты, методы расчета которых и технология изготовления известны из судомоделизма.

### 3.6. Управление моделями АВП

Управление моделями на воздушной подушке осуществляется с целью контроля за направлением движения в горизонтальной плоскости (рис. 73). Управление в вертикальной плоскости — продольное — характерно для экранопланов, которые движутся на воздушной подушке во время полета в непосредственной близости от земли.

Чтобы свободно движущаяся модель имела надежную управляемость, рулевое устройство должно быть жестко закреплено на корпусе — это исключит произвольные отклонения на любом участке траектории движения.

Чтобы кордовая модель сохраняла постоянную управляемость, нити должны быть натянуты на всем пути движения модели по кругу от возникающей при этом центробежной силы.

Следует учитывать влияние на модель ветра. Нельзя допускать, чтобы под влиянием ветра у модели появлялась тенденция отклонения в центр площадки, вокруг которой она летает, — может произойти авария или полная поломка модели. Этого можно избежать, перемещая точки крепления тросов в корму от центра массы модели, в результате чего центробежная сила, которая всегда



действует в центре массы модели, создает момент, выталкивающий модель за пределы дуги движения. Кроме того, отклоняя руль направления или полностью поворачивая вертикальный стабилизатор (киль), можно добиться отклонения модели к внешней части траектории. Еще один способ удержания модели на круговой траектории — использование составляющей силы тяги воздушного винта для натяжения нитей корды.

В зависимости от нагрузки, т. е. от массы модели и скорости ее полета система управления с помощью корды будет более или менее сложной и массивной. В больших и тяжелых моделях АВП с двигателями объемом выше  $2,5 \text{ см}^3$  в целях большей надежности следует применять усиленные подшипники руля, надежное закрепление нитей и предохранять их от перетирания.

Дистанционное управление моделями АВП осуществляется путем воздействия на руль направления и карбюратор двигателя для изменения режима его работы. Успешное использование аппаратуры дистанционного управления в большой степени зависит от исполнительных механизмов, которые так же важны, как и приемно-передающая аппаратура. Из огромного числа их разновидностей и типов в моделировании АВП следует применять лишь наиболее отработанные механизмы.

Среди широко распространенных исполнительных механизмов, применяемых в одноканальной аппаратуре, можно выделить самое простое устройство, состоящее из электромотора с небольшим шкивом, укрепленным на его валу. На шкив непосредственно намотана нить, изменяющая положение руля. Движение руля в обратном направлении осуществляется при помощи пружины. Двухканальное управление с таким исполнительным механизмом можно получить при постоянном отклонении руля в крайнем положении. Прямое направление движения в этом случае сохраняется

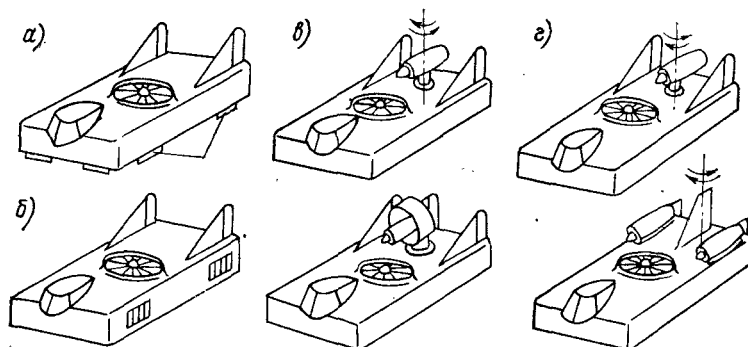


Рис. 73. Типы систем управления, которые могут быть использованы на моделях АВП: а — с заслонками, размещенными в потоке воздуха, истекающего из кольцевого сопла; б — со струйными рулями; в — путем поворота тягового комплекса вокруг вертикальной оси либо с помощью руля, установленного в потоке воздуха за воздушным винтом; г — путем поворота реактивного двигателя либо с помощью рулей, установленных в потоке газов, вылетающих из двигателей.

непрерывной перекладкой руля с борта на борт, т. е. отсутствие сигнала приводит к повороту модели в сторону постоянно отклоненного руля.

Другим типом исполнительного механизма является механизм с резиновым приводом, управляемый при помощи электромагнита. Этот механизм прост, он имеет несколько разновидностей: одни работают по программе сигнал — отклонение, другие — осуществляют командно-контрольные функции по программе путем подбора последовательных сигналов на данном отрезке времени. Существуют также командно-контрольные устройства, работающие по системе: сигнал — нейтральное положение, отсутствие сигнала — крайнее положение и обратно.

Еще один тип исполнительного механизма — программное устройство, цикл работы которого задается при помощи электродвигателя, вращающего диск с программным контактным устройством.

### **3.7. Основы проектирования и конструирования модели АВП**

#### **3.7.1. Вступление**

Перед началом проектирования модели АВП следует выявить исходные технические элементы модели, которые зависят от назначения модели АВП, типа конструкции и ее размеров.

Основным параметром, влияющим на ходовые качества модели, является мощность двигателя. Зная размеры модели, можно приблизительно вычислить ее массу, что в дальнейшем позволит рассчитать потребную мощность мотора.

Величина мощности, в свою очередь, позволит выяснить двигательные возможности АВП. Стремление к уменьшению массы модели при имеющейся мощности мотора — всегда актуальная проблема для моделиста: чем легче модель, тем она совершеннее. Трудность заключается в выборе оптимального конструктивного решения.

Несущая поверхность модели непосредственно связана с ее грузоподъемностью, поэтому модель должна иметь, по возможности, крупные размеры. В то же время крупные габариты модели затрудняют ее эксплуатацию, поэтому размеры модели АВП всегда являются компромиссом между стремлением к максимальной грузоподъемности и оптимальной компоновке модели.

Немаловажное требование — эстетический внешний вид модели, ее функциональность. Масштабные самоходные модели более разнообразны по конструкции, что является их основным достоинством. Преимуществом спортивных моделей, предназначенных для состязаний, можно считать их ходовые качества.

Начинающие конструкторы-моделисты должны строить наиболее простые АВП. Это желательно потому, что как конструирование, проектирование, так и сам процесс изготовления

простейшей модели АВП наряду с ее испытанием позволяет изучить все проблемы, связанные с моделизмом АВП вообще. Совершенно естественно, что моделисты, уже имеющие некоторый опыт в конструировании скутеров, авиамоделизме, автомоделлизме, могут приступить к созданию более сложных моделей АВП. Что же касается спортивных моделей, то их постройкой рекомендуется заниматься лишь опытным моделистам.

Корпуса аппаратов в зависимости от типа модели можно разделить на рамные и несущие (каркасные).

Рамные конструкции характеризуются наличием рамы как основного элемента несущей поверхности и конструкции вообще. Она связывает воедино все остальные части модели.

Пространственная несущая конструкция корпуса сложнее по своему решению, однако позволяет создать более легкую и эстетически совершенную модель.

В зависимости от типа корпуса модели конструктор выбирает остальные элементы модели. На рис. 63 даны типы решений подъемной системы, а на рис. 66 и 73 — типы движительных комплексов и систем управления. Простейшим конструктивным решением модели АВП является привод от единого двигателя, в котором поток воздуха за воздушным винтом создает воздушную подушку и обеспечивает горизонтальную тягу. Пример более сложной модели АВП — модель, в которой подъемная система и система горизонтальной тяги независимы друг от друга и представляют собой отдельные агрегаты. Согласование их работы осуществляется при помощи бортового или дистанционного управления.

Независимо от типа и назначения модели корпус всегда используется для крепления всех остальных узлов АВП: двигателей, рулей, системы дистанционного управления и т. д. Очень ответственным элементом модели АВП следует считать крепление двигателя, конструкция которого должна быть легкой, жесткой и прочной. Значительная мощность двигателей, а также сильная вибрация, вызванная высокой частотой вращения, в сочетании с небольшой массой модели приводят к большим нагрузкам на эту часть конструкции. Различные виды крепления моторов могут быть заимствованы из практики авиамоделизма. Естественно, что самым простым способом крепления мотора является привинчивание его рамы при помощи винтов непосредственно к корпусу. В наиболее совершенных и технически сложных конструкциях моделей АВП применяется также крепление мотора к таким конструктивным элементам, как корпус нагнетателя или стабилизатор руля направления.

Ввиду того что в процессе эксплуатации модели рули нередко выходят из строя, они должны легко демонтироваться. Решение этой задачи значительно облегчается, если применить руль со стабилизатором, к которому он крепится при помощи петель. Сложнее крепить руль, который в точке своего крепления должен обладать способностью вращения. В этом случае применяют подшипники.

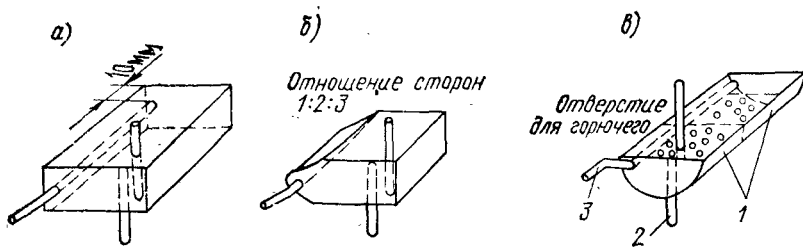


Рис. 74. Конструкция топливных баков.

Назначение топливной системы — снабжение двигателя топливом во время движения. Неправильная компоновка и ошибочное схемное решение топливной системы могут затруднить нормальную эксплуатацию модели АВП. Это касается прежде всего кордовых моделей, в которых на топливо, находящееся в бачке, действует центробежная сила. При этом топливо распределяется по внутренним стенкам бачка, что затрудняет его вытекание. Проектируя размещение топливного бачка на корпусе, следует учитывать условия работы системы во время движения модели. В состоянии покоя топливо поступает в карбюратор по принципу сифона, но когда мотор прекращает работу или в горючей смеси возникают пузырьки воздуха, сразу же струя горючего прерывается и мотор не в состоянии всасывать топливо.

В момент неожиданных ускорений движения моделей, особенно на старте, часто случается, что горючее вследствие влияния сил инерции возвращается в бачок, двигатель через топливоподающую трубку всасывает воздух, и после расхода остатка топлива в трубке, перестает работать.

На рис. 74 даны рекомендуемые соотношения размеров и конструктивные решения типовых топливных баков. При проектировании топливной системы следует обратить особое внимание на способ размещения на модели топливо- и воздухоподводящих каналов, которые обычно выводятся на внешнюю часть корпуса модели. Во время движения модели каналы обдуваются потоком воздуха. Если они плохо закреплены или неправильно установлены по отношению к направлению потока воздуха, то под воздействием воздуха во время полета в бачке возникнет разрежение, которое приведет к самопроизвольному выливаю топлива и неравномерной работе мотора.

Кроме открытой топливной системы, в которой подача топлива осуществляется по принципу всасывания его мотором и действия сил тяжести, а также центробежной силы в случае с кордовыми моделями, применяется также замкнутая топливная система, подающая топливо под давлением, независимо от влияния внешних сил. Схему устройства такой топливной системы можно заимствовать из практики авиамоделизма.

Если в моделях АВП используются электродвигатели, проблемы топливной системы не возникает, так как источник электро-

энергии в виде батареи или аккумулятора находится в руках оператора, управляющего моделью на корде, а нити корды являются одновременно электропроводами.

Проектируя модель АВП с дистанционным управлением, следует предусмотреть и место для размещения аппаратуры дистанционного управления, которая обычно невелика, легка и достаточно проста, если речь идет об одноканальном управлении. В случае же многоканального управления она весьма сложна.

Батареи дистанционного управления обычно размещают под или над топливным бачком. Они упакованы в резину или в пенополистерол и прикреплены к корпусу резинками. Желательно, чтобы батареи были помещены в специальный контейнер, что облегчает их демонтаж с модели.

Исполнительные механизмы монтируются на рамах, закрепленных в соответствующих местах модели. С целью борьбы с вибрацией, возникающей в результате работы мотора, эти устройства следует монтировать с помощью мягкой резины, выполняющей роль мягкого амортизатора.

Корпус модели АВП должен обладать большой прочностью, однако не за счет увеличения массы. Следует не забывать, что основные достоинства модели — это высокая скорость, устойчивое движение.

Особое внимание необходимо обратить на жесткость конструкции корпуса, что достигается с помощью соответствующего подбора сечений конструктивных связей корпуса, рационального размещения на модели силовых агрегатов и отдельных деталей, пропорционального формирования конструкции по отношению к воздействию местных нагрузок.

Из-за больших нагрузок наиболее прочными необходимо проектировать следующие элементы модели: шасси или долозья АВП; конструкции крепления рулей, двигателя и т. д.; крепление элементов, подверженных влиянию сил инерции, например, батарей или приемников аппаратуры дистанционного управления и т. д.

Те элементы конструкции, которые не подвергаются нагрузкам, также должны быть небольшими по размерам и легкими.

В оболочковых конструкциях следует применять замкнутые сечения, что придает жесткость и прочность корпусу модели. В каркасных или ферменных конструкциях все несущие части должны пересекаться в виде треугольников. Что касается остальных элементов конструкции, то надо стараться, чтобы места крепления отдельных деталей не представляли трудностей при монтаже; материалы следует хорошо обрабатывать, без видимых изъянов и трещин. Описанные в предыдущем разделе материалы, используемые для постройки моделей АВП, необходимо подбирать соответственно назначению модели, ее размерам и характеру действия нагрузок. Это является важным условием для оптимального конструктивного решения проектируемого корпуса модели.

Правильно спроектируемый корпус должен обладать свойством простого демонтажа всех элементов.

Несмотря на то что существует весьма большой выбор конструкций моделей АВП, моделисты избегают традиционных решений и ищут новые и новые формы конструкций корпусов моделей АВП. Это требует от конструктора-любителя большой изобретательности.

### **3.7.2. Модели экранопланов, летающих платформ и самолетов на воздушной подушке**

С эффектом влияния земли на крыло самолета во время старта и приземления сталкивается каждый авиамоделист. В эти моменты можно наблюдать возрастание подъемной силы, проявляющееся в увеличении времени парения, что является результатом (как следует из теории) уменьшения индуктивного сопротивления и увеличения коэффициента подъемной силы. Для углов атаки от 2 до 8° прирост подъемной силы может достигать до 40—45%.

Крылья моделей экранопланов с целью повышения их несущих характеристик могут иметь на концах специальные шайбы или стабилизаторы. Они способствуют сохранению перепада давления между давлением под крылом и давлением, действующим на верхней поверхности крыла. Различают две аэродинамические схемы конструкций экраноплана: летающее крыло и самолетная схема. Первая характеризуется тем, что несущее крыло может опираться своими концами на два поплавка. Достоинствами такой схемы можно считать высокое аэродинамическое качество и возможность использования объема самого крыла для размещения конструктивных элементов, приводов и оборудования. Основным недостатком ее считают трудности, которые нужно преодолеть, чтобы придать продольную устойчивость и способность двигаться по воде. Особенно это касается моделей небольших размеров.

В моделях самолетной схемы с малым удлинением крыла  $\lambda = l/b$  наблюдается значительное влияние корпуса, что уменьшает достоинства модели. Тем не менее крылья с небольшим удлинением применяются в большинстве современных экранопланов, поскольку увеличение размаха крыла приводит к увеличению вероятности задевания концов крыла за гребень волны. Необходимой высоты полета при заданной площади крыла можно добиться путем увеличения хорды крыла, т. е. уменьшения его удлинения.

Экраноплан, подобно самолету, должен обладать хорошей устойчивостью в продолжении всего полета, а также способностью к изменению курса. При движении модели продольная устойчивость в значительной степени зависит от того, где расположен центр массы по отношению к аэродинамическому фокусу (точка  $F$  на рис. 75). Если центр массы находится впереди аэродинамического фокуса — аппарат имеет продольную устойчивость. У экраноплана продольная устойчивость достигается также при помо-

ши высокорасположенного горизонтального стабилизатора, на который поверхность земли уже не влияет. Поперечная устойчивость практически постоянна, так как при приближении к экрану крыла одного борта подъемная сила его увеличивается и появляется выравнивающий момент.

Курсовая устойчивость достигается посредством тех же самых методов, что и в авиамоделизме, т. е. при помощи соответствующего подбора поверхности вертикального оперения и руля направления, а также их расстояния до центра массы экраноплана. Решающую роль в этом случае играет общая аэродинамическая схема аппарата и положение точки приложения силы тяги воздушного винта.

Устойчивость экраноплана можно улучшить путем увеличения количества килей либо размещения килей с рулем направления в потоке воздуха, отбрасываемого воздушным винтом тяговой силовой установки. В момент поворота экраноплана возникает опасность погружения крыла в воду, что вызвано близостью к поверхности воды. Управление в продольной плоскости с помощью руля высоты применяется для всех типов экранопланов, включая аппараты, приводимые в движение гребным винтом. Эти рули используются в момент старта экраноплана и после набора соответствующих параметров горизонтального полета. Поперечное управление, регулирующее необходимый крен с целью противодействия боковому моменту и обеспечивающее способность модели войти в вираж, осуществляется с помощью элеронов, выполняющих для летающего крыла одновременно и функции рулей высоты. Кроме того, поперечная устойчивость достигается с помощью закрылков, которые могут выполнять одновременно и функции элеронов. Площадь этих управляющих плоскостей подбирается в зависимости от скорости движения экраноплана, которая всегда значительно меньше скорости самолета.

Для моделей экранопланов, по сравнению с моделями самолетов, требуются двигатели меньшей мощности при одинаковых размерах. Подавляющее большинство конструкций, что видно на примере больших экранопланов, оснащено воздушным винтом с непосредственным приводом от двигателя. Преимуществом такой схемы создания тяги являются простота и возможность достижения больших скоростей и экономичность.

Чтобы осуществить движение по поверхности воды, а потом оторваться от нее и произвести полет над нею, подобно гидросамолетам, модель экраноплана должна развивать соответствующую скорость, при которой подъемная сила крыльев достигнет величины массы модели. Испытания показали, что максимальное

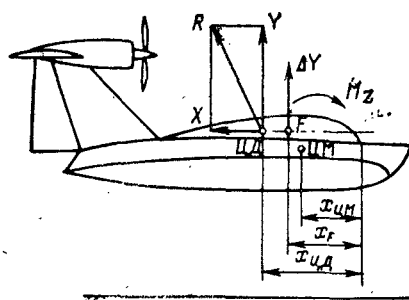


Рис. 75. Распределение сил и моментов, действующих на экраноплан.

сопротивление движению наблюдается при скоростях, составляющих 40—60% скорости, необходимой для отрыва от поверхности. Это является результатом роста сопротивления движению в режиме движения на плаву. Рост подъемной силы на крыле и последующий выход модели из воды вызывает значительное уменьшение сопротивления.

Для преодоления кратковременного роста сопротивления, возникающего во время разгона модели и отрыва от поверхности воды, требуется в 2,5—3,5 раза увеличить мощность на движение по сравнению с мощностью, необходимой для полета над водой. В этом случае на моделях целесообразно использовать устройство для увеличения подъемной силы, которое необходимо для того, чтобы быстро поднять корпус модели из воды. К этим устройствам следует отнести закрывки, предкрылки и т. п.

С точки зрения конструкции модели экранопланов, как и модели АВП, приближаются к моделям самолетов. В равной степени это относится к корпусу, крыльям, поплавкам, рулевым устройствам и другим элементам конструкции, которые экранопланы заимствовали у самолетов. Материалы, двигатели, воздушные винты и оборудование моделей в общих чертах не отличаются от применяемых в авиамоделизме. Это касается также профилей крыльев и самих методов расчета летных характеристик, равновесия, устойчивости и прочности модели.

Для того чтобы модель не затонула, крылья, корпус, рули, поплавки заполняются внутри непотопляемым наполнителем или имеют воздушные камеры.

Поскольку экранопланы постоянно контактируют с водой, большинство моделей изготавливают из слоистых пресс-материалов. В тех случаях, когда модель экраноплана изготовлена из традиционных деревянных материалов, ее покрывают специальными водоотталкивающими лаками, применяемыми в парусном спорте.

Самая простая модель экраноплана показана на рис. 76. Эта кордовая модель — классический пример конструкции экраноплана образца 1935 г., созданного финским инженером Т. Каарио. Модель предназначена для полетов над поверхностью льда или ровно укатанного снега. Для этой модели применимы два варианта управления: неуправляемый, с использованием только одной корды (как запускаются кордовые модели автомобилей) и управляемый с помощью двух корд и ручки управления. Целесообразно использовать энергию выхлопных газов двигателя, направив ее вниз под крыло для повышения давления в воздушной подушке под крылом.

Большинство деталей модели, в том числе нервюры крыла, могут быть изготовлены из фанеры либо из реек легкой древесины (например, бальсового дерева, липы, ольхи). На внешнее покрытие идет бумага или целлулоид. Возможно применение и других материалов, употребляемых в авиамоделизме.

Первые пробные полеты следует выполнять на тросах длиной 12—15 м в безветренную погоду на ровной поверхности льда.



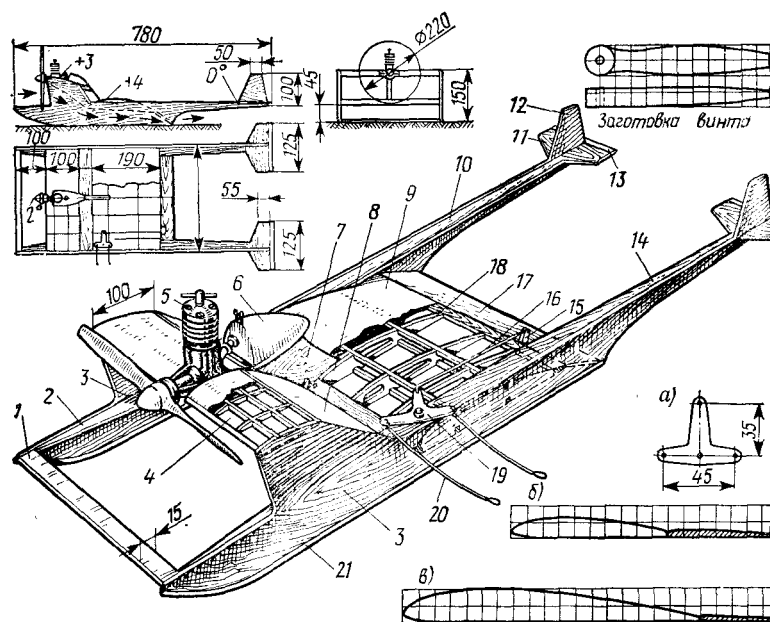


Рис. 76. Модель экраноплана, выполненная по схеме инженера Т. Каарно: а — качалка управления; б — профиль переднего крыла с закрылком; в — профиль центроплана с закрылком.

1 — предкрылок; 2 — горизонтальная полка балки; 3 — боковина фюзеляжа; 4 — переднее крыло; 5 — двигатель «Ритм»; 6 — топливный бачок; 7 — пилон, на нем — отверстия для установки закрылка переднего крыла; 8 — закрылок переднего крыла; 9 — центроплан; 10 — хвостовая балка; 11 — горизонтальные стабилизаторы; 12 — вертикальные стабилизаторы; 13 — триммер горизонтального оперения; 14 — горизонтальная полка хвостовой балки; 15 — рычаг закрылка центроплана; 18 — набор центроплана; 19 — качалка управления закрылком центроплана; 20 — корда; 21 — полоз.

В начале мотор должен работать с небольшими оборотами, позднее можно дать полный газ. В случае возникновения трудностей с отрывом модели от поверхности льда (модель круто взмывает вверх или не может взлететь) следует изменить угол установки двигателя на мотораме.

Модели летающих платформ делятся на одно- и двухвинтовые. Наиболее простыми считаются одновинтовые, приводимые в движение одним мотором. Изготовление многовинтовых платформ очень сложно, так как для приведения в движение воздушных винтов в этом случае используют несколько двигателей в сочетании со сложными приводными передачами. В обоих типах моделей с целью повышения аэродинамического КПД и уровня безопасности применяется воздушный винт в кольце. Двух- или многовинтовые модели должны иметь передачи, синхронизирующие двигатели, а лучше, если винты приводятся в движение одним мощным двигателем через механические передачи. Это гарантирует равномерную работу винтов и стабилизацию полета платформы во всех его фазах. Должен также соблюдаться принцип противоположно-

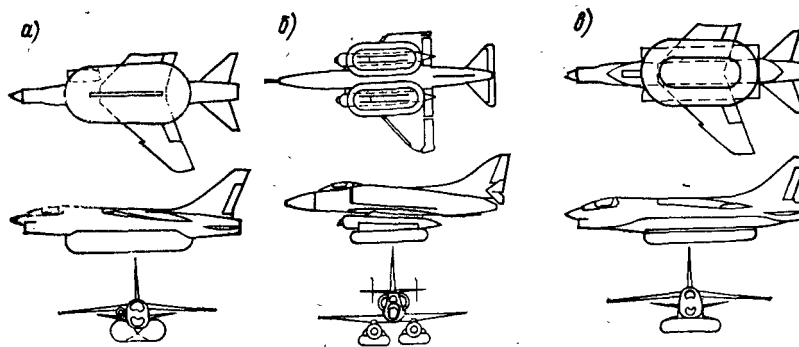


Рис. 77. Система шасси на воздушной подушке: *а* — с одной камерой под корпусом; *б* — с двумя камерами, помещенными под крыльями; *в* — с камерой, встроенной в фюзеляж.

го направления вращения воздушных винтов с целью уравнивания вращающего момента.

В последнее время авиамodelисты заинтересовались новой сферой применения воздушной подушки: в качестве вспомогательного шасси для самолетов. Это устройство позволяет модели производить старт и приземление независимо от рода поверхности. Воздушная подушка между дном корпуса и поверхностью (земли, воды, льда) создается путем вдувания воздуха в эластичный мешок. При этом используются камерная или сопловая схемы.

Американские авиационные предприятия фирмы «Белл» проводят работы по созданию четырех разновидностей шасси на воздушной подушке (рис. 77). Это следующие системы:

- система, применяемая на самолете «Буффало», состоящая из одной общей камеры, снабженной множеством небольших сопел;
- проект, характеризующийся установкой двух воздушных камер друг за другом;
- проект, основанный на использовании двух воздушных камер, закрепленных по обе стороны корпуса;
- проект, характеризующийся закреплением горизонтальной платформы с перфорированной нижней частью поверхности корпуса с целью создания явления воздушной подушки типа воздушной пленки.

В последнее время чаще всего применяется первый вариант, основной особенностью которого является воздушная подушка, имеющая гибкое ограждение баллонного типа. Площадь поверхности воздушной подушки должна быть достаточно велика, так как она обеспечивает поглощение энергии приземления. Края корпуса, в который заключена воздушная подушка, снабжены рифлеными накладками. Они создают дополнительный эффект торможения. Их действие основано на том, что в процессе приземления самолета в момент замедления пробега начинается ослабление действия воздушной подушки. Тогда увеличивается давление на

тормоза. На стоянке подобный самолет опирается на отдельные выдвигаемые колеса, которые укреплены внутри воздушной подушки. Шины наполняются воздухом после прекращения наддува воздушной подушки. С началом действия воздушной подушки из колес воздух выпускается.

### **3.7.3. Модели транспортных СВП**

Для придания моделям универсального характера использования их конструируют чаще всего как модели с полным отрывом от поверхности. Модели имеют воздушные движители либо, гораздо реже, гребные винты или водометы.

Модели с полным отрывом от поверхности конструируются на основе камерной или сопловой схем. Модели камерной схемы имеют более простую конструкцию. Примером простейшей модели сопловой схемы может служить модельное исполнение аппарата SR.N1 «Ховеркрафт».

На примере модели «Ховеркрафт» можно лучше всего ознакомиться со спецификой принципов постройки и эксплуатации моделей СВП. Функционирование модели отражает все явления, характерные для настоящих СВП, начиная со спуска на воду, подъема над поверхностью воды, движения со средней или максимальной скоростью и кончая торможением и сложным маневрированием. В процессе испытаний моделей на воздушной подушке становится очевидным их преимущество перед моделями водоизмещающих судов и глиссеров: меньшее гидродинамическое сопротивление, способность моделей СВП развивать большие скорости.

При спокойном состоянии водной поверхности во время испытаний моделей можно заметить наличие критической скорости, до достижения которой скорость движения модели возрастает медленно из-за интенсивного роста сопротивления. После преодоления критической скорости сопротивление уменьшается и скорость аппарата возрастает. Это явление объясняется наличием гидродинамического волнового сопротивления, возникающего при движении впадины от давления в воздушной подушке. Углубление на поверхности воды уменьшается с возрастанием скорости движения и остается за кормой аппарата, благодаря чему увеличивается скорость модели при снижении затрат мощности. При наличии высоких волн модель СВП не в состоянии их преодолеть и поэтому передвигается, огибая поверхность волн. При меньшем волнении водной поверхности можно наблюдать, как гребни волн ударяются о корпус модели. Это ограничивает скорость движения модели, приводит к сильным ударам и даже к заливанию ее водой. Наиболее распространены модели АВП с одним мотором, используемым как для образования воздушной подушки, так и для создания тяги. Примером такой модели может служить модель АВП SR.N1, где поток воздуха делится благодаря наличию воздушных каналов в соотношении: 70% — в воздушную подушку, 30% — для движения.

Управление, торможение и движение назад у этих моделей СВП не создает никаких проблем. Поток воздуха от нагнетателей по каналам направляется в сопла: в кормовой части аппарата — во время движения вперед, в носовой части — во время торможения и движения назад, а в момент зависания маневрирование модели осуществляется посредством момента пары сил, получаемого при одновременном направлении потока воздуха в передние и задние сопла, расположенные по диагонали.

Модели с несколькими моторами управляются с помощью исполнительных механизмов, а те, в свою очередь, — с помощью радиоаппаратуры дистанционного управления.

Совершенно другим типом конструкции являются модели скеговых СВП. Благодаря ограниченному вытеканию воздуха через погруженные в воду бортовые стенки — скеги — для подъемной системы необходима гораздо меньшая мощность. Источником воздуха для подъемной системы могут быть осевой или центробежный нагнетатель. Горизонтальная тяга в моделях этого типа осуществляется с помощью гребного винта или водометного движителя.

Для использования в таких моделях воздушного движителя нет никаких оснований. В конструктивном смысле эти модели близки к моделям деревянных судов: схожая архитектура корпуса, единые конструкционные материалы и технология изготовления.

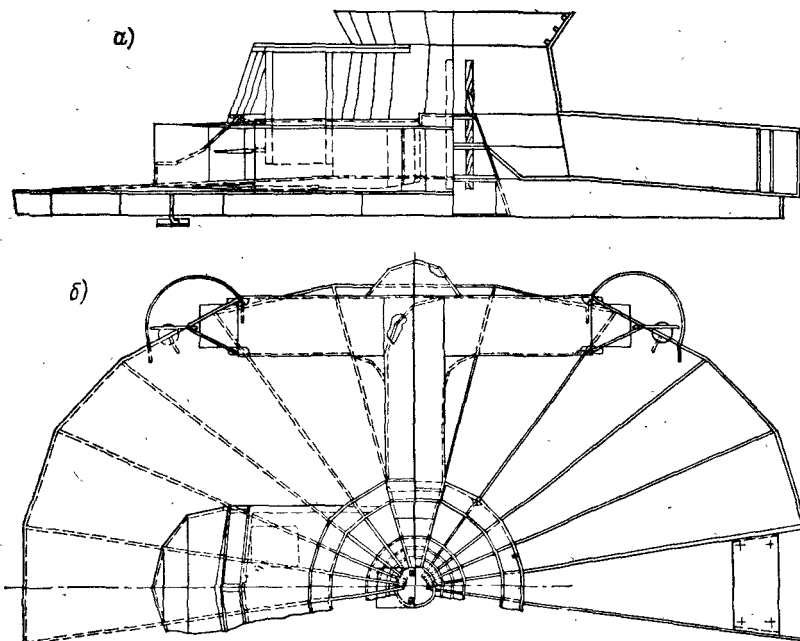


Рис. 78. Модель СВП SR. N1 «ХOVERKPAFT».

В целях предотвращения значительных утечек воздуха в носовой и кормовой частях корпуса таких моделей могут быть закреплены жесткие заслонки или гибкие ограждения.

Наиболее популярной считается модель SR.N1, построенная краковским моделистом Адамом Вайнером (рис. 78). Эта модель при полной массе 4,5 кг и собственной массе 2,2 кг имеет длину 1000 мм и ширину 760 мм. Модель передвигается с помощью как основного, так и вспомогательного приводов: в первом случае — до 5 км/ч, во втором — до 25 км/ч. Высота полета без нагрузки — около 40 мм, а с грузом в 2 кг — до 10 мм. Основной привод — мотор с рабочим объемом 5 см<sup>3</sup> с калильным зажиганием. Вспомогательная тяга создается мотором с рабочим объемом 1 см<sup>3</sup>. Воздушная подушка образуется с помощью четырехлопастного осевого нагнетателя. Для постройки модели использованы: модельная фанера толщиной 1 мм и деревянные рейки. Бальзовая древесина применена только для изготовления корпуса нагнетателя. Поверхность модели для предохранения ее от влаги и изсоображений эстетики покрыта лаком и отполирована.

Проведенные опыты с моделью доказали, что она не чувствительна к неравномерности нагрузки, а также подтвердили возможность применения для привода нагнетателя мотора меньшего объема, порядка 2,5 см<sup>3</sup>. Во время движения над водой модель не реагирует на малые волны.

Во время эксплуатации модели над земляной (бетонной, асфальтовой) поверхностью необходимо применять в моторе фильтр, который служит средством защиты от пыли. Полеты без фильтра возможны лишь над поверхностью земли, которая предварительно увлажнена или очищена от пыли. Поскольку в данной конструкции отсутствует гибкое ограждение воздушной подушки, то модель может передвигаться только над ровной поверхностью земли или водой.

В качестве еще одного образца модели АВП — амфибии можно привести SR.N6 «Винчестер» (рис. 79). Его размеры: длина — 1120 мм, ширина — 575 мм и высота 430 мм. Приводится в движение двумя моторами с рабочим объемом 6—10 см<sup>3</sup>. Один мотор служит для создания воздушной подушки, другой — для движения. Скорость — 35 км/ч. Нагнетателем подъемной системы является трехлопастный воздушный винт, аналогичный используемому для движения. Основные материалы для постройки модели: сосна, бальзовое дерево, фанера и пластмасса. Так как данная модель имеет гибкое ограждение, то она способна передвигаться также и над неровной поверхностью земли. На воде модель обладает хорошей ходкостью при умеренной высоте волн.

Модель АВП SR.N4 «Маунтбаттен» следует отнести к крупным образцам вследствие ее размеров и величины потребляемой мощности. Ее конструктивное решение также достаточно сложно. Каждая демонстрация этой модели очень эффектна благодаря ее прекрасным формам и высоким технико-эксплуатационным показателям.

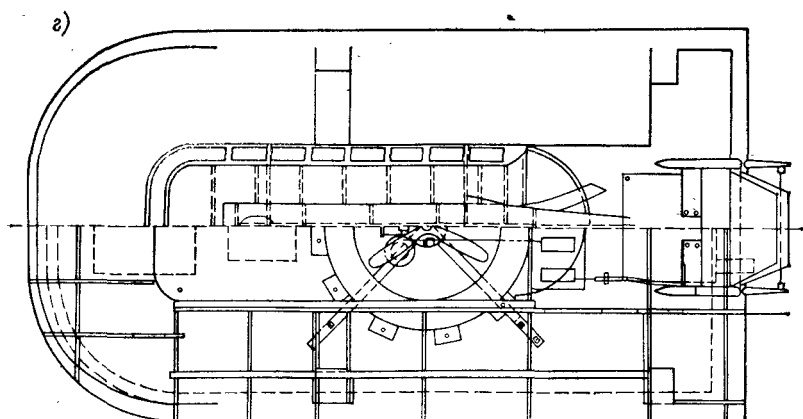
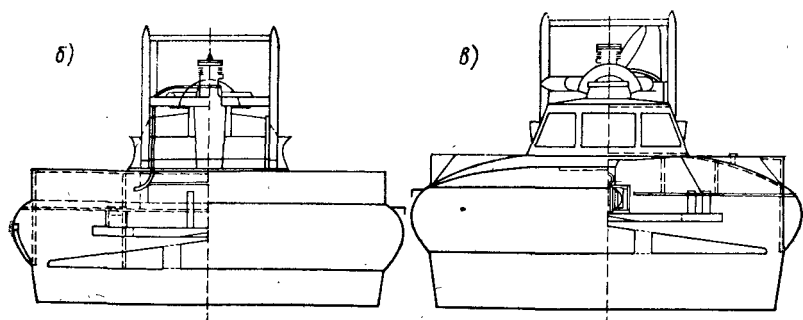
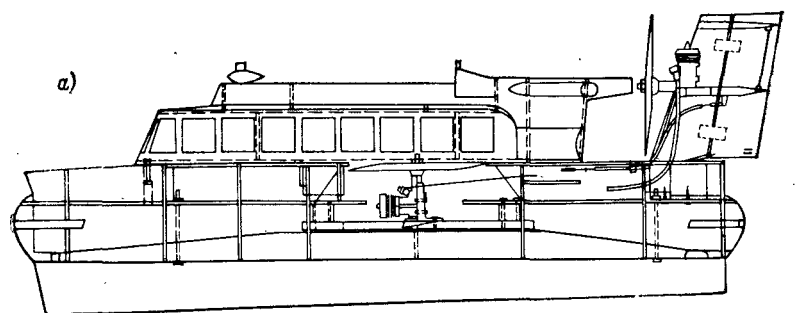


Рис. 79. Модель СВП SR. N6 «Винчестер»: *а* — продольный разрез; *б* — вид сзади; *в* — вид спереди; *г* — вид сверху.

#### **3.7.4. Модели автомобилей и транспортных прицепов на воздушной подушке**

Используя в качестве образца сухопутные модели на воздушной подушке, моделисты-любители изготавливают их аналоги в виде мотороллеров, автомобилей, легковых и грузовых, а также тяжелые дорожные аппараты и специальные транспортеры. Для этих моделей характерен либо полный отрыв от поверхности, либо частичный.

Наиболее простой сухопутной моделью является модель мотороллера на воздушной подушке. Во время эксплуатации этой модели применяется нагнетательная камера с частичным выпуском воздуха в кормовой части модели с целью создания тяги для движения. Корпус изготовлен из картона. В передней его части помещен многолопастный осевой нагнетатель, приводимый во вращение электромотором или двигателем внутреннего сгорания в зависимости от назначения модели.

Управление моделью осуществляется с помощью потока воздуха, выходящего в кормовой части модели. Можно оснастить эту модель также и дополнительной системой для создания горизонтальной тяги.

Наиболее сложным представляется постройка модели автомобиля на воздушной подушке. В равной степени это утверждение относится к модели с полным отрывом от земли и с частичным использованием воздушной подушки для разгрузки колес.

Модель автомобиля на воздушной подушке, в сущности, есть уменьшенная копия транспортного средства, свободно парящего на воздушной подушке, которое имеет форму автомобиля и его габариты. Такая модель оборудована подъемной системой с кольцевым соплом, хотя в наиболее простых моделях применяется и камерная схема, имеющая привод от одного или двух подъемных осевых или центробежных нагнетателей.

Примером простой конструкции модели АВП-автомобиля может служить аппарат, созданный инструктором Комедой в польском клубе моделистов в городе Свиднике. Корпус модели, обозначенной КК-463, был изготовлен в виде тонкостенной конструкции из стеклопластика. Общая масса аппарата — 1,5 кг. Модель оборудована двигателем с компрессионным поршневым рабочим объемом 2,5 см<sup>3</sup>, который приводит в движение четырехлопастной нагнетатель, используя при этом камерную схему создания воздушной подушки.

Образцом для постройки моделей грузовиков на воздушной подушке могут служить аппараты, созданные французской фирмой «Бертин», а также английской фирмой «Виккерс». В обоих случаях конструкторская мысль двигалась в одном направлении. Конструкция АВП-грузовика этих фирм использует общий принцип создания воздушной подушки под нижней частью автомобиля по простейшей камерной схеме.

Конструкторы автомобилей могут применить эти решения для работы над моделями АВП-грузовиков или буксируемых платформ на воздушной подушке, увеличивая тягу с помощью дополнительных агрегатов, размещенных на платформах.

Использование воздушной подушки расширяет сферу применения любых моделей, в том числе позволяет испытывать их в условиях, неприемлемых для обычных моделей автомобилей — на водной поверхности. Однако в этом случае необходимо оснастить ведущие колеса автомобиля лопастями, которые крепятся с боку вращающихся дисков колес. Подобные конструкции позволяют изучать, анализировать и сопоставлять двигательные характеристики, системы управления и т. п. обыкновенных классических автомобилей и их аналогов на воздушной подушке.

Еще одна возможность для конструирования автомобилей и прицепов связана с использованием гусеничного привода. Причем гусеничная лента служит основанием, над которым передвигается несущий элемент воздушной подушки. Автор проводил работы в этом направлении на моделях грузового дорожного прицепа большой грузоподъемности и получил вполне обнадеживающие результаты.

Особой темой в области конструирования моделей АВП следует считать постройку моделей специальных прицепов — вездеходов крупных размеров, которые буксируются одним, двумя и даже большим количеством тягачей. Они, как правило, предназначены для транспортировки грузов в труднодоступные районы, служат также и в качестве несущих платформ, на которых монтируются различные комплексы агрегатов для строительных целей, геологических изысканий, используются для транспортировки целых буровых установок.

Для того чтобы избежать трудностей, связанных с несимметричной нагрузкой на различные элементы конструкции при перевозке грузов или в процессе размещения на борту АВП разнообразных приспособлений, следует оборудовать модель по меньшей мере четырьмя независимыми друг от друга системами подъема. Поэтому еще в процессе проектирования модели необходимо как можно тщательнее рассчитать равновесие конструкции с тем, чтобы предупредить возможные исправления и доработки после завершения ее постройки.

## **4**

---

### **Любительские аппараты на воздушной подушке**

#### **4.1. Общие сведения**

Прогресс в развитии разнообразных конструкций и технологии постройки АВП в сочетании с необычными ходовыми характеристиками аппаратов, передвигающихся на воз-



душной подушке, а также сравнительная простота их изготовления привели к тому, что этими средствами передвижения заинтересовались конструкторы-любители. Все больше и больше малых АВП появляется не только на предприятиях или в научных центрах, но и в личном пользовании и в клубах. В самом факте их появления большую роль сыграли уже описанные в предыдущем разделе модели АВП. Они научили прежде всего проектированию и конструированию, познакомили широкие слои любителей с принципами действия АВП. Это позволило многим конструкторам-любителям использовать полученные знания для изготовления натурных аппаратов.

Огромное разнообразие конструкций любительских АВП затрудняет их классификацию. По общему признаку их можно разделить на спортивные и туристические АВП, АВП для отдыха и хозяйственной деятельности. Большинство образцов любители строят на основе собственных проектов или документации, распространяемой через технические журналы. Эти конструкции просты, легки и изготовлены преимущественно из недорогих материалов. Благодаря этому стоимость их постройки и эксплуатации невысока, кроме того, они легки в обслуживании и надежны в работе.

Создание небольших АВП стало настолько популярным во многих странах мира, что в некоторых из них, например, в Великобритании, США и Канаде начато их серийное промышленное производство. В продажу предлагаются готовые аппараты либо наборы деталей для самостоятельной сборки.

Типовой спортивный АВП характеризуется компактностью, простотой конструкции, независимыми друг от друга системами подъема и движения, а также способностью передвигаться одинаково легко как над землей, так и водой. Это преимущественно одноместные аппараты с карбюраторными мотоциклетными или автомобильными двигателями воздушного охлаждения.

Туристические АВП характерны более сложными методами изготовления. Они располагают большим количеством мест (от 2 до 4). Такие АВП предназначены для сравнительно длительных путешествий и поэтому снабжены топливными баками большой емкости и имеют приспособления для защиты пассажиров от атмосферных осадков.

АВП для отдыха (аттракционные) предназначены главным образом для детей. Это небольшие аппараты приспособлены для эксплуатации на земле, в частности на детских площадках. Они безопасны, работают на небольших скоростях и отличаются большой мобильностью.

К любительским АВП, предназначенным для хозяйственной деятельности, относятся небольшие АВП-платформы для транспортировки тяжелых грузов по пересеченной местности, на сельскохозяйственных предприятиях и в домашних условиях.

Образцы АВП промышленного изготовления оптимальны с точки зрения удовлетворения требованиям аэродинамики и

технологии постройки. Если верить рекламным проспектам фирм, выпускающих эти транспортные средства, подобные АВП прочны, надежны, им гарантирована многолетняя эксплуатация на воде и в сухопутных условиях, в любое время года. Кроме рассмотренных строятся небольшие экспериментальные аппараты — уменьшенные копии больших АВП. Их конструкция достаточно сложна. Как правило, их изготовляют для проверки нового конструктивного или аэродинамического решения. Создание таких аппаратов под силу только опытным любителям или ученым-конструкторам. В качестве примера можно назвать аппараты, использующие для движения принцип динамической воздушной подушки или эффект влияния земли на винт самолета. Такие аппараты принципиально отличаются от типовых любительских АВП целым рядом особенностей.

#### 4.2. Размеры, нагрузка и равновесие АВП

Любительские АВП характеризуются следующими техническими параметрами: главные размерения, масса, диаметр нагнетателя и воздушного винта, расстояние от центра массы АВП до центра его аэродинамического сопротивления.

Массы любительских АВП и элементов их конструкций очень сильно различаются. Самые легкие из них имеют массу порядка 100 кг, а самые тяжелые — более 1000 кг. Естественно, необходимо стремиться к уменьшению массы аппарата, поскольку для такого АВП потребуется меньшая мощность двигателя или появится возможность достичь лучших эксплуатационных качеств при той же величине потребляемой мощности двигателей. Однако уменьшение массы небезгранично, так как необходимо создать условия для безопасной эксплуатации аппарата, обеспечить соответствующую прочность и долговечность конструкции.

В табл. 2 сопоставляются важнейшие технические данные наиболее популярных английских любительских АВП. Таблица позволяет ориентироваться в широком диапазоне значений отдельных параметров и использовать их для сравнительного анализа с собственными проектами.

Таблица 2. Технические данные наиболее популярных английских любительских АВП

Название аппарата	Количество мест	Масса, кг	Длина×ширина×высота, м	Объем двигателя, см <sup>3</sup>		Максимальная скорость, км/ч
				нагнетателя	тягового	
«Экспресс Эйр Райдер» . . . . .	2	200—290	4,1×2,1×2,2	250	350 или 948	64
«Ховеркоут» . . . . .	1	136—160	3,35×1,8	197	250	—
«J-4» . . . . .	2	160	3,65×2,1×0,9	197	250	64
«Калибан-3» . . . . .	1	160	4×2×1,36	250	250	55
«Эйр Рэйзер» . . . . .	1	300	3,65×2,0×0,9	250	650	65

Важно провести тщательный анализ составляющих масс АВП, особенно для такого небольшого аппарата, каким является любительский АВП. Необходимо проанализировать массу всех узлов и важнейших деталей АВП, поскольку от массы зависит потребление мощности, эффективность работы и расход топлива. Важно создать наиболее легкие конструкции всех агрегатов, составляющих массу АВП: корпуса агрегатов главной энергетической установки — двигателей, передач, нагнетателей и воздушных винтов, систем и устройств управления и другого оборудования.

Для ориентации в значениях масс отдельных узлов ниже приводятся наиболее характерные показатели масс для любительских конструкций:

- двигателя внутреннего сгорания с воздушным охлаждением — 20—70 кг;
- осевого нагнетателя — 15 кг, центробежного нагнетателя — 20 кг;
- воздушного винта — 6—8 кг;
- рамы мотора — 5—8 кг;
- трансмиссии — 5—8 кг;
- кольца воздушного винта — 3—5 кг;
- органов управления — 5—7 кг;
- корпуса — 50—80 кг;
- топливных баков и бензопроводов — 5—8 кг;
- сиденья — 5 кг.

Общая масса полезного груза рассчитывается в зависимости от назначения конструкции и складывается из массы пассажиров и грузов, топлива и масла.

Обычно принято считать, что средняя масса пассажира 70 кг. Количество горючего и масла зависит от степени их расхода и назначения аппарата.

С расчетом масс непосредственно связано точное определение центровки АВП, потому что от нее зависят ходовые характеристики, остойчивость и управляемость АВП. При осуществлении балансировки АВП обязательно соблюдение принципа, заключающегося в том, что равнодействующая сил поддержания воздушной подушки должна проходить через общий центр массы аппарата. При этом следует помнить, что все массы, изменяющие свою величину в процессе эксплуатации, такие, например, как горючее, пассажиры, грузы, должны быть размещены вблизи от центра массы аппарата, чтобы не вызывать его перемещения.

Определение центровки аппарата производят следующим образом: на чертеже боковой проекции аппарата наносят центры массы отдельных агрегатов, пассажиров и грузов и определяют их координаты относительно оси координат. Зная массы и их координаты, можно определить положение центра массы всего аппарата по формулам

$$x_c = \frac{\sum Gx}{\sum G}; \quad y_c = \frac{\sum Gy}{\sum G}.$$

### **4.3. Двигатели, передачи, нагнетатели и воздушные винты**

На любом любительском АВП должны быть установлены двигатели, нагнетатели для образования воздушной подушки и движители — для создания тяги. Типы и количество этих агрегатов зависят от размеров любительского АВП, функционального назначения, а также от типа воздушной подушки и способа получения горизонтальной тяги. Примером могут служить уже созданные различные конструкции любительских аппаратов.

Опытный конструктор может решиться на создание собственной оригинальной системы. Однако для этого следует приобрести или изготовить собственными силами все необходимые узлы АВП либо переделать их для конкретных условий.

Что же касается нагнетателей, воздушных винтов и передач, то можно приступить к их самостоятельному изготовлению, только предварительно выполнив расчеты и разработав чертежи конструкции. Относительно двигателя существуют более строгие требования, вследствие чего его очень трудно самостоятельно спроектировать и построить. Работа над двигателем требует значительных материальных затрат. Лучше всего приспособить, переделать или усовершенствовать серийные двигатели внутреннего сгорания для косилок, мотоциклов и автомобилей. Очень важно, чтобы двигатели были безопасны в работе, невелики по своим габаритам и массе и надежно работали.

Мотоциклетные моторы имеют коробку скоростей, которая не нужна для АВП, поэтому для использования мотора на АВП коробку скоростей демонтируют.

К основным особенностям приспособления мотоциклетного двигателя для использования на АВП можно отнести доработки вспомогательных агрегатов и демонтаж коробки скоростей. Нашли свое применение на АВП также лодочные подвесные моторы, моторы для бензопил и косилок с воздушным охлаждением. В зависимости от категории аппарата объем двигателя варьируется в диапазоне от 50 до 750 см<sup>3</sup>.

Предпринимаются также попытки применения для любительских АВП двигателей, которые выпускают специально для картинга. Это прежде всего двигатели объемом более 100 см<sup>3</sup>. Они отличаются наличием вращающегося дроссельного клапана, в котором открытие и закрытие всасывающего канала производится не поршнем, а с помощью специального диска, вращающегося синхронно с коленчатым валом. Кроме того, эти двигатели не имеют коробки скоростей и муфты сцепления. Нижняя часть двигателя представляет собой только картер коленчатого вала. Высокие степень сжатия и скоростные показатели этих моторов вызывают необходимость использования значительных охлаждающих поверхностей, что, в свою очередь, вынуждает делать поверхность головки цилиндра ребристой. Эти особенности картинговых моторов придают им специфический внешний вид: значительных

размеров головки цилиндра, установленная на небольшом картере коленчатого вала, к которому сбоку прикреплен карбюратор.

Следует также добавить, что картинговые двигатели характеризуются небольшим относительным ходом поршня, а это способствует увеличению частоты вращения коленчатого вала до 8000—12 000 об/мин, благодаря чему достигается мощность 11—15 кВт.

Кроме уже описанных типов мотоциклетных и картинговых моторов нередко применяют специальные двигатели, приспособленные для любительских АВП на предприятиях либо в мастерских любителей-моделистов. Для этого форсируют мощностные характеристики двигателей и дорабатывают некоторые элементы их конструкции с тем, чтобы они выдерживали увеличенные нагрузки. Эти изменения прежде всего касаются главного картера двигателя, изменения углов газораспределения, усиления коленчатого вала, смены карбюратора.

Форсирование двигателей может повысить мощность до 22 кВт при объеме до 200 см<sup>3</sup>. Необходимо устанавливать новый карбюратор, не реагирующий на центробежную силу. Примером такого карбюратора с центральной поплавковой камерой может служить карбюратор, использованный в двигателе MZ 125 см<sup>3</sup>.

Из практики известно, что значительное увеличение частоты вращения двигателя снижает вращающий момент и перемещает его максимум в сторону пониженных оборотов. Не следует стремиться к достижению слишком большой частоты вращения, поскольку это невыгодно. При частоте вращения порядка 7000 об/мин можно получить мощность 10 кВт, при вращающем моменте — 1,4 Н·м, что считается достаточным для движения любительских одноместных АВП.

Доработка мотора, непосредственно влияющая на форсирование мощности, состоит в следующем: увеличении степени сжатия, изменении углов газораспределения, уменьшении «мертвого» пространства в главном картере двигателя, подборе параметров системы всасывания, подборе параметров выхлопной системы, угла опережения зажигания.

Следует соблюдать меру при осуществлении модификации двигателя. Любые изменения должны в итоге обеспечивать необходимые характеристики, особенно при изменении углов газораспределения.

В любительских АВП применяются в равной степени как осевые нагнетатели, так и центробежные. Осевые нагнетатели предназначены для небольших и несложных конструкций, центробежные — в более сложных конструкциях АВП со значительным давлением в воздушной подушке.

Осевые нагнетатели, как правило, имеют четыре лопасти или больше, их обычно изготавливают из дерева или металла: из дерева четырехлопастные нагнетатели, из металла — нагнетатели с большим количеством лопастей. Если они из алюминия, то их отливают, а если из стального листа — сваривают. Диапазон давления, создаваемого осевыми нагнетателями, составляет 600—

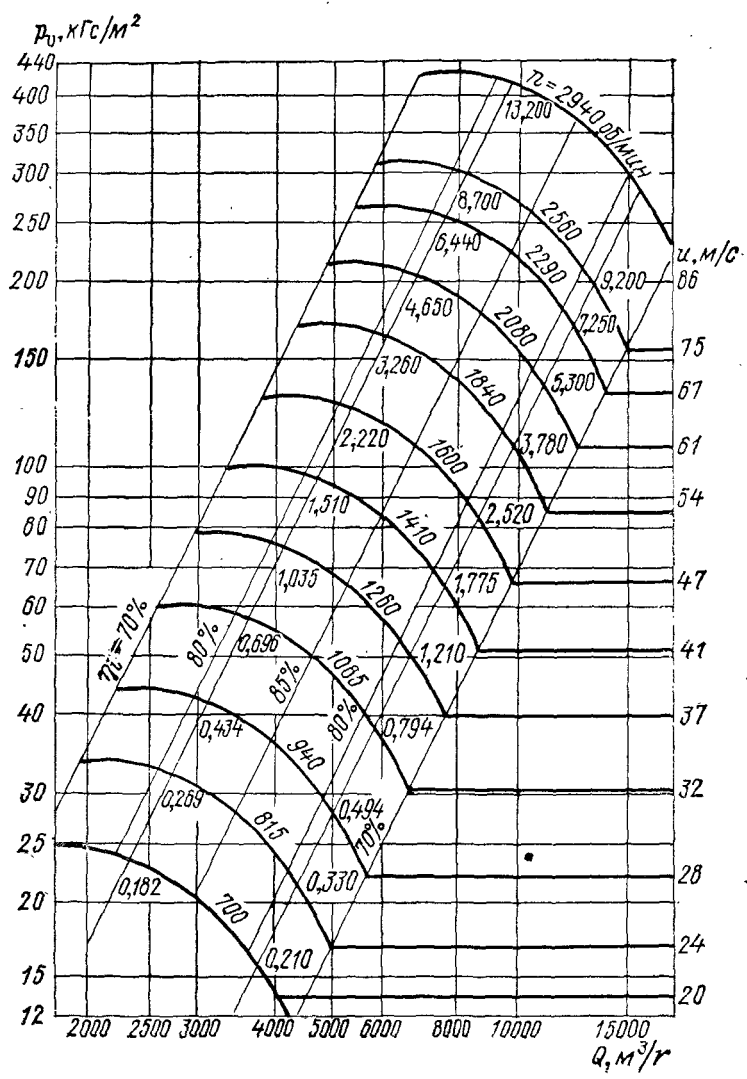


Рис. 80. Характеристика металлического центробежного нагнетателя типа FK-40 продукции фабрики «Термовент», Польша.

800 Па при четырех лопастях и около 1000 Па при большем числе лопастей. КПД этих нагнетателей достигает 90%.

Центробежные нагнетатели изготавливают из металла и пластмасс. Металлические (стальные, алюминиевые) нагнетатели обычно делают сварными, пластмассовые — выклеиваются. Профили лопастей изготавливают гнутыми из тонкого листа либо профилированными. Центробежные нагнетатели создают достаточно высокое давление — до 3000 Па, а КПД их достигает 83%.

На рис. 80 представлены характеристики центробежного нагнетателя типа ГК-40, который автор использовал и испытал с хорошими результатами в сельскохозяйственной платформе грузоподъемностью 500 кг. Можно также воспользоваться аэродинамическими характеристиками (см. рис. 70) и геометрическими соотношениями (рис. 81), по которым можно изготовить любой нагнетатель с нужными параметрами. Это лучше, чем проектировать нагнетатель самостоятельно.

Воздушный винт, применяемый в любительских АВП, делают обычно из твердых пород дерева, например, ясеня, который обладает высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Чаще всего встречаются двухлопастные винты, используются и четырехлопастные. Количество лопастей зависит от условий эксплуатации и назначения винта — для развития большой скорости или создания значительной силы тяги в момент старта. Достаточную силу тяги может обеспечить и двухлопастный винт с широкими лопастями.

В связи с тем, что используются разнообразные типы двигателей для привода воздушных винтов, для каждого типа в целях получения требуемых результатов специально проектируется и воздушный винт. Необходимая информация по созданию проекта воздушного винта имеется в разделе, посвященном проектированию воздушных винтов и технологии их изготовления. Важно помнить, что сила тяги винта увеличивается в том случае, если он помещен в кольцо.

При выборе нагнетателей и воздушных винтов следует помнить об условиях, гарантирующих полное использование мощности при достаточно высоком КПД на всех режимах движения, в против-

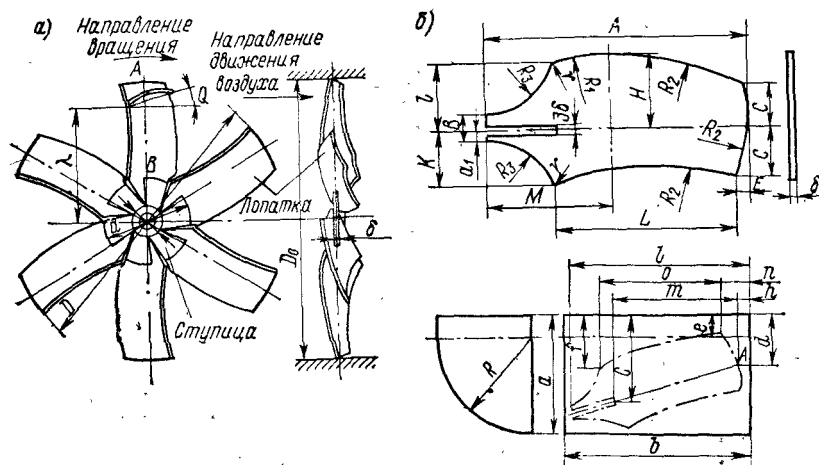


Рис. 81. Осовой нагнетатель, сваренный из металлического листа типа МС (серия ЦАГИ): а — рабочее колесо; б — геометрические соотношения лопатки.

ном случае будут напрасно затрачены и без того незначительные мощности двигателя.

В зависимости от частоты вращения вала двигателя и характеристик вращения нагнетателя или воздушного винта применяется их монтаж непосредственно на валу двигателя или при помощи передач. Небольшие и легкие нагнетатели, а также винты малого диаметра удастся укрепить непосредственно на валу высокооборотного двигателя, например, мотоциклетного. Хуже обстоит дело с нагнетателями большого диаметра и массы, которые требуют использования передачи, уменьшающей частоту вращения двигателя. То же самое можно сказать и о воздушном винте большого диаметра, применение которого, в свою очередь, вызывает использование передач, уменьшающих частоту вращения.

В любительских АВП применяются цепные, зубчатые, ременные передачи. Из-за простоты изготовления и конструирования наиболее часто употребляются ременные передачи. Недостатком этого типа передач является соскальзывание ремней при большой нагрузке. Зубчатые передачи дороги в изготовлении, но обеспечивают высокий механический КПД и надежную работу при небольших габаритах.

Муфты сцепления, которые применяются в любительских АВП, могут быть дисковые или центробежные. Недостатком дисковых муфт считается необходимость включения и выключения. В центробежных муфтах, работающих в автоматическом режиме, включение происходит при достижении определенных оборотов.

#### 4.4. Примеры конструкций любительских АВП

##### 4.4.1. Великобритания

СВП «Эйр рейдер» (рис. 82, а). Это двухместный спортивный аппарат, являющийся одним из наиболее популярных в классе малых СВП любительской постройки. Осевой нагнетатель приводится во вращение мотоциклетным мотором объемом 250 см<sup>3</sup>. Воздушный винт — двухлопастный, деревянный, работает от мотора мощностью 24 кВт. Электрооборудование напряжением 12 В, с авиационным аккумулятором. Пуск двигателей — электростартерный.

##### Основные технические элементы:

Длина . . . . .	3,81 м	Полезная нагрузка . . . . .	136 кг
Ширина . . . . .	1,98 м	Полная масса . . . . .	317 кг
Высота . . . . .	2,23 м	Максимальная скорость,	
Клиренс . . . . .	0,3 м	км/ч:	
Подъем . . . . .	77 мм	на воде . . . . .	57
Площадь воздушной по-		на суше . . . . .	80
душки . . . . .	6,5 м <sup>2</sup>	Преодолеваемый уклон	15°
Масса порожнем . . . . .	181 кг		



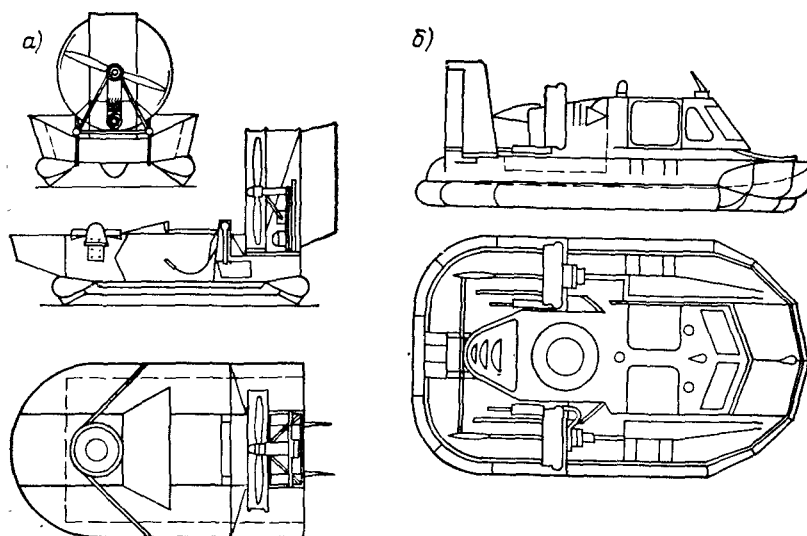


Рис. 82. Любительский АВП «Эйр рейдер» (а) и спортивно-туристический АВП «Ховеркэт» (б).

**СВП «Ховеркэт» (рис. 82, б).** Легкое туристическое СВП на пять-шесть мест. Существуют две модификации: МК-1 и МК-2. Центробежный нагнетатель диаметром 1,104 м приводится во вращение от автомобильного двигателя «Фольксваген» объемом 1584 см<sup>3</sup> и потребляет мощность 34 кВт при 3600 об/мин.

В модификации МК-1 движение осуществляется при помощи воздушного винта диаметром 1,98 м, приводимого во вращение от автомобильного двигателя «Фольксваген» 311100 025F объемом 1584 см<sup>3</sup>. В модификации МК-2 для горизонтальной тяги использован автомобильный двигатель «Порше 912» объемом 1582 см<sup>3</sup> и мощностью 67 кВт. Управление аппарата — аэродинамическое, с помощью рулей, помещенных в потоке воздуха за воздушным винтом. Электрооборудование напряжением 12 В.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	8,28 м	Полезная нагрузка . . . . .	4 чел. плюс багаж (244 кг)
Ширина . . . . .	3,93 м		или 5 чел. плюс багаж (326 кг)
Высота . . . . .	2,23 м		
Длина кабины . . . . .	2,13 м		
Площадь воздушной подушки . . . . .	32 м <sup>2</sup>	Крейсерская скорость, км/ч:	
Полная масса . . . . .	2040 кг	МК-1 . . . . .	47
		МК-2 . . . . .	55
		Время движения . . . . .	2 ч

**СВП «Ховер Хок».** Двухместный спортивно-туристический СВП. Воздушная подушка создается при помощи одного мотоциклетного двигателя мощностью 12 кВт, движение осуществляется от двух моторов по 12 кВт с навешенными на них воздушными винтами. Диаметр центробежного нагнетателя — 0,61 м,

а диаметр воздушных винтов — по 0,79 м каждый. Электрооборудование напряжением 12 В.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,72 м	Полезная нагрузка . . . . .	159 кг
Ширина . . . . .	2,44 м	Полная масса . . . . .	567 кг
Высота гибкого ограждения . . . . .	254 мм	Максимальная скорость на воде . . . . .	48 км/ч
Площадь воздушной подушки . . . . .	7,98 м <sup>2</sup>	Продолжительность движения . . . . .	2,5 ч
Собственная масса . . . . .	408 кг		

Недавно была создана новая модификация аппарата, который оснащен тремя роторными двигателями Ванкеля (с вращающимся поршнем) мощностью 14,8 кВт каждый.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,64 м	Давление в воздушной подушке . . . . .	78 кг/м <sup>2</sup>
Ширина . . . . .	2,8 м	Максимальная скорость . . . . .	56 км/ч
Высота . . . . .	1,39 м	Экономическая скорость . . . . .	37 км/ч
Полезная нагрузка . . . . .	213,2 кг	Время полета . . . . .	2,5 ч

**4.4.2. Канада**

**СВП «Ховерджем» (рис. 83).** Спортивно-туристический СВП, одинаково хорошо передвигающийся по воде и суше. Двухместный, сиденья расположены одно за другим. Приводится в движение тремя моторами с воздушным охлаждением мощностью 9 кВт каждый. Один двигатель приводит в движение центробежный нагнетатель, а два других — по одному двухлопастному винту диаметром 0,915 м. Кабина выполнена обтекаемой формы, из органического стекла. Гибкое ограждение изготовлено из синтетических материалов. Электрооборудование напряжением 12 В, от аккумулятора емкостью 56 А·ч. Запуск двигателей — электростартерный.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,9 м	Максимальная скорость, км/ч:	
Ширина . . . . .	2,28 м	на суше . . . . .	72
Высота . . . . .	1,37 м	на воде . . . . .	54,7
Полная масса . . . . .	499 кг	Высота преодолеваемых препятствий . . . . .	0,3 м
Масса порожнем . . . . .	317,5 кг	Продолжительность хода . . . . .	4 ч

**АВП фирмы «Ховерспрей интернэшнл Лтд» (рис. 84).** Аппарат задуман как легкий АВП спортивного типа. Двухместный, сиденья расположены рядом побортно. АВП, предназначенный специально для любительской постройки, обозначен HS-1. Воздушная подушка создается четырехтактным мотоциклетным двигателем мощностью 5,2 кВт с помощью осевого нагнетателя диаметром 0,76 м. Движение осуществляется от воздушного винта диаметром 0,914 м, изготовленного из стеклопластика. Воздушный винт приво-

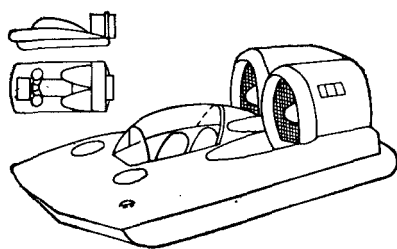


Рис. 83. Спортивно-туристический аппарат «Ховерджет».

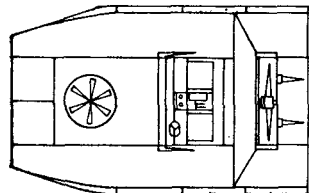
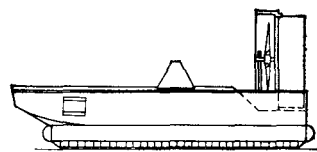
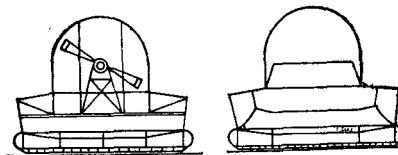


Рис. 84. Спортивный аппарат «Ховерспрей», HS-1.



дится во вращение с помощью ременной передачи с такого же двигателя. Электрооборудование напряжением 12 В. Пуск двигателя — электростартерный.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,27 м	Максимальная скорость,	
Ширина . . . . .	2,44 м	км/ч:	
Высота . . . . .	1,91 м	на суше . . . . .	67,6
Масса порожнем . . . . .	181 кг	на воде . . . . .	56,3
Полная масса . . . . .	340 кг		

**4.4.3. США**

**СВП «Аэроджем».** СВП предназначен для спортивно-туристических целей. Способен перевести одного взрослого пассажира и двух детей либо двух взрослых. Выпускается в двух модификациях — 1А и 1В, отличающихся тем, что 1В имеет дополнительный агрегат горизонтальной тяги, оснащенный двигателем 18,5 кВт, который приводит во вращение воздушный винт в кольце. Мощность главного двигателя составляет 44 кВт, мотор приводит в движение четыре десятилопастных осевых нагнетателя, установленных в носовой части аппарата. Электрооборудование напряжением 12 В. Пуск двигателя — электростартерный.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	5,26 м	Масса порожнем . . . . .	317 кг
Ширина . . . . .	2,42 м	Максимальная скорость	80,4 км/ч
Высота . . . . .	1,24 м	Крейсерская скорость	72,4 км/ч
Площадь воздушной		Дальность хода . . . . .	160 км
подушки . . . . .	9,29 м <sup>2</sup>	Преодолеваемый уклон	5%
Полная масса . . . . .	527 кг		

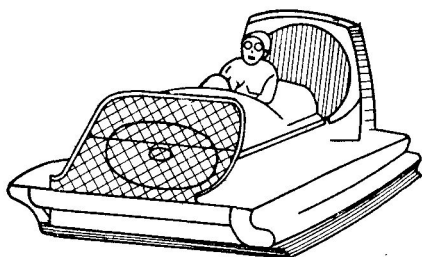


Рис. 85. Спортивный СВП «Эйрскэт 240».

**СВП «Эйрскэт 240» (рис. 85).** Двухместный спортивный СВП с поперечным симметричным расположением мест. Движение осуществляется от автомобильного двигателя «Фольксваген» мощностью 38 кВт. Этот двигатель приводит во вращение осевой четырехлопастный нагнетатель и двухлопастный воздушный винт в кольце. Управление СВП осуществляется с помощью рычага,

связанного с системой рулей, размещенных в воздушном потоке за воздушным винтом. Электрооборудование 12 В. Пуск двигателя — электростартерный.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,4 м	Высота гибкого ограждения . . . . .	1,14 м
Ширина . . . . .	1,98 м	Полезная нагрузка . . . . .	200 кг
Высота . . . . .	1,42 м	Полная масса . . . . .	463 кг
Площадь воздушной подушки . . . . .	7,8 м <sup>2</sup>	Максимальная скорость на воде . . . . .	64 км/ч
Диаметр воздушного винта . . . . .	1,16 м	Дальность хода . . . . .	80 км

**СВП фирмы «Добсон продактс корпорейшн».** Это СВП спроектировано как одноместное, приводимое в движение в зависимости от модификации двигателями мощностью 5,5; 11 или 15 кВт.

**Основные технические элементы:**

	Модель В	Модель С	Модель D (рис. 86)
Длина, м . . . . .	3,96	4,26	3,15
Ширина, м . . . . .	2,13	2,39	2,3
Высота, м . . . . .	1,52	1,67	1,5
Высота гибкого ограждения, мм . . . . .	—	—	0,255
Полезная нагрузка, кг . . . . .	72	72	—
Масса порожнем, кг . . . . .	52	63	181
Полная масса, кг . . . . .	124	136	286
Максимальная скорость над сушей и водой, км/ч . . . . .	48—56	48—56	57
Продолжительность полета, ч . . . . .	3	2	—
Преодолеваемый уклон, % . . . . .	10	20	20
Дальность хода, км . . . . .	—	—	81

**СВП фирмы «Иглен-калл эйр кашн Вииклз Инк» (рис. 87).** Спортивный двух-, трехместный аппарат с поперечным симметричным расположением кресел. Движение осуществляется от двух моторов мощностью 15 кВт каждый. Они же приводят в движение центробежные нагнетатели для создания воздушной подушки.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	4,21 м	Высота . . . . .	1,52 м
Ширина . . . . .	2,43 м	Максимальная скорость . . . . .	65 км/ч

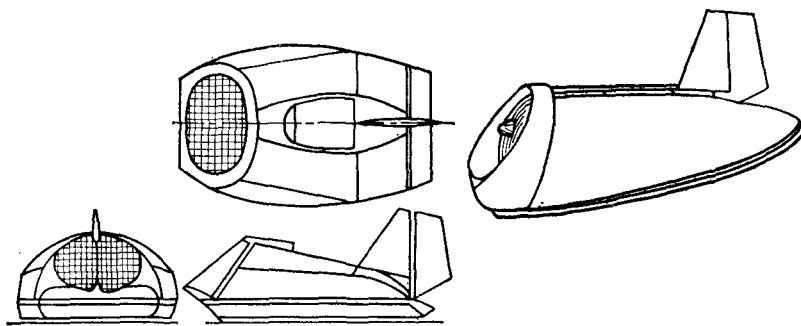


Рис. 86. Скутер на воздушной подушке типа «Добсон эйркар».

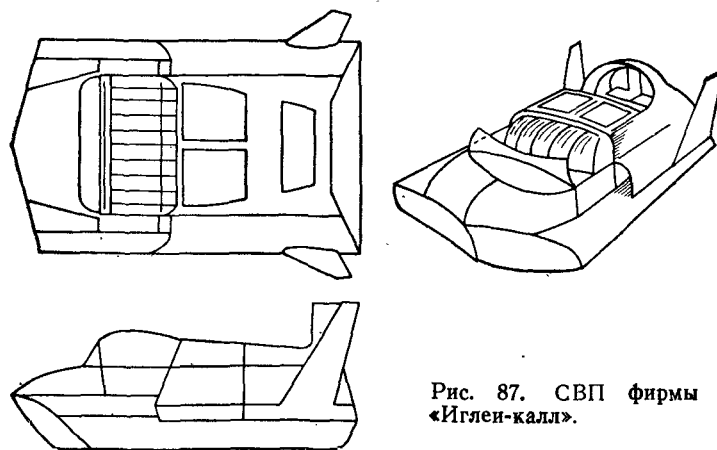


Рис. 87. СВП фирмы «Иглеи-калл».

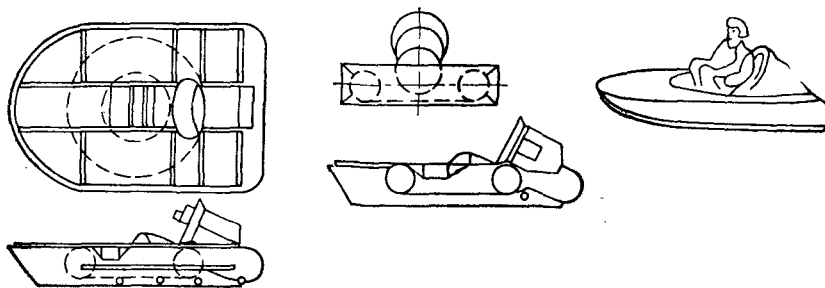


Рис. 88. Скутер на воздушной подушке фирмы «Скиммерс инк».

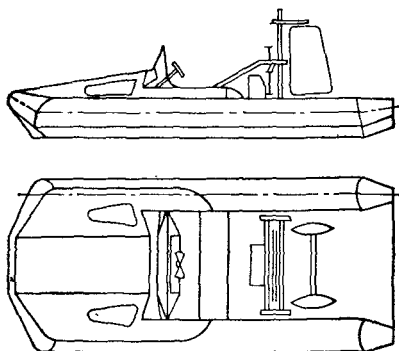
**СВП фирмы «Скиммерс Инкорпорейтед» (рис. 88).** Своеобразное одноместное СВП-мотороллер. В конструкции корпуса использована автомобильная камера. Мотор двухцилиндровый мотоциклетный мощностью 4,4 кВт.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	2,9 м	Площадь воздушной по-
Ширина . . . . .	1,8 м	душки . . . . .
Высота . . . . .	0,9 м	Полезная нагрузка . . . . .
Высота гибкого огражде-		Полная масса . . . . .
ния . . . . .	0,2 м	Максимальная скорость . . . . .
		4,0 м <sup>2</sup>
		70 кг
		181 кг
		29 км/ч

**4.4.4. Франция**

**СВП «Мойзе-3» (рис. 89).** СВП спроектировано для спортивных и туристических целей. Оно построено известным конструктором любительских АВП Ж. Бодекином. Подъемная система состоит из нагнетателя диаметром 0,6 м, который приводится во вращение от двигателя мощностью 11,8 кВт. Для движения используется двигатель мощностью 18,5 кВт, который при помощи цепной передачи приводит во вращение четырехлопастный воздушный винт диаметром 1,2 м.



**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	5 м
Ширина . . . . .	2,2 м
Высота . . . . .	1,65 м
Полная масса . . . . .	300 кг
Максимальная скорость . . . . .	около 50 км/ч

**Рис. 89.** СВП спортивно-туристического типа «Мойзе-3».

**АВП «Седам N121».** Спортивно-туристический двухместный аппарат. Движение осуществляется от моторов ILO с водяным охлаждением, которые производятся специально для аэросаней.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	5,25 м	Полная масса . . . . .	400 кг
Ширина . . . . .	2,5 м	Максимальная скорость . . . . .	72 км/ч
Высота . . . . .	1,85 м	Эксплуатационная скорость . . . . .	65 км/ч
Масса порожнем . . . . .	180 кг	Время движения . . . . .	2 ч

**4.4.5. Польша**

**АВП «Горизонты техники» (рис. 90).** Спортивно-туристический одно-, двухместный аппарат, разработанный автором книги для читателей журнала «Горизонты техники». Благодаря публи-

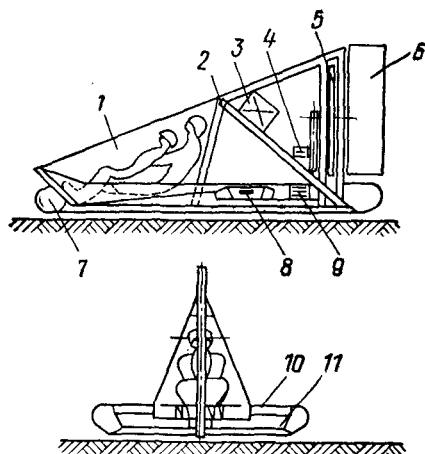


Рис. 90. Спортивно-туристический АВП, построенный автором книги.  
 1—экипаж; 2—каркас; 3—топливный бак; 4—агрегат горизонтальной тяги; 5—воздушный винт; 6—руль направления движения; 7—гибкое ограждение; 8—нагнетатель; 9—двигатель подъемной системы; 10—корпус; 11—поплавки.

кации в этом журнале стал известен широкому кругу любителей. Подъемная система состоит из центробежного нагнетателя диаметром 0,70 м, приводимого во вращение от мотора «Ветер» объемом 175 см<sup>3</sup> и мощностью 10 кВт через ременную передачу. Для движения использован такой же двигатель, который посредством цепной передачи приводит во вращение деревянный двухлопастный винт диаметром 1,2 м.

**Основные технические элементы:**

Длина . . . . .	3,5 м	Полезная нагрузка . .	100 кг
Ширина . . . . .	1,9 м	Полная масса . . . . .	300 кг
Высота . . . . .	1,7 м	Максимальная скорость	60 км/ч

**4.5. Основы проектирования любительских АВП**

**4.5.1. Технические и эксплуатационные элементы**

После ознакомления с теоретическими основами постройки АВП, техническими характеристиками и параметрами типовых конструкций АВП конструктор-любитель должен проанализировать имеющиеся в его распоряжении возможности, а также выбрать тип, назначение, ходовые характеристики, оборудование и т. п. проектируемого аппарата.

Проектируемый любительский АВП должен соответствовать определенным эксплуатационным, конструктивным и технологическим требованиям. Основой для создания проекта и конструкции нового типа АВП являются прежде всего исходные данные и технические условия, которые определяют тип аппарата, его назначение, полную массу, грузоподъемность, габариты, тип главной энергетической установки, ходовые характеристики и специфические особенности.

От любительских туристических и спортивных АВП, как, впрочем, и от других типов любительских АВП, требуется простота изготовления, использование в конструкции легкодоступных материалов и агрегатов, а также полной безопасности эксплуатации.

Говоря о ходовых характеристиках, подразумевают высоту парения АВП и связанную с этим качеством способность преодоления препятствий, максимальную скорость и приемистость, а также длину тормозного пути, остойчивость, управляемость, дальность хода.

#### 4.5.2. Анализ основных технических элементов

В конструкции любого АВП, в том числе и любительского, принципиальную роль играет форма корпуса (рис. 91), которая является компромиссом между: а) круглыми в плане обводами, которые характеризуются наилучшими параметрами воздушной подушки в момент зависания на месте; б) каплевидной формой обводов, которая предпочтительнее с точки зрения снижения аэродинамического сопротивления при движении; в) клювообразной формой корпуса, наиболее подходящей с гидродинамической точки зрения во время движения по взволнованной поверхности воды; г) формой, являющейся наиболее оптимальной для эксплуатационных целей.

Соотношения между длиной и шириной корпусов любительских АВП варьируются в пределах  $L/B = 1,5 \div 2,0$ .

Используя статистические данные по существующим конструкциям, которые соответствуют вновь создаваемому типу АВП, следует установить:

- массу аппарата  $G$ , кг;
- площадь воздушной подушки  $S$ , м<sup>2</sup>;
- длину, ширину и очертания корпуса в плане;
- мощность двигателя подъемной системы  $N_{в.п.}$ , кВт;
- мощность тягового двигателя  $N_{дв.}$ , кВт;

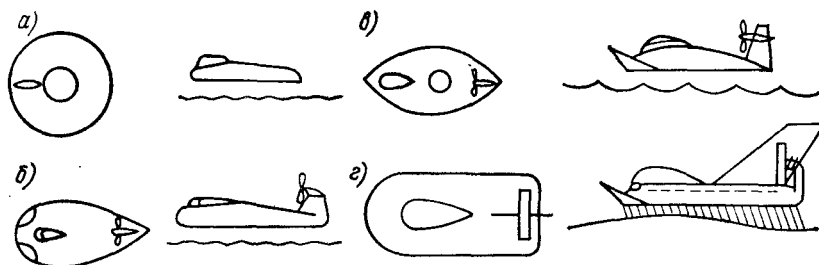


Рис. 91. Воздействие различных эксплуатационных требований на форму АВП: а — оптимальные качества при полете на месте; б — аэродинамика поступательного движения; в — гидродинамика движения на воде; г — преимущества условий эксплуатации.



Эти данные позволяют вычислить удельные показатели:  
 — давление в воздушной подушке  $p_{в.п} = G/S$ ;  
 — удельную мощность подъемной системы  $q_{в.п} = G/N_{в.п}$ ;  
 — удельную мощность тягового двигателя  $q_{дв} = G/N_{дв}$ ;  
 а также начать разработку конфигурации АВП.

#### 4.5.3. Выбор схемы создания воздушной подушки и нагнетателя подъемной системы

В гл. 2 говорилось об аэродинамических характеристиках различных схем образования воздушной подушки, а также о принципах внутренней аэродинамики и выборе нагнетателя подъемной системы.

Наиболее часто при постройке любительских АВП используются следующие схемы образования воздушной подушки: камерная и сопловая.

Камерная схема, используемая чаще всего в простых конструкциях, характеризуется следующими параметрами:

— объемный расход воздуха, проходящего через воздушный тракт аппарата, равен объемному расходу воздуха нагнетателя:

$$Q = Fv,$$

где  $F$  — площадь периметра зазора между опорной поверхностью и нижней кромкой корпуса аппарата, через который воздух выходит из-под аппарата, м<sup>2</sup>. Высота зазора (м) принимается обычно за  $0,7—0,8h$  (где  $h$  — высота парения аппарата);

— скорость истечения воздуха из-под аппарата, м/с, с достаточной точностью рассчитываемая по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2gp_{в.п}}{\gamma}},$$

где  $p_{в.п}$  — давление в воздушной подушке, Па;  $g$  — ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;  $\gamma$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

— мощность, кВт, необходимая для создания воздушной подушки:

$$N_{в.п} = \frac{Qp_{в.п}}{\eta_n},$$

где  $p_{в.п}$  — давление за нагнетателем (в ресивере);  $\eta_n$  — коэффициент полезного действия нагнетателя.

Следует помнить, что давление в воздушной подушке и расход воздуха — основные параметры воздушной подушки.

Их величины зависят прежде всего от размеров аппарата, т. е. от массы и несущей поверхности, а следовательно, от высоты парения, скорости движения, способа создания воздушной подушки и сопротивления в воздушном тракте.

Из теории известно, что наиболее экономичные аппараты на воздушной подушке — это АВП больших размеров или больших

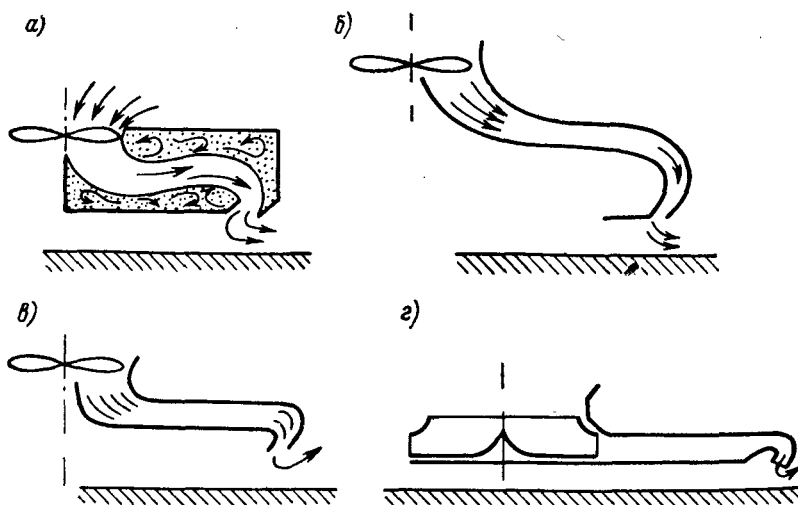


Рис. 92. Форма воздушных каналов: *a* — неоптимальная; *б* — соответствующая потоку воздуха; *в* — соответствующая направляющим решеткам; *г* — соответствующая потоку воздуха, создаваемому центробежным нагнетателем с вертикальной осью вращения.

несущих поверхностей, при которых минимальное давление позволяет получить достаточно большую грузоподъемность. Характер конструкции аппарата не позволяет делать его очень больших размеров из-за трудностей, связанных с транспортировкой, хранением, а также финансовыми возможностями конструктора-любителя. Небольшой АВП требует значительного давления в воздушной подушке, что, естественно, вызывает увеличение потребляемой мощности и уменьшение полезной площади, предназначенной для команды и энергетической установки.

От давления в воздушной подушке и скорости истечения воздуха из-под аппарата зависят, в свою очередь, негативные явления: забрызгивание во время движения над водой и запыление — при движении над песчаной поверхностью либо сыпучим снегом.

Умение сочетать между собой, иногда с помощью компромисса, описанные выше противоречивые зависимости является основным условием для создания удачной конструкции.

Чтобы ограничить до минимума затраты мощности на прохождение воздуха через воздушный канал, они должны быть спроектированы очень тщательно с точки зрения получения максимального аэродинамического КПД (рис. 92). Потери мощности, неизбежные при прохождении воздуха по каналам воздушного тракта, бывают двоякого рода: потери на движение воздуха в прямых каналах постоянного сечения и местные потери (при расширении и изгибах каналов).

В воздушном тракте небольших любительских АВП потери на движение воздушных потоков вдоль прямых каналов постоянно

го сечения составляют относительно невысокий процент от общих потерь в воздушном тракте. Следует иметь в виду незначительную протяженность этих каналов, а также тщательность обработки их поверхности.

Величина потерь мощности на прохождение канала определенной длины рассчитывается по формуле

$$\Delta p = \lambda \frac{lv^2}{d \cdot 2g},$$

где  $\lambda$  — коэффициент потерь давления на длину канала, рассчитанный по графику, представленному на рис. 19, в зависимости от числа Рейнольдса  $Re = vd/\nu$ ;  $v$  — скорость воздуха в каналах, м/с;  $l$  — длина каналов, м;  $d$  — диаметр канала равной площади сечения канала, м;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Наибольшую часть потерь в воздушных каналах составляют местные потери, связанные с сильным увеличением либо уменьшением сечения и значительными изменениями направления потока воздуха, а также потери на всасывание воздуха в нагнетатель, сопла и к рулям. Эти потери являются главной заботой конструкторов, стремящихся свести их к минимуму, создавая наиболее простые системы как наиболее устойчивые с аэродинамической точки зрения.

Местные потери рассчитываются по формуле

$$\Delta h_m = \xi_m \frac{v^2}{2g},$$

где  $\xi_m$  — коэффициент местных потерь.

Коэффициент местных потерь зависит от числа Рейнольдса, которое характеризуется влиянием прохождения воздуха, а также геометрическими параметрами источника потерь. Эти коэффициенты определены экспериментальным путем (см. рис. 20—23).

Назначение нагнетателя в АВП состоит в создании давления воздуха при определенных затратах мощности, неизбежных при движении воздушного потока по каналам воздушного тракта, а также давления, необходимого для создания собственно воздушной подушки требуемых параметров, а в некоторых случаях — и для образования горизонтальной тяги аппарата с целью обеспечения движения.

Полное давление, создаваемое нагнетателем, складывается из статического и динамического давлений:

$$p_v = p_{sv} + p_{dv}.$$

В зависимости от типа аппаратов, площади воздушной подушки, высоты подъема и величины потерь требуемая процентная доля составляющих компонентов  $p_{sv}$  и  $p_{dv}$  является различной для разных аппаратов. Это и решает проблему выбора нагнетателей.

В камерной схеме воздушной подушки статическое давление в воздушной подушке, необходимое для создания подъемной силы, можно приравнять к статическому давлению за нагнетателем. Требуемую мощность нагнетателя можно вычислить с помощью формул, приведенных выше.

В случае АВП с гибким ограждением воздушной подушки, в которое воздух подается по каналам (ресиверу), потери мощности нагнетателя следует рассчитывать, имея в виду потери в воздушных каналах. Статическое давление за нагнетателем можно приблизительно рассчитать по формуле

$$p_{sv} = k_p p_{в.п.}$$

где  $p_{sv}$  — давление в воздушной подушке под днищем аппарата, кг/м<sup>2</sup>;  $k_p$  — коэффициент перепада давления между воздушной подушкой и каналами (ресивером), равный  $k_p = p_p / p_{в.п.}$  ( $p_p$  — давление в воздушных каналах за нагнетателем). Величина  $k_p$  колеблется в пределах 1,25—1,5.

Объемный расход воздуха нагнетателя можно рассчитать по формуле

$$Q = \frac{N_{в.п.}}{p_{sv}}.$$

Регулировка производительности (расхода) нагнетателей любительских АВП осуществляется чаще всего более экономичным способом — путем изменения частоты вращения либо (реже) путем дросселирования потока воздуха в каналах при помощи находящихся в них поворотных заслонок.

После того как рассчитана необходимая мощность нагнетателя, можно приступить к выбору двигателя, приводящего во вращение данный нагнетатель. Прежде всего необходимо, чтобы двигатель подъемной системы любительского АВП отличался минимальной массой на каждый киловатт мощности, а также надежностью при эксплуатации в условиях интенсивного запыления и забрызгивания.

Мотоциклетные двигатели с воздушным охлаждением более всего подходят, если требуется мощность до 22 кВт. Однако следует помнить, что условия работы и охлаждения этих двигателей в АВП отличаются от условий работы в мотоциклах. Поэтому, используя такой двигатель для привода любительского АВП, следует производить расчеты не с учетом его максимальной мощности, а лишь для той мощности, с которой он может постоянно работать, т. е. 0,7—0,8  $N_{\max}$ .

Во время работы мотора необходимо предусмотреть его интенсивное охлаждение и тщательную очистку воздуха, поступающего через карбюратор.

В целях достижения минимальной массы всего силового агрегата следует при выборе двигателя помнить о передаче мощности на нагнетатель посредством привода, а также не забывать о конструкции самого нагнетателя.

#### 4.5.4. Выбор тягового комплекса

Величина горизонтальной тяги в любительских АВП выбирается в зависимости от назначения аппарата, требуемой скорости движения, характеристик управляемости и т. д. Типы движителей, создающих горизонтальную тягу, можно разделить в основном на воздушный, водяной и колесный (рис. 93).

Для воздушного движителя это может быть воздушный винт авиационного типа в кольце или без него, осевой или центробежный нагнетатель, а также воздушно-реактивный движитель. В простейших конструкциях горизонтальную тягу иногда можно создать с помощью наклона АВП и использования благодаря этому составляющей горизонтальной силы воздушного потока, истекающего из воздушной подушки. Воздушный движитель предназначен для амфибийных аппаратов, не имеющих контакта с опорной поверхностью.

При создании аппаратов, передвигающихся только над поверхностью воды, для получения горизонтальной тяги используется гребной винт или водометный движитель. В сравнении с воздушным движителем они позволяют достигать значительно большей тяги на каждый киловатт мощности.

Ориентировочное значение тяги, являющееся результатом применения различных типов движителей (с 1 кВт мощности), приведено на рис. 94.

При выборе воздушного винта следует учитывать все виды сопротивления, возникающие в процессе движения. Аэродинами-

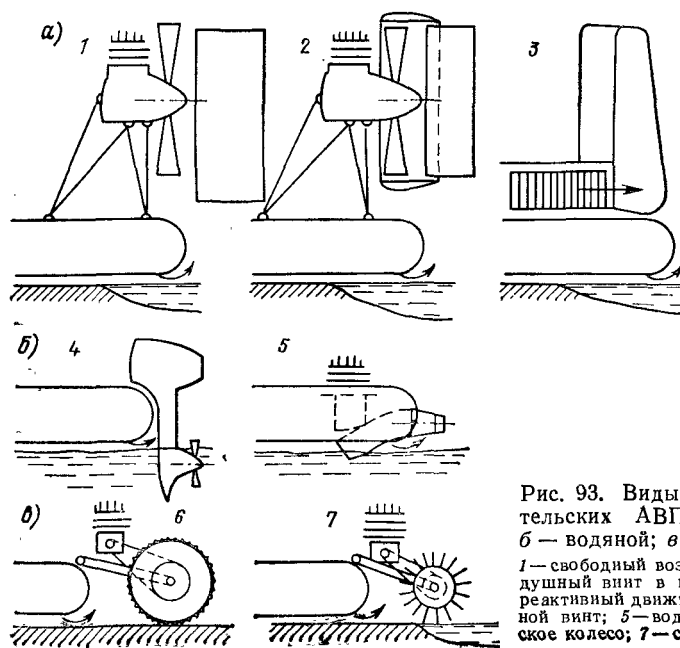


Рис. 93. Виды движителей любительских АВП: а — воздушный; б — водяной; в — колесный.  
1 — свободный воздушный винт; 2 — воздушный винт в кожухе; 3 — воздушно-реактивный движитель (сопло); 4 — гребной винт; 5 — водомет; 6 — пневматическое колесо; 7 — стальное колесо.

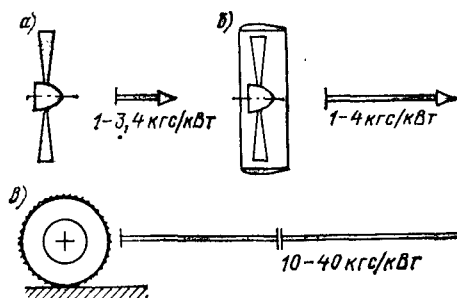


Рис. 94. Сравнение тяги с одной лошадиной силой для различных типов движителей: а — изолированный воздушный винт; б — воздушный винт в кольце; в — пневматическое колесо.

ческие сопротивления рассчитываются по формуле

$$X_{\text{возд}} = C_x \frac{\rho v^2}{2} S.$$

Волновое сопротивление аппарата при движении по воде можно вычислить по формуле

$$X_{\text{в}} = \frac{4G^2E}{\pi \rho v^2 L^2},$$

где  $v$  — скорость движения, м/с;  $G$  — водоизмещение, кг;  $L$  — длина воздушной подушки, м;  $\rho$  — плотность воды, кг·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup> (при температуре морской воды +4 °С равна 104, речной воды — 102);

$E$  — коэффициент, зависящий от соотношения и скорости, рассчитывается при помощи графиков (см. рис. 40).

Расчет вышеуказанных сопротивлений в зависимости от скорости движения для аппарата длиной  $L = 2,83$  м и  $B = 1,41$  м представлен в табл. 3.

Зная значение сопротивления движению аппарата, можно вычислить мощность, необходимую для обеспечения движения аппарата с максимальной скоростью 120 км/ч, принимая КПД воздушного винта равным  $\eta = 0,6$ ;

$$N_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{75\eta} = \frac{41,5 \cdot 33,4}{75 \cdot 0,6} = 31 \text{ л. с.} = 23 \text{ кВт.}$$

Мощность двигателя с учетом КПД передачи

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{в}}}{0,9} = 33,2 \text{ л. с.} = 24,4 \text{ кВт.}$$

Таблица 3. Расчет сопротивления движению

Скорость $v$		Квадрат скорости $v^2$ , м/с	$R_{\text{а}}$ , кг	$E_r = \frac{v}{\sqrt{gL}}$	$E$ (рис. 40)	$R_{\text{в}} = \frac{4G^2E}{\rho L^2 v^2}$ , кг	Сумма сопротивлений $R$ , кг
км/ч	м/с						
10	2,78	7,72	0,28	0,52	1,0	31,7	31,98
20	5,57	30,1	1,15	1,05	1,7	13,4	14,55
40	11,2	126	4,6	2,1	3,2	6,1	10,7
60	16,8	283	10,6	3,2	3,7	3,3	13,9
80	22,4	502	18,3	4,2	3,8	1,83	20,13
100	27,8	772	28,4	5,25	4,2	1,34	29,74
120	33,4	1120	40,6	6,3	4,3	0,93	41,53

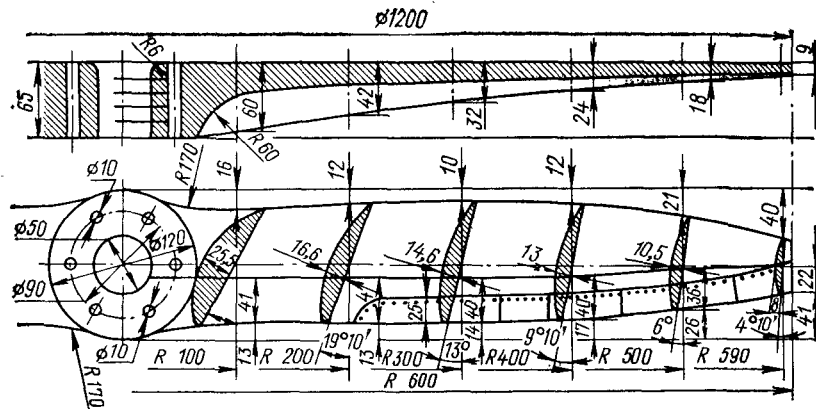


Рис. 95. Деревянный (береза) воздушный винт для двигателя мощностью 11 кВт, 3000 об/мин, шаг на  $0,75R$  равен 0,54 м (см. журнал «Моделист-конструктор»).

Силовая установка для обеспечения поступательного движения АВП состоит из двигателя, воздушного винта и рамы двигателя, в некоторых случаях применяется защитный кожух.

Рама (фундамент) двигателя подвергается нагрузке подобно нагрузке на осевой нагнетатель, закрепленный горизонтально. Разница состоит в том, что рама двигателя горизонтальной тяги подвергается большей нагрузке, особенно в случае непосредственного крепления на нем винта, так как при этом на нее передается тяга винта, вращающий и гироскопический моменты от его вращения.

Простейшей конструкцией воздушного винта является двухлопастной винт (рис. 95), применяемый чаще всего для любительских АВП. Заготовка для такого винта может быть склеена из фанерных, ясеневых или сосновых пластинок. Кромка, а также концы лопастей, которые подвергаются механическому воздействию твердых частиц или песка, всасываемых вместе с потоком воздуха, защищаются оковкой из листовой латуни.

Для расчета винта следует принять следующие исходные данные: максимальную мощность двигателя  $N_{дв}$ , кВт; частоту вращения двигателя  $n$ , об/мин; частоту вращения  $n_s$ , об/с; скорость аппарата  $v_{max}$ , км/ч; конструктивно допустимый диаметр винта  $D$ , м; максимальный вращающий момент  $M$ , Н·м; окружную скорость конца лопасти  $v = (\omega R)_{max} = (\pi n D / 60)$ , м/с; суммарную скорость  $\omega_{max} = \sqrt{(\omega R)_{max}^2 + v_{max}^2}$ , м/с; соотношение скорости лопасти и скорости звука  $-(\omega/c)$ , поступь винта  $H_D = v(60/n)$ , м; скольжение  $s = (H - H_0)/H_0$ , %; геометрический шаг  $H$ , м.

Приведенные выше формулы определяют углы

$$\alpha = \arctg \frac{H_D}{2\pi r} = \arctg \frac{v}{\omega r}.$$

где

$$\operatorname{tg} d = \frac{v}{\omega r} = \frac{H_D}{2\pi r};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{2\pi r};$$

$$H = \left(1 + \frac{s}{100}\right) H_D.$$

Расчет вращающего момента:

$$\frac{dM}{dr} = \frac{c_z}{100} \frac{\rho}{2} \omega m l \left(v + \frac{c_x}{c_z} \omega r\right) r$$

где  $m = 2$ ;  $l$  — хорда лопасти.

Расчет силы тяги

$$\frac{ds}{dr} = \frac{C_2 \rho \omega l m}{100 \cdot 2} \left(\omega r \cdot \frac{C_x}{C_z} v\right).$$

Расчет центробежных сил:

— масса элемента винта

$$\Delta G = v \gamma = F_{\text{сеч}} \Delta r \gamma;$$

— центробежная сила

$$\Delta C_0 = \frac{\Delta G}{g} \omega^2 r_{\text{сеч}}.$$

Расчет линии центра массы сечения лопасти

$$\Delta r = \Delta r \operatorname{tg} \varphi = \Delta r \frac{S_1}{C_0}.$$

Расчет напряжения в лопасти деревянного воздушного винта

$$\sigma = \frac{C_0 + P}{F},$$

где  $P$  — центробежная сила, действующая на оковку и ее крепление.

Имея расчеты и конструктивный чертеж винта, следует продумать технологию его изготовления. Необходимо придерживаться целого ряда условий, касающихся изготовления винта, равновесия и безопасности в процессе эксплуатации. Вышеупомянутые проблемы изложены в специальной литературе по авиации. Некоторые из них перечислены ниже.

Выбор материала для воздушного винта определяется требованиями к его большой жесткости, прочности и твердости, что вытекает из характера работы винта. Чаще всего для этой цели используют древесину ясеня, которая склеивается слоями при помощи казеинового клея. Впрочем, можно использовать древесину бука в сочетании с березой, либо ясень и березу.

Сначала следует изготовить шаблоны отдельных профилей, разделяя их на нижнюю и верхнюю части. Затем шаблоны помещают на специальном приспособлении для изготовления винта



(рис. 96). Это значительно облегчит контроль во время изготовления винта за конфигурацией отдельных сечений и общего контура лопасти.

Очередность предварительной и окончательной обработок зависит от возможностей конструктора. Следует заметить, что обработка может проводиться при помощи самых простых инструментов.

Готовый винт перед креплением на валу двигателя должен быть отбалансирован главным образом статически. В противном случае при его вращении возникают вибрации, которые могут привести к повреждению всего аппарата. Балансировка с точностью до 1 г вполне достаточна для конструкторов-любителей. В случае обнаружения разницы в равновесии следует удалить либо добавить груз на соответствующую лопасть. Кроме балансировки винта, необходимо проверить биение относительно оси вращения. Готовый и отбалансированный воздушный винт следует выкрасить.

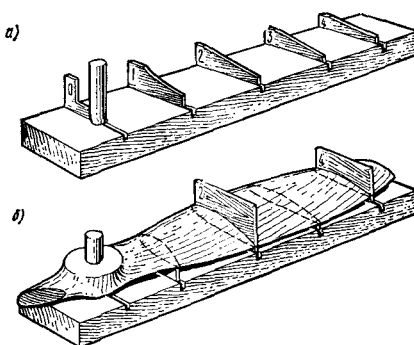


Рис. 96. Приспособление для изготовления воздушного винта: *а* — установка нижнего шаблона; *б* — установка верхнего шаблона.

#### **4.5.5. Определение расположения кабины водителя и агрегатов конструкции**

Одной из основных задач конструктора является соединение всех агрегатов в одно функциональное целое, что создает оригинальное и оптимальное решение любительского АВП. Проектируя аппарат, конструктор обязан заранее определить тип корпуса, и в пределах этого корпуса предусмотреть место для экипажа, агрегаты подъемной и движительной систем АВП. Важно при этом использовать в качестве прототипа конструкции уже известных АВП. На рис. 97 и 98 представлены конструктивные схемы двух типовых любительских АВП.

В зависимости от возможностей и желания конструктора корпусы различных любительских АВП весьма сильно отличаются друг от друга. При конструировании аппарата любитель вынужден идти на компромисс, выбирая между требованиями аэродинамики и технологичностью АВП. Однако решающим должно быть обеспечение прочности аппарата и безопасности экипажа.

В большинстве АВП корпус представляет собой несущий элемент, единую конструкцию. На нем находятся агрегаты главной энергетической установки, воздушные каналы, приборы управления и кабина водителя. В любительских АВП кабины водителей размещаются в носовой или центральной части аппарата, в зависимости от того, где находится нагнетатель — за кабиной или

перед нею. В том случае, если АВП — многоместный, кабина находится обычно в средней части аппарата, что позволяет эксплуатировать его с разным количеством людей на борту без изменения центровки.

В небольших любительских АВП кабины чаще всего открытые. Впереди имеется ветровое стекло и приборы управления; в задней части кабины крепятся кресла простейшей формы. В аппаратах более сложной конструкции (туристического типа) кабина закрыта куполом из прозрачного пластика, а внутри имеются дополнительные приборы управления.

В целях обеспечения лучшей видимости передняя часть корпуса АВП обычно скошена, что обеспечивает водителю широту обзора.

Кабина спортивного АВП обычно невелика по размеру, но должна обеспечивать известную свободу движений для манипуляции органами управления и приборами.

Для перевозки личного багажа имеются багажники вдоль боковых сторон кабины, а также под креслами.

В зависимости от типа движителей управление любительскими АВП производится разными способами. При наличии воздушных движителей оно осуществляется либо с помощью рулей, размещенных в потоке воздуха за винтом, либо направляющих устройств, укрепленных в потоке воздуха, истекающего из воздушно-реактивного движителя.

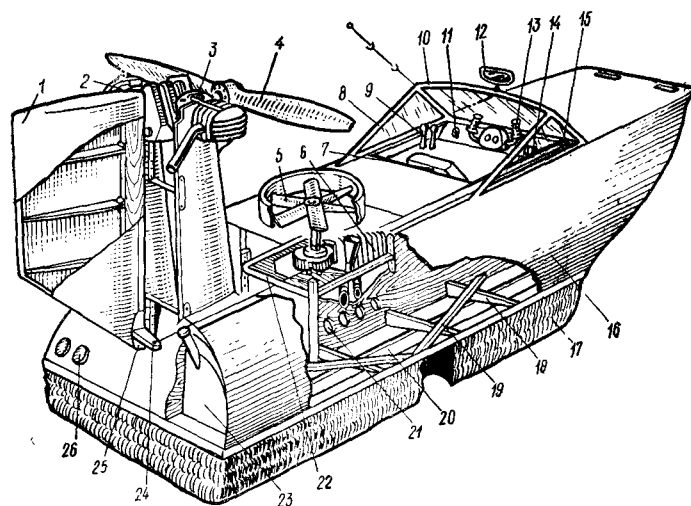


Рис. 97. Конструктивная схема любительского АВП.

1—руль направления движения; 2—двигатель; 3—редуктор; 4—воздушный винт; 5—нагнетатель осевой; 6—двигатель нагнетателя; 7—кресло; 8—ветровое стекло; 9—ручка газа; 10—антенна; 11—кнопка стартера; 12—штурвал; 13—зеркало заднего вида; 14—приборы контроля температуры двигателей; 15—указатель поворота; 16—корпус; 17—гибкое ограждение; 18—шпангоуты; 19—раскосы; 20—полосья; 21—отверстия для подачи воздуха в ресвер; 22—рама двигателя; 23—топливный бак; 24—румпель; 25—опора руля.

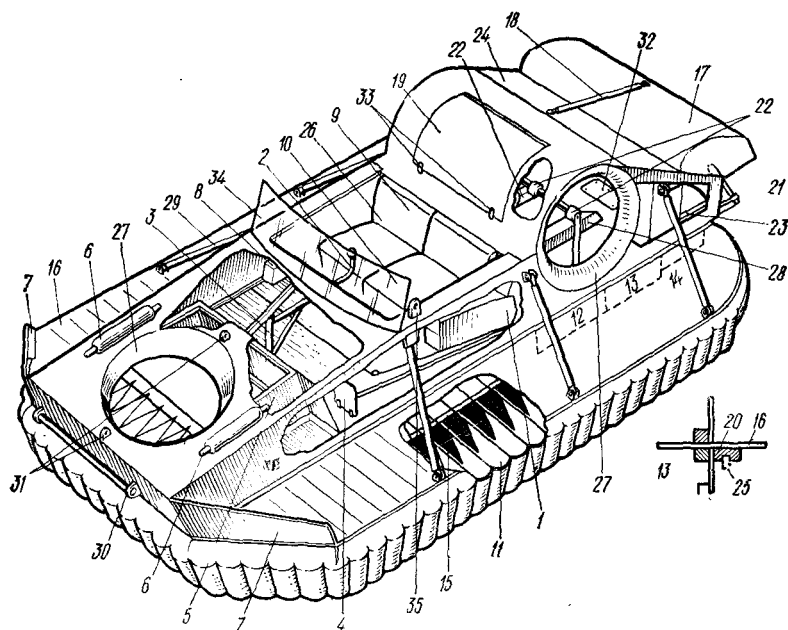


Рис. 98. Общий вид и конструктивная схема АВП.

1—топливный бак; 2—рукоятка руля управления; 3—привод руля направления; 4—педаль горизонтальной тяги; 5—отсек плавучести; 6—контрольный лючок; 7—брызгоотбойник; 8—аккумулятор; 9—место водителя; 10—место пассажира; 11—гибкое ограждение; 12, 13, 14—отсеки плавучести; 15—полосы; 16—обшивка ресверя; 17—заслонка воздушно-реактивного двигателя; 18—эластичный ремень; 19—контрольное отверстие двигателя горизонтальной тяги; 20—заделка швов и крепление покрытия; 21—руль; 22—положение вала нагнетателя горизонтальной тяги; 23—вал системы управления; 24—обшивка; 25—профиль; 26—датчик топлива; 27—воздухозаборник нагнетателя подъемной системы; 28—подпорка; 29—подкос; 30—защелка ручки; 31—оковка подвески двигателя; 32—смотровой лючок отсека плавучести; 33—замки; 34—ветровое стекло; 35—рычаг управления карбюраторных двигателей.

Управление аппаратом с места водителя может быть авиационного типа — с помощью рукояток или рычагов руля управления, либо как в автомобиле — рулевым колесом и педалями.

В любительских АВП применяются два основных вида топливных систем: система с подачей топлива самотеком и система с бензонасосом автомобильного или авиационного типа.

Топливные баки изготавливают из алюминиевого сплава или из синтетических материалов (в том числе из резины).

Остальные части топливной системы, такие, как клапаны, фильтры, масляная система вместе с бачками (если применяется четырехтактный двигатель), маслорадиаторы, фильтры, система водяного охлаждения (если это двигатель с водяным охлаждением) — все это подбирается конструктором любительского АВП из существующих стандартных систем, которые применяют в авиационной и автомобильной технике.

Выхлопные газы выводятся с помощью различных выхлопных труб, точно подогнанных по размеру и сечению, чтобы не допустить потерь в газовыхлопе. Выхлопные газы всегда выводятся в

кормовую часть аппарата и никогда — в подушку. Чтобы уменьшить шум, возникающий при эксплуатации АВП, особенно вблизи населенных пунктов, используются глушители автомобильного типа.

В простейших конструкциях АВП нижняя часть корпуса служит в качестве шасси. Роль шасси могут также выполнять деревянные полозья (или полоз). Они принимают на себя нагрузку при соприкосновении с поверхностью. В туристических АВП, отличающихся большей массой, чем спортивные, монтируются колесные шасси, которые облегчают перемещение АВП во время стоянок. Преимущественно используется конструкция, которая характеризуется размещением двух колес по бокам, либо вдоль его продольной оси. Колеса имеют контакт с поверхностью лишь после прекращения работы подъемной системы, когда АВП касается поверхности.

#### **4.5.6. Анализ нагрузок на элементы конструкции**

Проектируя отдельные элементы и агрегаты любительского АВП, следует определить силы, действующие на них в разных режимах движения и во время стоянки на земле. Определение этих сил должно основываться на тщательном анализе нагрузок и на расчетах, которые приводятся в литературе, посвященной постройке АВП.

Нагрузки, действующие на аппарат во время движения или в состоянии покоя, можно разделить на два вида: статические нагрузки и динамические.

При расчете на статическую нагрузку могут быть два типичных случая:

— если вызванные ею деформации невелики и не влияют на изменение нагрузок, то такие конструкции считаются абсолютно жесткими (прочными);

— деформации настолько значительны, что происходит изменение величины либо разложение нагрузок, в этом случае необходимо подкреплять конструкцию АВП.

Динамическая нагрузка возникает в случае повторения импульсов, вызванных внешними нагрузками.

Эксперименты с моделями показали, что наибольшая нагрузка на аппарат возникает во время движения аппарата по взволнованной поверхности воды, в момент удара о волну. При незначительной высоте волн, когда нет ударов, максимальные ускорения в носовой части аппарата появляются при частотах, равных частотам собственных горизонтальных и вертикальных колебаний и составляют 0,3—0,4 g.

Во время движения над поверхностью земли или воды наибольшую опасность представляют удары о различные препятствия, поэтому следует предусматривать бамперы либо привальные бруска (для СВП).

Поскольку необходимо создать условия для нормального передвижения АВП над любой поверхностью (кроме специально оборудованных трасс), перспективны эластичные гибкие ограждения воздушной подушки, а также целиком «надувные» корпуса, которые в последнее время широко применяются как в надводных, так и сухопутных АВП. Такие конструкции позволяют аппарату приспосабливаться к изменению формы поверхности и амортизировать механические удары.

Расчеты прочности при проектировании АВП не столь строги, как в экспериментальном авиаконструировании, но тем не менее, некоторые элементы конструкции АВП рассчитываются весьма тщательно с целью снижения массы и, таким образом, достижения высоких показателей полезной нагрузки.

#### **4.6. Конструирование любительских АВП**

Любительские АВП уже прошли достаточно длинный путь развития: от простейших моделей до сложных, интересных с точки зрения конструктивных решений, которые позволяют добиваться прекрасных ходовых и эксплуатационных характеристик. Качество их изготовления зависит от условий, в которых работает конструктор. Если рабочее место хорошо оснащено слесарным, плотницким и прочим инструментом, а строитель имеет опыт деревянного судостроения, то можно создать весьма интересные конструкции. Способ изготовления конструкции и выбор материала, безусловно, зависят от назначения и условий эксплуатации аппарата.

В настоящее время в подавляющем большинстве любительских АВП используются уже готовые системы, конструктивные решения, оборудование и т. д., что облегчает постройку аппаратов и их дальнейшее развитие.

##### **4.6.1. Материалы, приборы, технология изготовления**

Для изготовления деревянных конструкций применяют сосновые пиломатериалы, подобные используемым в авиационной, а также березовую фанеру различных толщин. Кроме того, используют ясеневую, буковую, липовую древесину. Для склеивания дерева применяют водостойкий клей с хорошими физико-механическими качествами.

Сосновый пиломатериал должен обладать ровной белизной, четким и равномерным рисунком растительных слоев, натуральным запахом и цветом.

Главным критерием оценки категории пиленого леса, его структуры является количество растительных слоев на один сантиметр поперечного разреза, в радиальном направлении.

Для любительских АВП лучше всего подходит первая или вторая категория: к первой относится сосновый пиломатериал,

который имеет не менее пяти слоев на один сантиметр, ко второй — не менее четырех слоев. Ясеновый пиломатериал должен в обеих категориях иметь не более шести слоев на один сантиметр сечения.

Физико-механические требования к сосновому и ясеновому пиломатериалам:

— сосновый пиломатериал:

категория 1

$$\rho_0 = 0,46 \text{ г/см}^3; \quad R_{c15} = 400 \text{ кг/см}^2; \\ u_{15} = 0,40 \text{ кг/см}^2;$$

категория 2

$$\rho_0 = 0,42 \text{ г/см}^3; \quad R_{c15} = 350 \text{ кг/см}^2; \\ u_{15} = 0,30 \text{ кг/см}^2;$$

— ясеновый пиломатериал:

категория 1

$$\rho_0 = 0,60 \text{ г/см}^3; \quad R_{c15} = 450 \text{ кг/см}^2; \\ u_{15} = 0,40 \text{ кг/см}^2;$$

категория 2

$$\rho_0 = 0,53 \text{ г/см}^3; \quad R_{c15} = 400 \text{ кг/см}^2; \\ u_{15} = 0,40 \text{ кг/см}^2;$$

где  $\rho_0$  — плотность абсолютно сухой древесины;  $R_{c15}$  — сопротивление на сжатие;  $u_{15}$  — упругость.

Дерево, используемое в строительстве АВП, должно быть соответствующей влажности и обработано резанием. Влажность древесины во время постройки должна составлять 8—12% (влажность деревянных деталей АВП в процессе эксплуатации — 10—20%) Это позволит избежать возможной усадки и будет способствовать разбуханию древесины, вследствие чего швы и соединения хорошо подгоняются друг к другу.

Детали крупных размеров, подвергающихся большим нагрузкам из-за неравномерной прочности дерева и его усадки, должны иметь особое сочетание растительных слоев в отрезках. Слои древесины в фанере должны создавать так называемую «елочку» и быть направлены под углом не менее 30°, что повышает прочность и предохраняет от вспучивания.

Наиболее подходящей фанерой считается березовая. Она отличается большой прочностью, гибкостью, легко формируется и гнется. Применяется также буковая фанера, имеющая почти такую же прочность, однако она хрупка и менее влагостойка.

Сгибание древесины и фанеры можно осуществлять и в холодном состоянии, но после снятия нагрузки они возвращают

себе первоначальную форму. Чтобы избежать предварительного напряжения и предупредить его отрицательное влияние на отдельные узлы конструкции, применяется предварительная гибка после тепловой обработки паром. С этой целью деталь помещают в резервуар, в котором пар поднимается от горячей воды, находящейся на дне. Температура пара должна составлять 105—110 °С, а время обработки зависит от толщины фанеры и твердости древесины.

Клей, применяемый в строительстве любительских АВП, служит основным средством соединения деревянных деталей. Он должен обладать особыми качествами, обеспечивающими соответствующую прочность, эластичность, устойчивость к влаге, температурным колебаниям, грибкам и микроорганизмам. Клеевое соединение считается абсолютно прочным, если оно не подвергается разрушению даже тогда, когда разбиваются сами склеенные детали. Кроме основных компонентов в клей часто добавляют вспомогательные составы, такие как, размягчители, отвердители, ускорители высыхания, наполнители, растворители, разбавители и другие добавки.

Склеивание должно выполняться в соответствующих условиях. К ним относятся: обеспечение сжатия, выдерживание требуемой температуры склеивания, влажности поверхности, а также определенная конфигурация места соединения склеиваемых элементов. Нарушение этих условий неизбежно приведет к ухудшению качества соединения. Для склеивания элементов конструкций АВП нужно брать водостойкий клей, учитывая, что аппарат будет эксплуатироваться в условиях повышенной влажности либо непосредственно на воде.

Для остекления кабины АВП в основном применяется органическое стекло, которое обладает хорошими оптическими свойствами, высокой стойкостью к воздействию света и атмосферных осадков. Оно довольно легко поддается гибке при нагреве до температуры 100—160 °С в печах с принудительной воздушной циркуляцией. Однако для упрощения технологии и исключения дефектов гибки чаще используют плоские пластины.

В тех случаях, когда необходимо соединить отдельные листы стекла в единое целое используют метод склеивания с предварительным припуском на склеиваемых сторонах и смазыванием дихлорэтановым клеем. Клей изготавливают следующим образом: опилки оргстекла растворяют в дихлорэтано в соотношении 2—5 частей опилок на 100 частей дихлорэтана. После тщательного размешивания через 2—3 сут. клей готов к употреблению. Его не рекомендуется хранить на свету, а применять необходимо в помещениях при температуре не ниже 5°. Особо следует помнить, что этот клей ядовит. После нанесения клея необходимо сжать детали при помощи тисков или трубицн давлением 147 кПа и оставить на 4 ч.

Металлические элементы конструкции в основном соединяются с помощью традиционных методов (винты, клепка).

Наиболее известным соединением металлических деталей с деревянными является соединение винтами, причем в наиболее важных элементах АВП отверстия в дереве и металле могут быть просверлены непосредственно перед закручиванием винтов. При соединении менее важных деталей отверстия в дереве и металле можно просверлить отдельно. Следует помнить, что закручивать гайки нужно с таким усилием, чтобы не разрушить дерево.

Соединение путем клепки осуществляют полыми либо цельными заклепками. Полые заклепки изготавливают из металлических трубок, их заклепывают вручную или на винтовом прессе. Цельные заклепки, изготовленные из легких сплавов или стали, подвергаются прокаливанию при температуре 350—400°. Клепка производится с помощью молотка или прессы.

В конструкциях любительских АВП для обшивки рулей, стабилизаторов и корпуса, а в некоторых случаях и для гибкого ограждения используется полотно — хлопчатобумажные и льняные ткани, исключительно устойчивые к воздействию атмосферных осадков. Процесс оклейки тканью следующий: подготовленная выкройка ткани накладывается на деталь, предварительно покрытую застывшим нитроклеем (АК-20), после чего пропитывается соответствующим растворителем; затем следует важная операция — натягивание ткани вдоль и поперек каркаса. После наклейки ткань пропитывается бесцветным нитроцеллоном, который дает ткани усадку, повышает ее прочность и влагостойкость. Для ручного сшивания ткани используют особопрочные швейные или льняные нитки; для машинного сшивания применяют нитки из стилона.

После пропитки ткани, не позднее чем через 20 ч можно приступить к нанесению нитроцеллюлозных либо поливиниловых лаков.

Для гибких ограждений преимущественно используют технические ткани. Они должны быть исключительно прочными, устойчивыми к атмосферному влиянию и влажности, а также к трению. В Польше чаще всего для этого используют огнестойкую ткань, покрытую пластиковидным полихлорвинилом.

Очень важным моментом в процессе изготовления конструкций гибкого ограждения является их правильный раскрой, соединение полотнищ между собой и крепление к аппарату.

Конструируя форму гибкого ограждения воздушной подушки не следует забывать о законе Паскаля, который гласит: давление воздуха распространяется во всех направлениях с одинаковой силой. Поэтому оболочка гибкого ограждения в надутом состоянии должна иметь форму цилиндра или сферы.

Для крепления оболочки гибкого ограждения к корпусу конструкции-любители применяют металлические планки, которые посредством болтов равномерно прижимают ткань к корпусу аппарата.



#### 4.6.2. Конструкция и расчет прочности корпуса

При разработке конструкции корпуса основными расчетами являются расчеты общей и местной прочности, для чего необходимо определить действующие нагрузки. На корпус АВП передаются силы от полезного груза, перевозимого аппаратом, от механизмов силовой установки и т. д., а также действуют нагрузки от внешних сил, ударов днища о волну и от давления в воздушной подушке. Несущая конструкция корпуса любительского АВП представляет собой плоский понтон, который поддерживается давлением в воздушной подушке, а в режиме плавания обеспечивает плавучесть корпуса. На корпус действуют сосредоточенные силы, изгибающие и крутящие моменты от механизмов главной энергетической установки (рис. 99), а также гироскопические моменты от вращающихся частей механизмов, возникающие при маневрировании АВП.

Наибольшее распространение при постройке любительских АВП получили следующие два типа конструктивных схем корпуса АВП или их комбинации:

— ферменной конструкции, когда общая прочность корпуса обеспечивается с помощью плоских или пространственных ферм,

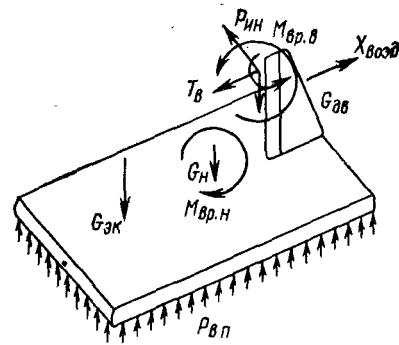


Рис. 99. Силы и моменты, действующие на корпус.

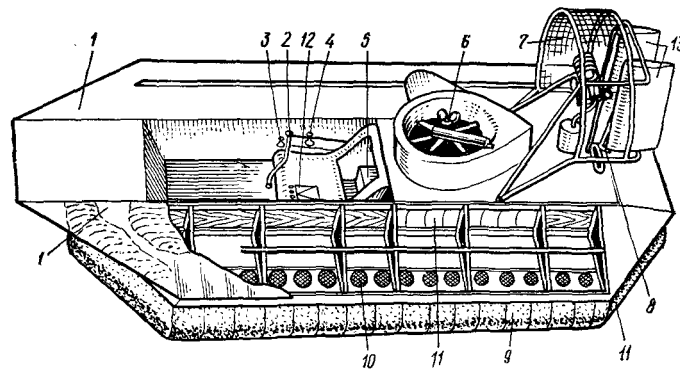


Рис. 100. Схема АВП «Калибан-3».

1—обшивка бортового ресивера; 2—рычаг управления рулем направления; 3—выключатель стартера; 4—выключатель магнитогенератора; 5—аккумулятор; 6—нагревательный агрегат; 7—двигательный комплекс; 8—румпель; 9—гибкое ограждение; 10—отверстия для подачи воздуха в гибкое ограждение; 11—воздушные каналы для подачи воздуха в бортовой ресивер; 12—рукоятки газа; 13—рули направления.

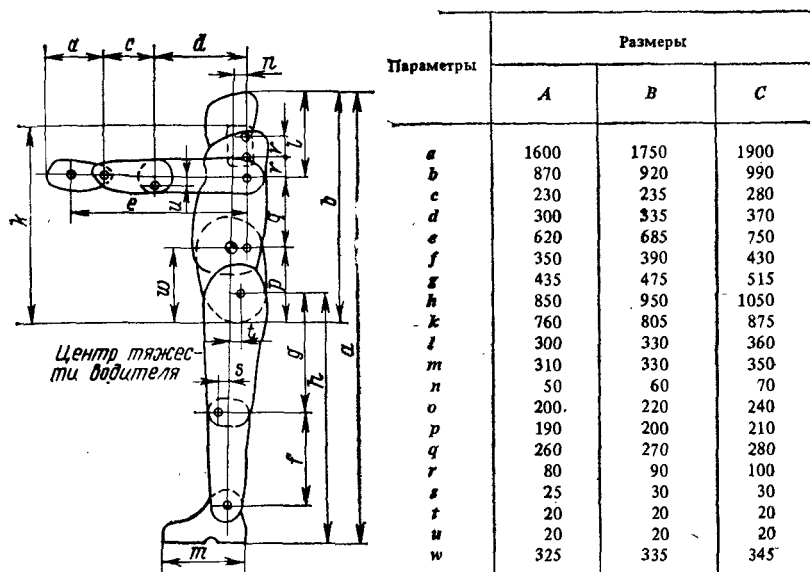


Рис. 101. Основные размеры фигуры водителя спортивного АВП в зимней одежде, меховых сапогах и рукавицах.  
 А — водитель низкого (1600 мм) роста; В — водитель среднего (1750 мм) роста; С — водитель высокого (1900 мм) роста.

а обшивка предназначена только для удержания воздуха в воздушном тракте АВП и создания объемов плавучести:

— с несущей обшивкой, когда обшивка корпуса помимо удержания воздуха и обеспечения водонепроницаемости, способствует повышению общей прочности корпуса, работая совместно с продольным и поперечным наборами.

Примером АВП с комбинированной схемой конструкции корпуса является аппарат «Калибан-3» (рис. 100), построенный любителями Англии и Канады. Центральный понтон этого АВП, состоящий из продольного и поперечного наборов с несущей обшивкой, обеспечивает общую прочность корпуса и создает плавучесть, а бортовые части образуют воздуховоды (бортовые ресиверы) и выполнены с легкой обшивкой, закрепленной на поперечном наборе ферменной конструкции. Поскольку этот аппарат спортивный, кабина остекляется. Место водителя оборудовано органами управления: рулевым устройством и двигателями. Педали, рукоятки и кресло водителя располагают в зависимости от роста человека, для чего могут быть использованы данные, представленные на рис. 101.

Для остекления кабины водителя используют оргстекло, целлулоид либо прозрачную пленку. Конструкция кабины должна обеспечивать возможность быстрого выхода, особенно в случае аварии или пожара. Должен быть обеспечен хороший обзор; для этого

нужно, чтобы линия визирования находилась в пределах от 15° вниз до 45° вверх от горизонтальной линии, боковой обзор был не менее 90° на каждый борт.

#### 4.6.3. Конструкция и расчет передач мощности

Из опыта известно, что наиболее простыми для любительского изготовления являются клиноременная и цепная передачи. Однако цепная передача используется только для привода воздушных винтов или нагнетателей, оси вращения которых расположены горизонтально, да и то лишь в том случае, если есть возможность подобрать соответствующие мотоциклетные цепные колеса, так как их изготовление в любительских условиях довольно сложно. Еще труднее изготовить зубчатую передачу.

Клиноременную передачу рассчитывают следующим образом. Мощность, передаваемая одним ремнем, должна соответствовать данным табл. 4.

Таблица 4. Мощности, передаваемые одним ремнем (л. с.) при круговой скорости  $v$ , м/с и угле 180°

Скорость окружная $v$ , м/с	Профиль ремня								
	8	10	13	17	20	22	25	32	40
	Мощность, передаваемая одним ремнем, л. с. *								
4	0,20	0,4	0,8	1,5	2,0	2,3	3,0	4,7	7,0
5	0,24	0,5	0,9	1,8	2,3	2,9	3,7	5,6	8,2
6	0,28	0,6	1,1	2,0	2,8	3,4	4,3	6,6	9,6
7	0,32	0,7	1,2	2,3	3,1	3,9	5,0	7,6	11,0
8	0,36	0,7	1,4	2,6	3,5	4,4	5,7	8,6	12,4
9	0,40	0,8	1,6	2,9	3,9	4,9	6,3	9,6	13,8
10	0,43	0,9	1,8	3,2	4,3	5,3	7,0	10,5	15,1
11	0,46	1,0	1,9	3,5	4,7	5,7	7,6	11,5	16,4
12	0,48	1,1	2,1	3,7	5,1	6,1	8,1	12,4	17,7
13	0,50	1,2	2,2	3,9	5,4	6,6	8,6	13,3	19,0
14	0,52	1,3	2,4	4,1	5,8	7,0	9,1	14,1	20,2
15	0,54	1,4	2,5	4,3	6,1	7,3	9,6	14,9	21,4
16	0,55	1,5	2,6	4,5	6,3	7,6	10,0	18,7	22,6
17	0,55	1,5	2,7	4,6	6,6	7,8	10,3	16,4	23,7
18	0,65	1,6	2,8	4,8	6,8	8,0	10,6	17,1	24,7
19	0,66	1,7	2,9	4,9	6,9	8,1	10,8	17,7	25,5
20	0,65	1,7	3,0	5,0	7,0	8,2	11,0	18,0	26,0
21	0,53	1,8	3,1	5,1	7,0	8,2	11,0	18,0	26,5
22	0,49	1,7	3,2	5,2	6,9	8,3	10,9	17,6	26,5
23	0,45	1,7	3,1	5,2	6,9	8,2	10,7	17,2	26,5
24	0,41	1,6	3,1	5,1	6,8	8,0	10,4	16,8	26,0
25	0,36	1,6	3,0	5,0	6,7	8,0	10,1	16,3	25,4

\* Для пересчета в киловатты умножить на 0,736.

Окружную скорость ремня (м/с) вычисляют по формуле

$$v = \frac{D_1 n}{19100},$$

где  $D_1$  — диаметр делительной окружности шкива, мм;  $n$  — частота вращения шкива, об/мин.

Для обеспечения долговечности ремней диаметры шкивов следует выбирать максимальными, однако при этом окружная скорость не должна превышать 25 м/с.

Угол охвата вычисляют для меньшего шкива. Наименьший допустимый угол охвата при эксплуатации составляет  $70^\circ$

$$\varphi = 180 - \frac{D_2 - D_1}{A} \cdot 57,3,$$

где  $A$  — расстояние между осями шкивов;  $D_1$  — диаметр делительной окружности меньшего шкива;  $D_2$  — диаметр делительной окружности большего шкива.

Подробные расчеты следует выполнить по правилам, принятым при проектировании передач этого типа.

#### **4.6.4. Конструкция подъемного комплекса и гибкого ограждения воздушной подушки**

Подъемный комплекс состоит из нагнетательного агрегата (рис. 102), воздушных каналов, ресивера и гибкого ограждения воздушной подушки (в сопловых схемах АВП). Воздушные каналы, по которым воздух подается от нагнетателя в гибкое ограждение, должны быть спроектированы с учетом требований аэродинамики и обеспечивать минимальные потери давления, о чем подробно говорилось ранее.

Гибкие ограждения любительских АВП конструируются упрощенной формы, что обеспечивает технологичность их изготовления и при достаточно высоком эффекте использования. На рис. 103 показаны примеры конструктивных схем гибких ограждений и способ проверки формы гибкого ограждения после его монтажа на корпусе аппарата. Ограждения этого типа обладают хорошей эластичностью, а благодаря закругленной форме они не цепляются за неровности опорной поверхности.

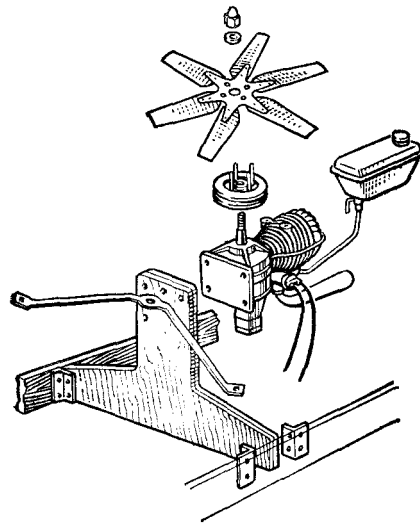


Рис. 102. Конструкция нагнетательного агрегата с осевым нагнетателем, навешенным на вал двигателя.

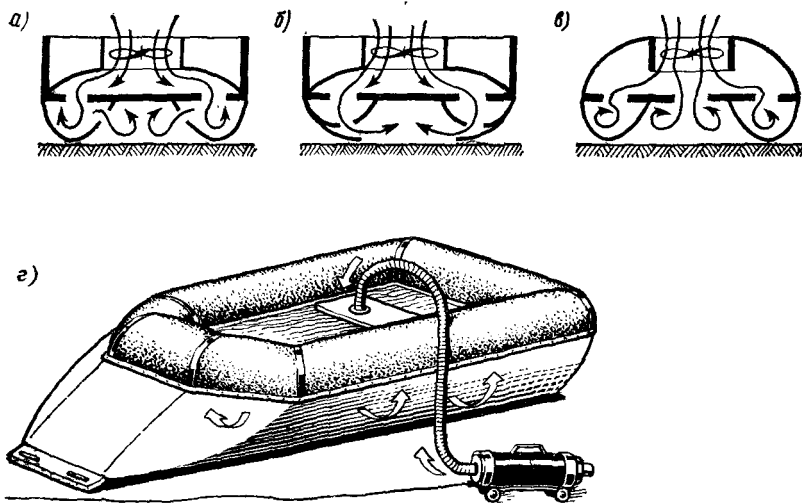


Рис. 103. Простейшие типы ограждений, используемых в любительских конструкциях АВП, и проверка формы гибкого ограждения: а — открытое ограждение с истечением воздуха в воздушную подушку через специальные отверстия; б — полузакрытое ограждение с подачей воздуха в воздушную подушку через клапаны; в — закрытое ограждение с подачей воздуха в воздушную подушку через отверстия в днище аппарата; г — проверка формы гибкого ограждения.

Расчет нагнетателей, как осевых, так и центробежных, довольно сложен и может быть выполнен любителями только при использовании специальной литературы.

#### 4.6.5. Конструкция рулевого устройства

Рулевое устройство служит для обеспечения необходимой управляемости, а также курсовой устойчивости при движении АВП. Как правило, оно состоит из рулевого колеса или педалей, системы рычагов или тросиковой проводки, соединенных с вертикальным рулем направления, а иногда и горизонтальным рулем — рулем высоты.

В зависимости от желания конструктора орган управления делается в виде автомобильного или мотоциклетного руля, штурвала самолета или планера. Учитывая, однако, специфику конструкции и эксплуатации АВП как летательного аппарата, наиболее известные конструкторы и

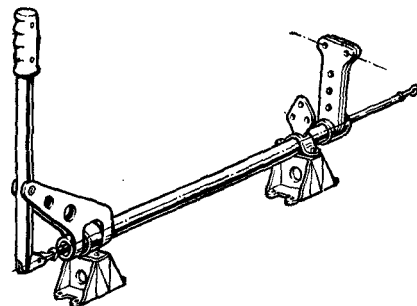


Рис. 104. Трубчатая система управления.

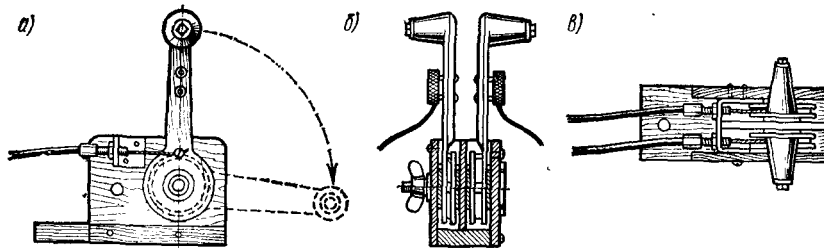


Рис. 105. Рукоятки газа двух двигателей: *а* — вид сбоку; *б* — вид спереди; *в* — вид сверху.

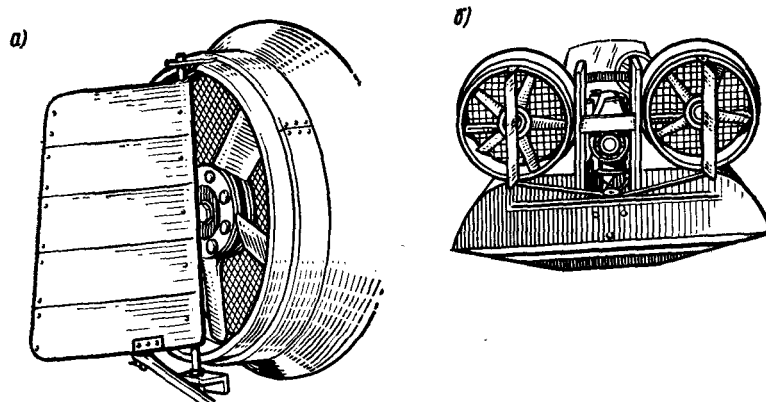


Рис. 106. Типы рулей направления: *а* — одиночный; *б* — двойной.

фирмы используют авиационную конструкцию органов управления.

В простейшей конструкции (рис. 104) при наклонении рукоятки в бок движение передается посредством закрепленного на трубе рычага к элементам штуртросовой проводки и далее на руль направления. Движения рукоятки вперед и назад, возможные благодаря маятниковому ее закреплению, передаются через толкатель, проходящий внутри трубы, к проводке руля высоты. Руль направления может также поворачиваться с помощью педалей по различным схемам.

При педальном управлении независимо от его схемы необходимо предусматривать возможность перемещения либо сиденья, либо педалей для регулировки в соответствии с индивидуальными особенностями водителя. Рычаги изготовляют чаще всего из дюралюминия, трубы передачи крепятся к корпусу с помощью кронштейнов. Движение рычагов ограничивается проемами вырезов в направляющих, укрепленных на бортах аппарата. На рис. 105 показаны рукоятки газа двух двигателей. Пример конструкции руля направления в случае размещения его в потоке воздуха, отбрасываемого движителем, показан на рис. 106.

---

## Оглавление

1. Вступление . . . . .	5
1.1. Общие сведения . . . . .	5
1.2. Описание наиболее удачных конструкций АВП . . . . .	5
1.2.1. Английские суда на воздушной подушке . . . . .	5
1.2.2. Французские АВП . . . . .	15
1.2.3. Американские АВП . . . . .	17
1.2.4. Советские АВП . . . . .	18
1.3. Различные области применения АВП . . . . .	20
1.4. АВП в Польше . . . . .	21
1.5. Тенденции развития АВП . . . . .	23
1.6. Примерная классификация аппаратов я приспособлений на воздушной подушке . . . . .	23
1.7. Интерес моделлистов и конструкторов-люби- телей к АВП . . . . .	24
2. Теоретические основы принципа движения на воздушной подушке и аэродинамики АВП . . . . .	26
2.1. Влияние близости опорной поверхности (эк- рана) на крыло . . . . .	26
2.2. Камерная схема создания воздушной по- душки . . . . .	27
2.3. Движение воздуха в воздушном тракте и анализ потерь давления . . . . .	29
2.4. Основные типы нагнетателей и их выбор . . . . .	32
2.5. Соппротивление движению и выбор воздуш- ного винта . . . . .	38
2.6. Механика полета АВП, его остойчивость и непотопляемость . . . . .	47
2.7. Аэродинамические измерения . . . . .	52
3. Модели АВП на воздушной подушке . . . . .	54
3.1. Вступление . . . . .	54
3.2. Материалы, инструменты и технология из- готовления . . . . .	57
3.3. Размеры, масса и равновесие моделей АВП . . . . .	58
3.4. Выбор системы подъема и движения . . . . .	60
3.5. Двигатели, нагнетатели, движители и пе- редачи . . . . .	65
3.6. Управление моделями АВП . . . . .	72
3.7. Основы проектирования и конструирования модели АВП . . . . .	74
3.7.1. Вступление . . . . .	74
3.7.2. Модели экранопланов, летающих платформ и само- летов на воздушной подушке . . . . .	78
3.7.3. Модели транспортных СВП . . . . .	83
3.7.4. Модели автомобилей и транспортных прицепов на воздушной подушке . . . . .	87
4. Любительские аппараты на воздушной по- душке . . . . .	88
4.1. Общие сведения . . . . .	88

4.2. Размеры, нагрузка и равновесие АВП . . .	90
4.3. Двигатели, передачи, нагнетатели и воздушные винты . . . . .	92
4.4. Примеры конструкций любительских АВП	96
4.4.1. Великобритания . . . . .	96
4.4.2. Канада . . . . .	98
4.4.3. США . . . . .	99
4.4.4. Франция . . . . .	102
4.4.5. Польша . . . . .	102
4.5. Основы проектирования любительских АВП	103
4.5.1. Технические и эксплуатационные элементы . . . . .	103
4.5.2. Анализ основных технических элементов . . . . .	104
4.5.3. Выбор схемы создания воздушной подушки и нагнетателя подъемной системы . . . . .	105
4.5.4. Выбор тягового комплекса . . . . .	109
4.5.5. Определение расположения кабины водителя и агрегатов конструкции . . . . .	113
4.5.6. Анализ нагрузок на элементы конструкции . . . . .	116
4.6. Конструирование любительских АВП . . . . .	117
4.6.1. Материалы, приборы, технология изготовления . . . . .	117
4.6.2. Конструкция и расчет прочности корпуса . . . . .	121
4.6.3. Конструкция и расчет передач мощности . . . . .	123
4.6.4. Конструкция подъемного комплекса и гибкого ограждения воздушной подушки . . . . .	124
4.6.5. Конструкция рулевого устройства . . . . .	125

## Ежи Бень

### Модели и любительские суда на воздушной подушке

Редактор *Э. В. Зубкова*, Художественный редактор *О. П. Андреев*, Технические редакторы *А. П. Ширяева, Е.С. Фадеева*, Корректор *Л. Н. Степнова*, Художник *С. С. Бенедиктов*  
ИБ № 842

Сдано в набор 04.03.83. Подписано к печати 01.07.83. Формат 60X90<sup>1/16</sup>. Бумага кн.-журн. № 2, Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 8,38. Уч.-изд. л. 8,9. Тираж 45 000 экз. Изд. № 3748-82. Зак. № 574. Цена 50 коп.  
Издательство «Судостроение», 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8.  
Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

expert22 для <http://rutracker.org>