

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ ПОДЪЕМНОЙ И ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ АППАРАТА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Заворотько Р.А. Email: Zavorotko1170@scientifictext.ru

*Заворотько Роман Аркадьевич – начальник отдела,
отдел эксплуатации систем газоснабжения и комплектов пневмовакуумного оборудования,
Филиал
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» — «Космический центр «Восточный»,
г. Циолковский*

Аннотация: в данной статье проведен анализ принципов образования подъёмной и движущей силы аппарата на воздушной подушке. Определены характеристики нагнетательной установки с учетом коэффициента сопротивления соплового устройства, рассмотрены конструктивные схемы энергетических установок, выявлена и обоснована необходимость использования энергетической установки судна на воздушной подушке. На основе проведенного исследования определены основные технические характеристики и габариты механизмов образования подъемной силы и движущей.

Ключевые слова: аппарат, воздух, давление, привод, поток, сопло, подъемная сила, коллектор.

RESEARCH OF PRINCIPLES OF CREATION OF THE LIFTING AND MOVING POWER OF THE UNIT ON THE AIR PILLOW

Zavorotko R.A.

*Zavorotko Roman Arkadievich - Head of the Department,
DEPARTMENT FOR THE OPERATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS AND SETS
OF PNEUMATIC VACUUM EQUIPMENT,
BRANCH
FEDERAL STATE UNITARY ENTERPRISE "CENTER FOR THE OPERATION OF TERRESTRIAL SPACE
INFRASTRUCTURE FACILITIES" - "VOSTOCHNY SPACE CENTER", TSIOLKOVSKY*

Abstract: this article analyzes the principles of the formation of the lifting and driving forces of an air cushion apparatus. The characteristics of the injection unit are determined taking into account the resistance coefficient of the nozzle device, the structural schemes of power plants are considered, the necessity of using the power plant of the hovercraft is identified and substantiated. Based on the study, the main technical characteristics and dimensions of the mechanisms of formation of the lifting force and the driving force are determined.

Keywords: apparatus, air, pressure, drive, flow, nozzle, lifting force, collector.

УДК 62-1/9

ВВЕДЕНИЕ

Аппарат на воздушной подушке - транспортное средство для движения по суше, воде, специальным путям, использующее воздушную подушку как средство создания подъемной силы для отрыва аппарата от опорной поверхности или разгрузки наемного движителя.

Воздушная подушка уменьшает сопротивление движению или давление аппарата на грунт и как следствие, повышает его скорость, проходимость, грузоподъемность.

В данной работе будет исследован метод образования подъемной силы и выбран движитель.

1 ВЫБОР СХЕМЫ ПОДЪЕМА

Известные АВП по принципу действия можно разделить на четыре основных группы. В первой из них (рисунок 1) воздух подается вентилятором в центральную часть аппарата и выходит по все стороны через узкую щель между поверхностью грунта и днищем АВП[1]. Давление под аппаратом поддерживается, только за счёт вязкости воздуха (трения при прохождении его через щель) и плавно уменьшается от давления, создаваемого вентилятором, до окружающего.

По существу в этой схеме между АВП и грунтом образуется «воздушный подшипник», подобные схемы применяются в некоторых приборах и станках. Нормальный режим работы только при очень малых зазорах в данном случае высота висения АВП (порядка нескольких миллиметров). Очевидно, что аппарат такого типа применим только на специально профилированных и обработанных дорогах или рельсах и в качестве вездеходного автолёта использоваться не может.

Камерная схема (рисунок 2). По этой схеме вентилятор нагнетает воздух в камеру под аппаратом, в котором создаётся избыточное, давление, необходимое для истечения воздуха по периферии под прокладками камеры, расстояние которых от грунта определяет высоту висения АВП.

Для увеличения подъёмной силы, развиваемой винтом, на входе воздуха в кольцевой канал устанавливают коллектор, а на выходе – выпрямляющие лопатки. Аппараты, выполненные по камерной схеме, имеют высоту полёта от 5 до 15 см. Выше они подниматься не могут, так как значительно увеличивается расход воздуха.

На такой высоте даже незначительные препятствия становятся преградой которую АВП, выполненные по такой схеме не могут преодолеть.

Чтобы увеличить высоту полёта, к нижнему краю воздушной камеры прикрепляют упругую механическую завесу. Делают её из резиновой ленты или бахромы из гибких металлических или пластмассовых элементов. Высота полёта у такого аппарата отсчитывается не от края камеры, а от завесы. Иногда боковые стенки делают жесткими, а переднюю и заднюю - отклоняющимися. Это так называемая камерная схема с протокой. При движении АВП выполненного по такой схеме, воздух свободно протекает через передние и задние стенки. Считают, что жесткие боковые стенки обеспечивают курсовую устойчивость, повышают манёвренность и снижают воздействие бокового ветра на аппарат. Схема с жёсткими боковыми стенками используется на аппаратах, движущихся над водой.

Представляет интерес камерная схема, в которой предусмотрена рециркуляция воздуха (рисунок 3).

Для этого по периметру днища делают ограждающие стенки. Вентилятор располагают в центральной части корпуса. Рециркуляция воздуха в таких аппаратах осуществляется следующим образом. Пройдя через зазор, образованный ограждающей стенкой и поверхностью, воздух подсасывается и через щель вновь поступает в камеру вентилятора. Благодаря рециркуляции воздуха при движении над сушей снижается пылеобразование, а над водой - брызгообразование.

Наиболее распространена в настоящее время струйная (или иначе сопловая) схема (рисунок 4). Особенностью этой схемы является то, что воздушная подушка образуется воздухом, вытекающим из сопла.

Вентилятор нагнетает воздух в кольцевой канал, заканчивающийся соплом, из которого воздух вытекает под некоторым углом и образует кольцевую завесу. За этой завесой под дном создаётся повышенное давление удерживающее аппарат над землей. Щель сопла, как правило, проходит по краям основания аппарата. Экспериментально установлено, что при кольцевом сопле АВП может двигаться на большей высоте, чем аппарат, выполненный по камерной схеме. В ряде конструкций, кроме основных кольцевых сопел, делают специальные сопла устойчивости располагающиеся по осевым линиям аппарата в поперечном и в продольном направлениях. Воздух, вытекающий из них образует под дном дополнительную завесу. Она препятствует перетеканию воздуха из одной части области повышенного давления в другую при наклоне аппарата. Это повышает его устойчивость.

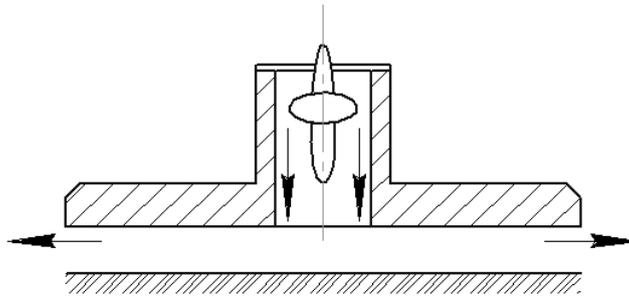


Рис. 1. Воздушный подшипник

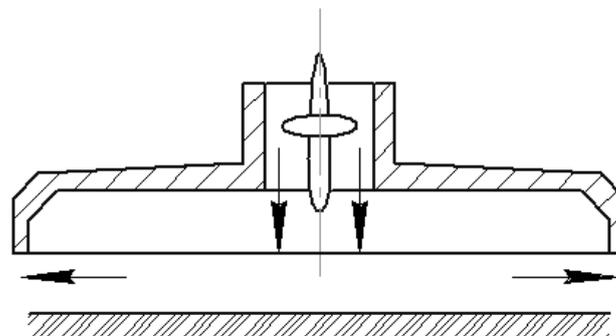


Рис. 2. Камерная схема

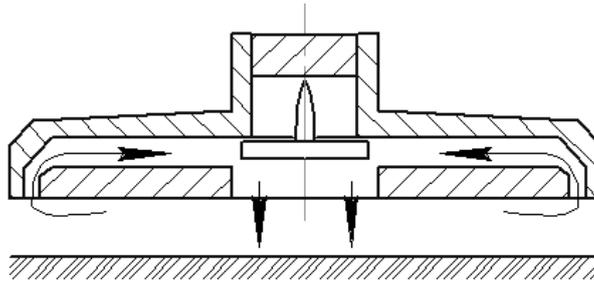


Рис. 3. Камерная схема с рециркуляцией

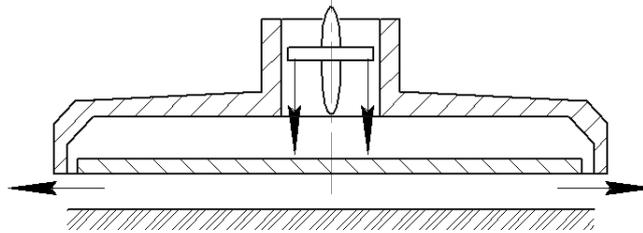


Рис. 4. Сопловая схема

Лучшие характеристики у АВП бывают тогда, когда дно у них имеет в плане крутую форму. Однако размещать детали, узлы и кабины (пассажирскую и для экипажа) более удобно тогда, когда корпус прямоугольный или овальный

Иногда сопла делают двух контурными - две щели в основании, расположенные друг за другом. Воздух при полёте, вытекая из обеих щелей, образует как бы воздушные подушки разделенные завесой. В рассмотренных сопловых схемах, воздух, вытекая наружу с большой скоростью, не весь расходуется на полезную работу, и очень значительная часть её пропадает.

Более экономно воздух расходуется в схемах с рециркуляцией, одна из конструкций представлена на (рисунок 5).

У аппаратов, выполненных по схеме с открытой рециркуляцией, поток поступает от вентилятора через главную щель под днище и создаёт там воздушную подушку и завесу. Некоторая часть воздуха отражается от опорной поверхности и попадает в нижнюю входную щель. Выходя из внешней, третьей щели, воздух образует наружную завесу. Эта схема конструктивно более сложна, однако требует на единицу площади завесы меньшую мощность. При схеме с открытой рециркуляцией в случае движения над водой почти не образуется, брызг, так как они засасываются под днище.

На аппарате два приемных и два нагнетательных канала. Они разделены перегородкой. Компрессоры установлены в местах, где сечения каналов максимальные. При работе системы вытекающий из кольцевого сопла воздух вновь подсасывается через щель и направляется в приёмный канал. Каналы имеют створки, которые открываются при запуске компрессора.

Установлено, что система рециркуляции воздуха позволяет повысить коэффициент полезного действия, а следовательно, и снизить потребную мощность для создания подъёмной силы.

Другие струйные схемы АВП с использованием принципа рециркуляции воздуха представлены на рисунке 6.

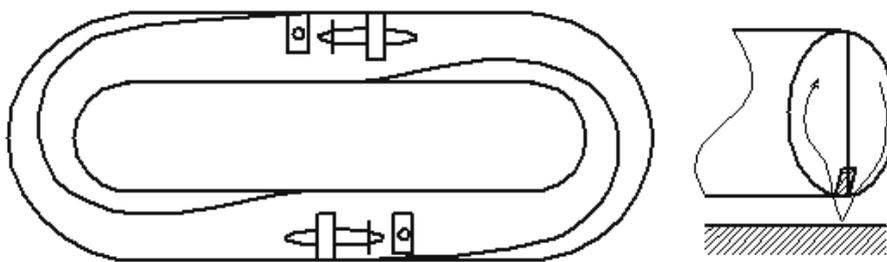


Рис. 5. Сопловая схема с рециркуляцией

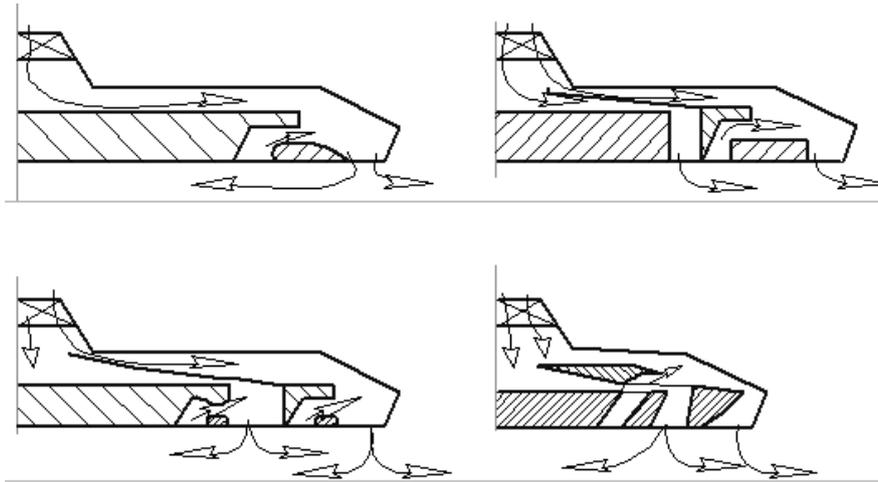


Рис. 6. Варианты сопловых схем с рециркуляцией

Во время испытаний таких систем были выявлены и их недостатки. Одним из основных является то, что вместе с воздушной струёй засасываются брызги и различные частицы, которые выводят из строя лопасти рециркуляционного вентилятора. Поэтому необходимости установки рециркуляционного вентилятора можно избежать, применив рециркуляционную эжекторную схему, в которой рециркуляция воздуха осуществляется с помощью эжектора, работающего на основном потоке воздуха.

Эжекторные рециркуляционные схемы, принципиально ничем не отличаясь от соответствующих вентиляторных схем, имеют перед ними практические преимущества. Они конструктивно проще, дешевле в изготовлении и имеют больший срок службы, в запылённом рециркуляционном потоке. В то же время эжекторы в связи с особенностями своего рабочего процесса требуют повышенных затрат мощности по сравнению с вентиляторными. Известны схемы аппаратов, у которых дополнительная воздушная завеса создаётся скоростным напором, появляющимся при движении (рисунок 7).

Воздухозаборник на одном, из аппаратов расположен в верхней части корпуса, на корме. Во время движения аппарата встречный воздух попадает в воздухозаборник и, выходя через сопло, создаёт дополнительную воздушную завесу.

Конструктивной простотой отличаются сопловые устройства, использующие принцип эжекции. Особенность такой схемы заключается в том, что атмосферный воздух увлекается вытекающим из сопла потоком, приобретает скорость и как бы образует дополнительную завесу.

У АВП, выполненных по сопловой схеме, каналы для транспортировки воздуха делают профилированными. Это необходимо для того, чтобы уменьшить гидравлические потери в каналах и обеспечить одинаковые параметры воздуха (давление и скорость) по всей длине сопла. Поэтому применяют ресиверы - воздушные камеры. Воздух от вентилятора в таких схемах сначала попадает в ресивер, в котором его параметры выравниваются, а затем уже поступает в щели сопла. Все эти приспособления и устройства очень громоздки. Объём воздушной системы можно уменьшить, если применить кольцевой вентилятор.

У этого устройства нет каких-либо подводящих каналов, воздух сразу же поступает в сопло. Применить такую схему можно только в том случае, если АВП будет иметь в плане круглую форму.

Другое устройство, сопло с ленточным вентилятором, может быть в плане любой формы, лопасти такого вентилятора прикреплены к двум гибким лентам, перемещающимся по направляющим роликам. Ленточные вентиляторы могут найти применение только на небольших аппаратах, так как они создают лишь небольшое избыточное давление.

Наконец, для больших скоростей движения оказывается эффективной схема скользящего крыла - экраноплана.

В этой схеме подъёмная сила образуется избыточным давлением под крылом (максимальная величина которого равна скоростному напору окружающего воздуха относительно движущегося АВП), а также разрежением над ним.

Аппарат приводится в движение установленным на нём горизонтальным воздушным винтом. Корпус аппарата обычно выполняют в виде несущей поверхности. В первый период движения, чтобы поднять в воздух аппарат, можно использовать воздушную подушку. Для этого необходим вентилятор. В дальнейшем, когда будет набрана скорость, АВП будет вести себя как летающее крыло.

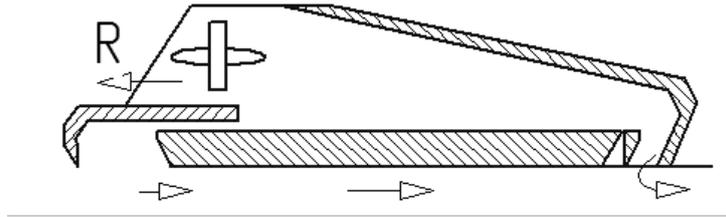


Рис. 7. Схема со скоростным напором

Проанализировав способы создания воздушной подушки, сделаем вывод, что для образования воздушной подушки наиболее приемлемой является двухконтурная сопловая схема, так как эта схема проста в конструкции и более устойчива при движении.

1.1 Характеристики периферийной струи двухконтурной схемы.

Одной из основных характеристик в теории аппаратов на воздушной подушке является зависимость избыточного давления в воздушной подушке от геометрических параметров соплового устройства, его положения относительно опорной поверхности и величины полного давления потока воздуха, подводимого к этому устройству[2].

Эта зависимость выражается в виде безразмерного коэффициента давления, характеризующая отношение избыточного давления в подушке к полному давлению потока воздуха, подводимого к устройству.

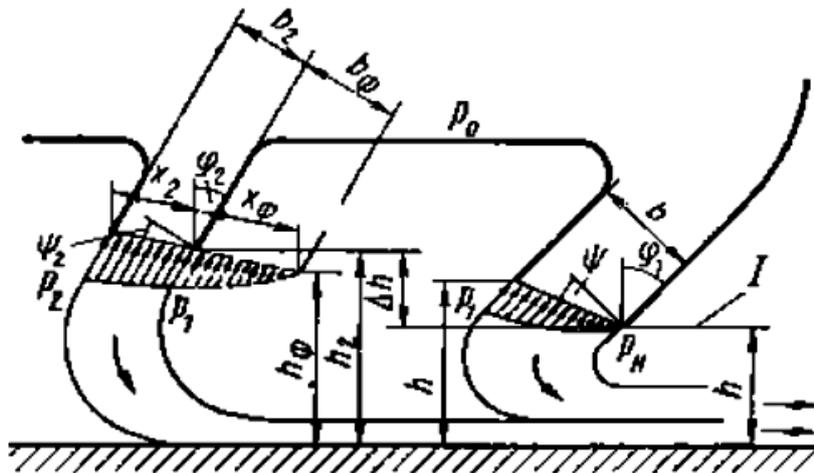


Рис. 8. Схема распределения коэффициента давления воздушной подушки

1.2 Коэффициент сопротивления соплового устройства

Под аэродинамическим сопротивлением соплового устройства будем понимать полные потери давления, связанные с входом воздуха из ресивера в сопло, течением в проточной части и выходом в окружающую атмосферу.

Эти потери можно охарактеризовать коэффициентом местного сопротивления ξ , представляющим собой отношение полного давления, затрачиваемого на создание струи натекающей на экран, к динамическому давлению струи, определенному по средней скорости истечения воздуха в выходном отверстии сопла.

1.3 Определение подъемной силы

Для создания воздушной подушки под аппаратом находящимся в состоянии свободного висения на некоторой высоте, над опорной поверхностью, необходимо непрерывно подавать воздух при помощи вентиляторов.

Наружный воздух засасывается через приемные отверстия, обычно расположенные в верхней части аппарата, и подается к сопловому устройству, размещенному в его нижней части — в днище.

Благодаря реактивному действию струй воздуха, выходящих из соплового устройства и растекающихся по поверхности земли в стороны от аппарата в радиальных от него направлениях, под днищем возникает повышенное по сравнению с атмосферным давление, т. е. образуется эффект воздушной подушки.

В верхней части аппарата на наружной поверхности воздухозаборников и прилегающих к ним участках крыши аппарата под влиянием всасывающего действия вентилятора возникает разрежение.

Подъемная сила, поддерживающая аппарат в воздухе, складывается из вертикальных составляющих сил избыточного давления и разрежения, действующих на его корпус, и вертикальных составляющих реактивных сил входящего и выходящего потоков воздуха [3]. Силы избыточного давления, действующие на днище, можно достаточно точно определить, если известны аэродинамические характеристики примененного на аппарате соплового устройства и создаваемой им воздушной подушки. Непосредственное определение сил разрежения, возникающих под влиянием эффекта всасывания воздуха в аппарат и действующих на его корпус, встречает большие трудности, так как необходимо знать закономерности распределения разрежения по всей поверхности крыши аппарата и особенно вблизи всасывающего отверстия вентилятора

Обычно большие площади и малая величина разрежения не позволяют определить экспериментально эти силы с достаточной для практики точностью.

Найдем в общем виде подъемную силу, создаваемую протекающим через аппарат воздухом.

Для выяснения влияния эффекта всасывания воздуха на подъемную силу рассмотрим течение в аппарате, находящемся в режиме висения на значительном удалении от опорной поверхности, т.е. на таком расстоянии, когда поверхность не оказывает аэродинамического воздействия на истечение струй воздуха из аппарата и не вызывает образования под его днищем воздушной подушки.

Для простоты будем также считать, что аппарат имеет одно всасывающее отверстие и одно выходное. Такой аппарат состоит из вертикальной трубы III, входного коллектора I и выходного сопла IV. В трубе установлен вентилятор, с приводом обеспечивающий засасывание воздуха через коллектор II и выпуск его через сопло в виде сплошной струи вертикально вниз.

Коллектор и сопло профилированы по плавным кривым, причем входная кромка коллектора удалена от оси трубы на расстояние существенно большее диаметра трубы.

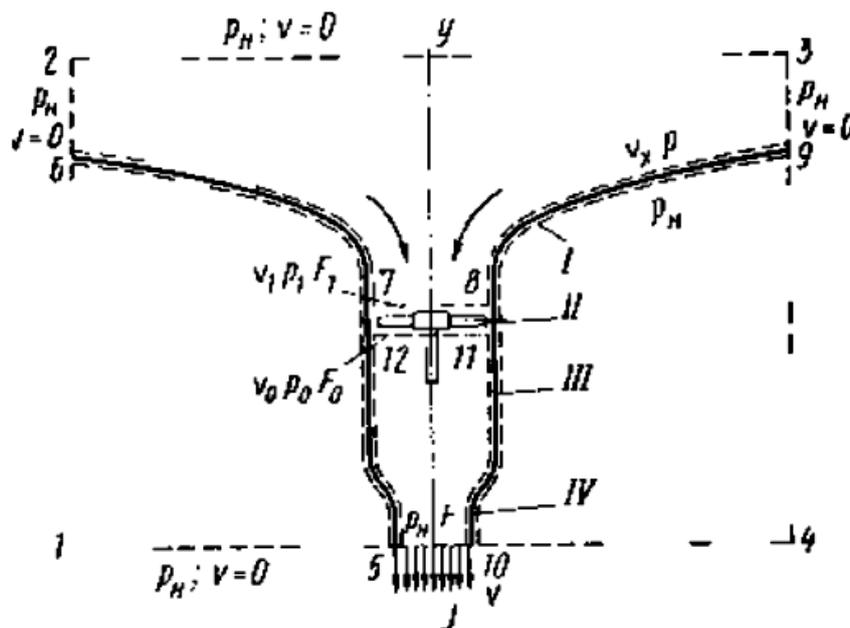


Рис. 9. Контрольный контур к определению подъемной силы летательного аппарата с коллектором и соплом

Чтобы определить подъемную силу аппарата, заключим его в контур 1—2—3—4—1 и применим: уравнение количества движения. Спроектируем на вертикальную ось y симметрии аппарата силы, действующие на аппарат и на поверхность выделенного контура.

Если размеры контура взять такими, чтобы на всех участках давление было равно атмосферному p_n , а скорость протекания воздуха через контур $\mathbf{v} = 0$ м/с (за исключением участка, где скорость выхода струи равна \mathbf{V}).

Следовательно, подъемная сила, действующая на аппарат, численно равная количеству движения струи, выходящей из аппарата наружу, определяется лишь скоростью \mathbf{V} истечения струи, ее плотностью ρ и площадью F выходного отверстия и не зависит ни от величины разрежения, возникающего на поверхности аппарата под действием всасывания, ни от конфигурации аппарата, формы его воздухозаборной части и прилегающих к ней элементов.

Это известное определение силы тяги от реакции струи было дано еще в 1882 г. Н. Е. Жуковским.

Рассмотрим, на каких элементах аппарата и в какой мере реализуется эта подъемная сила, а также определим затраты мощности для создания этой подъемной силы.

1.4 Аппарат с острой входной кромкой

Рассмотрим характерный случай, когда коллектор и выходное сопло отсутствуют, а труба имеет острую входную кромку (рисунок 10).

Определим место приложения подъемной силы.

Для этого воспользуемся контуром 5—6—7—8—9—10—11—12—5

Проекция на ось y сил давления, действующих нормально к стенкам трубы, равны нулю, поэтому уравнение количества движения:

Подъемная сила Y в конечном счете реализуется в виде сил давления, действующих на лопатки и втулку вентилятора.

Скорости в сечениях 7—8 и 11—12 одинаковы, поэтому равны и динамические давления и, следовательно, разность давлений $P_0 - P_1 - P_{02}$ представляет собой полное давление, развиваемое вентилятором в сети.

Это полное давление расходуется на преодоление сопротивления сети.

Потери динамического давления потока при выходе из аппарата меньше полного давления, развиваемого вентилятором (рисунок 10), поэтому течение в рассматриваемом аппарате может существовать лишь в случае наличия в проточной части местных потерь давления. Такие потери имеются и возникают в результате отрыва потока при входе в трубу с острой кромкой, сжатия образующейся при этом струи и последующего ее расширения. Выразим потери давления в сети через коэффициенты сопротивления [3].

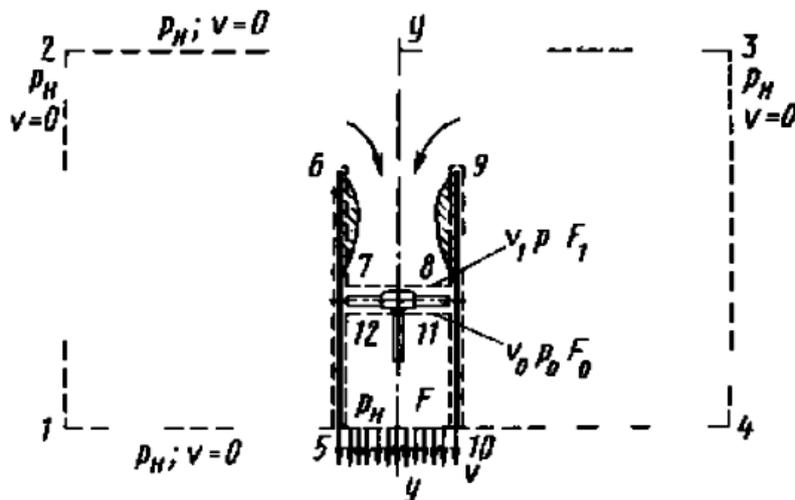


Рис. 10. Контрольный контур к определению подъемной силы летательного аппарата с острой входной кромкой

Потери давления в сети нагнетания (если считать, что течение идеально и трение воздуха о стенки трубы отсутствует) состоят из потерь динамического давления потока при выходе.

Атмосферное давление имеет место не только в плоскости выходного отверстия трубы, но и внутри нее на участке от среза трубы до вентилятора поэтому в сечении 11—12 давление $p_0 - p_H$.

Отметим здесь, что при одной и той же подъемной силе сопротивление проточной части аппарата с трубой, имеющей острую входную кромку, в два раза больше сопротивления проточной части аппарата, имеющего на трубе идеальный коллектор, так как в рассматриваемом случае коэффициент сопротивления сети в целом,

1.5 Аппарат с коллектором малого радиуса закругления

В случае установки на трубе коллектора малых размеров (рисунок 11), вносящего в проточную часть дополнительное сопротивление, вертикальная составляющая сил давления действующих на коллектор,

Потери давления в коллекторе через коэффициент местного сопротивления ζ , для потока воздуха, входящего в трубу можно найти в соответствии с уравнением Бернулли

Если установить на трубе аппарата коллектор, профилированный по дуге круга, и воспользоваться экспериментальной зависимостью коэффициента ζ местного сопротивления от относительного радиуса

закругления r , D , то относительную подъемную силу Y и ее составляющие Y_K и Y_B можно представить в виде кривых, показанных на (рисунке 12).

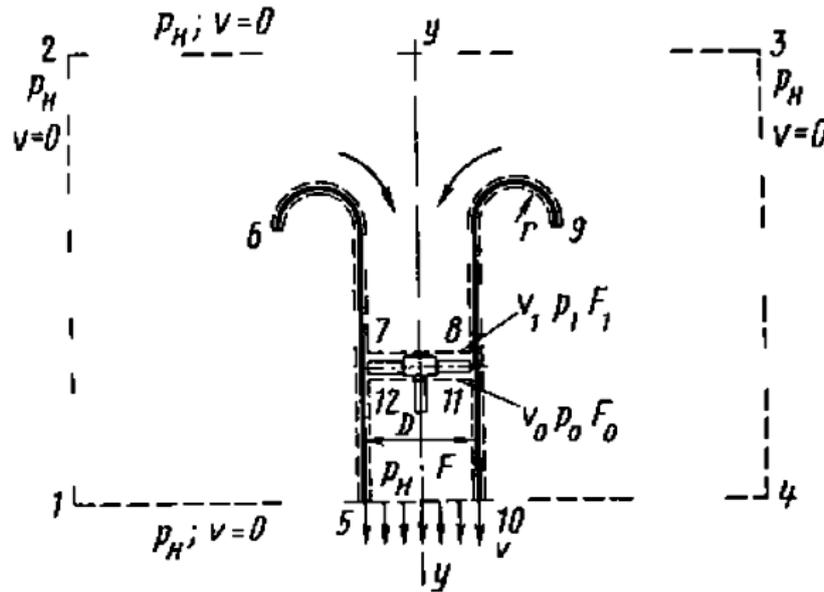


Рис. 11. Контрольный контур к определению подъемной силы летательного аппарата с коллектором

Как видим, уменьшение радиуса закругления коллектора уменьшает составляющую Y_K и увеличивает на то же значение составляющую Y_B .

При $r/D = 0$, т. е. при острой входной кромке трубы, чему соответствует $\zeta = 1$, подъемная сила аппарата определяется лишь составляющей, действующей на вентилятор ($Y = Y_B$, а $Y_K = 0$).

Увеличение диаметра коллектора в 2 раза (при $r/D = 0,4$) увеличивает составляющую Y_K всего лишь на $\sim 1,5\%$.

Примем диаметр коллектора равный 0,8 м.

Расход воздуха:

Сопротивление сети всасывания равно потерям давления при входе воздуха в коллектор. Сопротивление сети нагнетания, равно потерям динамического давления потока воздуха при выходе из аппарата:

Для аппарата, состоящего из вентилятора и идеального коллектора, при $F = F_0$ энергетическое качество достигает своего максимального значения:

Требуемая мощность для аппарата с плавным коллектором в 2 раза меньше чем для аппарата с острой входной кромкой.

То есть установка плавного коллектора на трубе с острой входной кромкой увеличивает подъемную силу на $\sim 59\%$.

Это обусловлено тем, что устройство плавного коллектора на аппарате уменьшает сопротивление проточной части в два раза, сводя на нет местные потери давления, вызванные контракцией струи, т. е. сжатием струи при входе в трубу с острой кромкой и последующим ее расширением в трубе.

Анализ характеристик аппаратов показывает, что применение входного коллектора выгодно не тем, что он вызывает образование дополнительной подъемной силы к реактивной силе, создаваемой выходящей из аппарата струей воздуха, а тем что, обеспечивая плавный вход воздуха в аппарат, коллектор существенно уменьшает сопротивление проточной части и улучшает этим энергетическое качество аппарата в целом.

В реальных условиях наличие местных потерь давления в элементах аппарата, особенно за вентилятором в сети нагнетания и трения воздуха о стенки каналов проточной части, снижает положительный эффект, создаваемый коллектором, и тем сильнее, чем больше общее сопротивление проточной части.

Подъемная сила такого аппарата независимо от величины потерь давления в проточной части равна реакции уходящей из аппарата струи воздуха. Выбираем плавный коллектор.

1.6 Подъемная сила аппарата

При определении составляющих коэффициентов подъемной силы воспользуемся следующими уравнениями, определяющими распределение скорости и давления в плоскости среза сопел.

Составляющие коэффициента подъемной силы от реакции струй воздуха $C_{ур1}$ и сил давления на срезы наружных сопел $C_{ус1}$ двухконтурного соплового устройства определяем по формулам для одноконтурного соплового устройства, а именно: Коэффициент давления воздушной подушки:

где: B_1, B_2 - ширина днища, до наружных границ соплового аппарата;

$B_1=8.4$ м;

$B_2=7.2$ м;

$L_1=17.7$ м;

$L_2=17.1$ м;

Весь расчет можно произвести по книге В.И. Хаджонкова, определили, что кольцевое двухконтурное устройство создает большую подъемную силу, чем плоское.

Имеет место лишь численное различие в коэффициентах подъемной силы.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В состав нагнетательной установки, кроме самого нагнетателя, входят воздухоприемный патрубок (шахта) и диффузор.

Наиболее ответственный этап определения элементов нагнетательной установки – это расчет нагнетателя, рациональный выбор его характеристик[1].

Основные аэродинамические характеристики нагнетателя для СВП – частота вращения колеса $n = 1000$ об/мин, производительность $Q = 390,86$ м³/с, напор $p = 1753,25$ Па при заданной скорости движения СВП. Каждой комбинации значений этих величин соответствует определенная наиболее выгодная конструкция, обеспечивающая минимум гидравлических потерь, и аэродинамическая схема нагнетателя.

Помимо основных характеристик работа нагнетателя в предположении о несжимаемости воздуха определяется следующими независимыми характеристиками: внешним диаметром рабочего колеса $D = 0,4$ м, массовой плотностью воздуха $\rho = 1,225$ кг/м³, ускорением силы тяжести g , коэффициентом кинематической вязкости воздуха ν .

Исследования работы нагнетателей и выбор их оптимальной конструкции основаны на анализе условий подбора, определяемых системой безразмерных критериев. Наиболее известными в вентиляторостроении безразмерными параметрами являются коэффициенты производительности \bar{Q} и давления \bar{p} .

К нагнетателям СВП предъявляют следующие требования:

1) наиболее высокий КПД (это условие будет выполнено, если нагнетатель выбран в присущей ему области значений n_s);

2) минимальное шумообразование, то есть максимально возможное значение \bar{p} ;

3) высокая оптимальная производительность – максимальное значение \bar{Q} ;

4) наименьшие размеры конструкции при возможно большей мощности нагнетателя, то есть произведение $\bar{p} \cdot \bar{Q}$ должно быть максимальным;

5) минимальное значение потребляемой мощности при нулевой производительности;

6) малая масса, высокая прочность колеса, простота монтажа.

2.1 ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СВП

2.1.1 Общие сведения

Одно из основных преимуществ СВП по сравнению с водоизмещающими судами – возможность движения с высокой скоростью при меньшей необходимости мощности, как известно, проявляется только при сравнительно высоких скоростях (не менее 35-40 уз). Это объясняется тем, что на образование воздушной подушки расходуется значительная часть мощности энергетической установки.

Энергетическая установка СВП состоит из следующих составных частей: главных двигателей, передач мощности, движителей, главных движительно-рулевых устройств, подъемной системы, систем и устройств, обслуживающих энергетическую установку.

Тип энергетической установки СВП определяется типом главных двигателей. В соответствии с этим рассматривают энергетические установки на органическом топливе и атомные энергетические установки.

Наиболее широкое применение нашли три типа ЭУ на органическом топливе: с карбюраторными двигателями, дизельные и газотурбинные.

На амфибийных СВП массой более 2,5 т за рубежом применяют только газотурбинные ЭУ.

2.1.2 Конструктивные схемы энергетических установок

По конструктивному исполнению ЭУ СВП разделяют на установки с совмещенным приводом нагнетателей подъемной системы и движителей и с отдельным приводом нагнетателей и движителей [4]. Большинство построенных СВП имеют ЭУ с совмещенным приводом нагнетателей и движителей от одного или двух двигателей. Совмещенный привод создает возможность перераспределения располагаемой мощности между движителями и нагнетателями благодаря использованию в качестве движителей винтов изменяемого шага, а также применению двигателей с постоянной мощностью в широком диапазоне чисел оборотов.

Совмещенный привод позволяет рационально использовать мощность двигателей в зависимости от условий эксплуатации, не прибегая к увеличению числа главных двигателей, повысить их агрегатную мощность и экономичность.

На рисунке 12 представлены основные компоновочные схемы ЭУ с совмещенным приводом нагнетателей и движителей, принятые на СВП. Энергетические установки с совмещенным приводом обладают таким серьезным недостатком, как большая сложность изготовления и обслуживания, большой объем и масса трансмиссий, редукторов и других элементов механических передач.

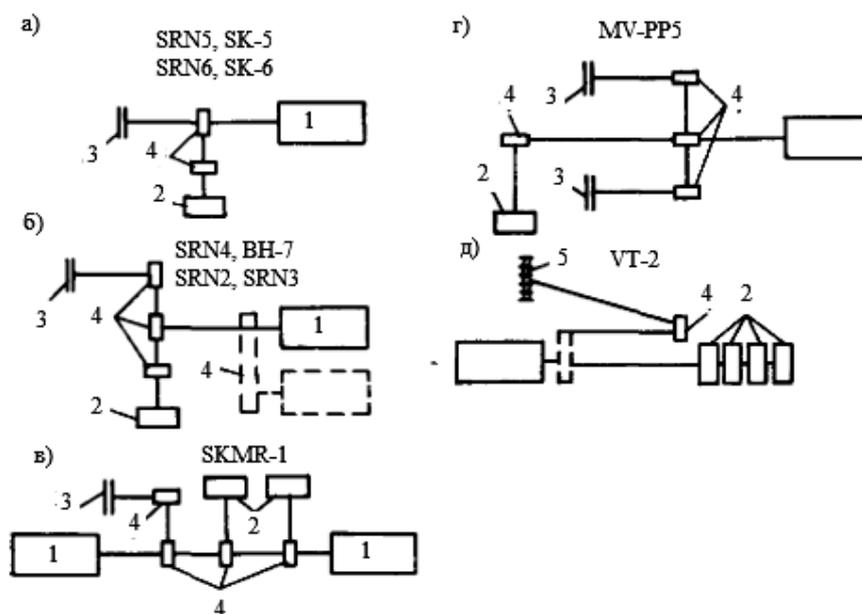


Рис. 12. Основные компоновочные схемы ЭУ с совмещенным приводом нагнетателей и движителей СВП: 1 – ГТД; 2 – нагнетатель; 3 – воздушный винт; 4 – зубчатая передача; 5 – движитель-нагнетатель

С целью повышения надежности, упрощения ЭУ на СВП применяют ЭУ с отдельным приводом нагнетателей и движителей. На рисунке 13 представлены основные компоновочные схемы ЭУ с отдельным приводом, примененные на построенных СВП.

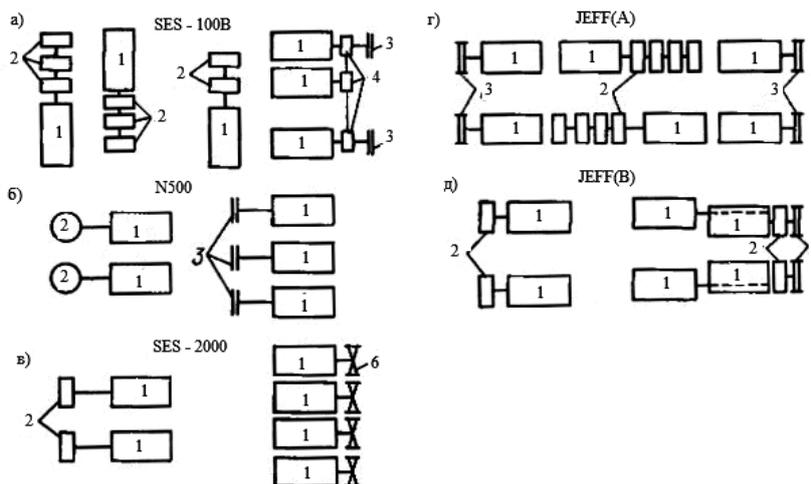


Рис. 13. Компонентные схемы ЭУ с отдельным приводом: 1 – ГТД; 2 – нагнетатель; 3 – воздушный винт; 4 – зубчатая передача; 5 – движитель-нагнетатель; 6 – гребной винт в насадке

При проектировании СВП выбираем энергетическую установку с совмещенным приводом нагнетателей и движителей (рисунок 12-г).

2.1.3 Передачи мощности

Из известных типов передачи мощности на СВП применяют почти исключительно механическую.

Для передачи мощности от двигателей к движителям и нагнетателям, находящимся на различных уровнях по высоте и ширине, применяют трансмиссии с коническими зубчатыми передачами.

Конструктивные схемы передач мощности, количество и тип редукторов определяются типами двигателей, движителей и нагнетателей, их взаимным расположением, соотношением частот вращения.

Типичная механическая передача при совмещенном приводе движителей и нагнетателей: мощность от ГТД через встроенный в двигатель двухступенчатый планетарный редуктор, снижающий частоту вращения, передается на угловой конический редуктор, где распределяется на два выходных вала.

Верхний вал передает мощность еще через один угловой редуктор на горизонтальные валы винта с частотой вращения **1500 об/мин**, а нижний – через планетарный редуктор на вертикальные валы нагнетателей с частотой вращения **1000 об/мин**.

Валы изготавливают из высокопрочного алюминиевого сплава или из стали и соединяют гибкими муфтами, допускающими некоторый излом осей и отклонение конструкций корпуса судна при его общем изгибе.

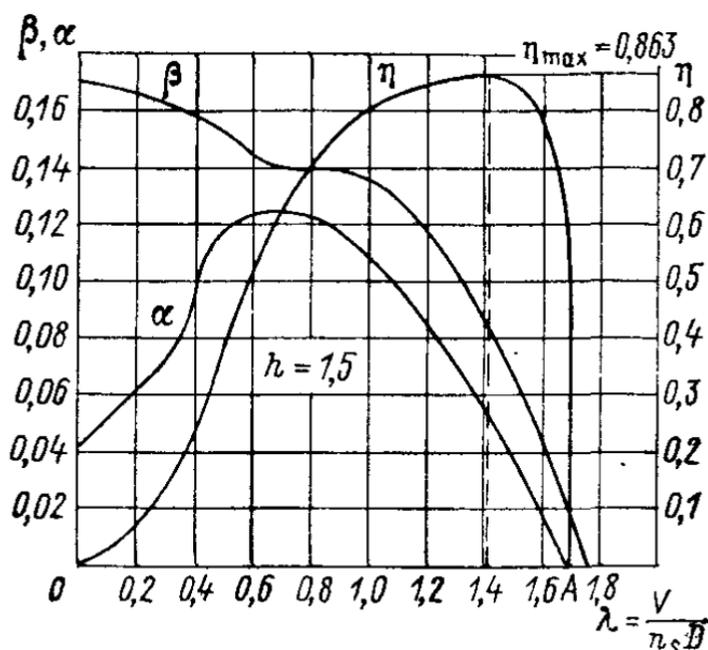


Рис. 14. Характеристика воздушного винта

По рисунку 14 можно определить КПД винта. Зная значение сопротивления движению аппарата, можно вычислить вторую составляющую полной мощности, обеспечивающую движение СВП:

Выбираем турбовальный двигатель ГТД – 1000 ТФ.

Таблица 1. Основные технические характеристики ГТД – 1000 ТФ

Основные технические характеристики ГТД – 1000 ТФ	
Мощность, л. с	1100
Удельный расход топлива, Г/л.с.·ч	235
Расход масла, л/ч, не более	0,2
Теплоотдача в масло, ккал/мин	700
Частота вращения, об/мин	3250
Габаритные размеры	
Длина, мм	1494
Ширина, мм	1042
Высота, мм	880
Масса, кг	1050

Принимаем следующие исходные данные для расчета винта: максимальную мощность двигателя $N_{\text{двиг}} = 808,8 \text{ кВт}$, частоту вращения винта $n = 1500 \text{ об/мин}$, частоту вращения $n_s = 25 \text{ об/с}$, скорость аппарата $v = 110 \text{ км/ч}$, конструктивно допустимый диаметр винта $D = 1,5 \text{ м}$, окружную скорость конца лопасти $u = \pi \cdot n \cdot D/60 = 117,75 \text{ м/с}$, суммарную скорость, поступь винта $H_D = v(60/n) = 4,71 \text{ м}$, число лопастей = 5.

Тогда получим геометрический шаг $H = 1,5 \cdot \pi \cdot r \cdot \text{tg}\alpha = 5,7 \text{ м}$, а скольжение равно $s = (H - H_D)/H_D = 21\%$. Скольжение воздушных винтов колеблется в пределах 20 – 25 %.

2.1.4 Применение колец – насадок для воздушных винтов

Насадка обеспечивает защиту винта, что является немаловажным эксплуатационным качеством. Применение направляющих насадок на воздушных винтах позволяет увеличить КПД ориентировочно на 30-35 %. Теоретически максимальный выигрыш в идеальном КПД составляет 38 %.

Несмотря на эффективность насадок, их применение на воздушных винтах ограничивается из-за конструктивных и технологических трудностей. В частности необходимость обеспечить зазоры между концами лопастей и профилем насадки, не превышающие 0,3-0,5 % диаметра воздушного винта (в нашем случае зазор не должен превышать 4,5-7,5 мм), а также исключить удары кромок лопастей о тело насадки требует создания жесткой конструкции самой насадки, а также крепления ее и опор воздушных винтов на корпусе. Реализация этих требований связана с увеличением массы. Кроме того, брызги, попадая в диск винта, отбрасываются к его периферии и могут вызывать разрушение внутренней обшивки тела насадки, так называемую брызговую эрозию.

На СВП установка насадок целесообразна прежде всего потому, что дает возможность увеличить запас тяги на «горбе» сопротивления. При полных скоростях судна выигрыш, достигаемый в результате применения насадок, незначителен либо вообще отсутствует. Поэтому применение насадок оправдано лишь в тех случаях, когда преодоление «горба» сопротивления другими средствами связано с большими трудностями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследовательской работы определены основные технические характеристики и габариты механизмов образования подъемной силы и движущей.

Для обеспечения подъемной силы выбран движитель, турбовальный двигатель ГТД – 1000 ТФ.

Также в роле движителей были выбраны 2 воздушных винта диаметром по 1,5 м и частотой вращения 1500 об/мин.

Поставленные задачи выполнены.

1. *Бень Е.* Модели и любительские суда на воздушной подушке: Пер. с польск. Л.: Судостроение, 1983.
2. *Демешко Г. Ф.* «Устройство и оборудование судов на воздушной подушке». Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1980 г.
3. *Злобин Г.П., Симонов Ю.А.* Суда на воздушной подушке/ Л.: Судостроение, 1974.
4. *Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А.* Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. Л.: Судостроение, 1980.