

Ю. Ю. БЕНУА, В. М. КОРСАКОВ

СУДА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

У. 0

330843

УЧЕБНЫЙ ОТДЕЛ

БИБЛИОТЕКА
Ленинград. Корпус-стр.
Института



ГОСУДАРСТВЕННОЕ СОЮЗНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ленинград

1962

В брошюре рассмотрены вопросы движения воздуха в воздушной подушке, как одного из новейших способов резкого повышения скорости хода судов, и описаны пути конструктивного совершенствования этой лодки.

Для лучшего понимания физической сущности воздушной подушки приводятся краткие сведения из современной теории сопротивления воды и воздуха движению судов обычного типа и судов на воздушных крыльях. Рассмотрены вопросы применения теории крыльев в гидроаэродинамике и судам нового типа. На данных рассмотренной лодки даны краткая классификация и общее описание современных и проектируемых судов на воздушной подушке; приводятся особенности управления и эксплуатации этих судов.

В брошюре рассказано о Фройдеке, который необходимо учитывать при постройке судов на воздушной подушке, и также рассмотрен путь дальнейшего развития и перспективы использования этих судов.

Кратко рассказано на примере круга судостроительной и металлургической промышленности развития водного транспорта в будущем.

ВВЕДЕНИЕ

История материальной культуры свидетельствует, что средства перенесения людей и грузов непрерывно совершенствуются. За относительно короткий исторический промежуток времени человек от лошади лошадиной и переместил грузы на собственных плечах перешел к сверхзвуковым самолетам и космическим ракетам.

Программа Коммунистической партии Советского Союза, принятая XXII съездом КПСС, указывает:

„Рост народного хозяйства требует ускоренного развития всех видов транспорта. Важнейшими задачами в области транспорта являются: расширение транспортно-дорожного строительства и полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения во всех видах перевозок; дальнейшее техническое перевооружение железнодорожного и других видов транспорта; значительное повышение скорости на железных дорогах, морских и речных путях...“¹

Для выполнения этой задачи необходимо использовать все новейшие достижения науки и техники при создании транспортных средств и охватывать широкие круги работников транспорта с современными направлениями в области повышения скорости движения транспортных средств.

История развития транспортных средств представляет собой одну из интереснейших областей знания, однако мы ограничимся рассмотрением перенесения только по поверхности воды. Но и эта область техники также весьма широка и поэтому мы вынуждены еще сузить круг вопросов, подлежащих рассмотрению. Речь будет идти главным образом о повышении скорости движения по воде и создании соответствующих транспортных средств.

Скорость является одним из важнейших факторов любого движения и развитие транспортных средств неразрывно связано с увеличением их скорости. Рост скорости передвигателя сокращает время нахождения в пути. Увеличение скорости доставки

¹ Материалы XXII съезда КПСС, стр. 373. Госкомиздат, 1961.

грузов повышает эффективность человеческого труда. Борьба за увеличение скорости движения и повышение экономичности стала одной из основных забот конструкторов транспортных средств.

Наибольших успехов в этом отношении добилась авиация. За последние 50 лет скорость самолетов выросла в 15—20 раз, тогда как скорость автомобилей увеличилась только в 4—5 раз, скорость железнодорожных поездов — всего лишь в 2—3 раза, а скорость судов — не более, чем на 50—60%.

Борьба за скорость и экономичность является главным стимулом развития существующих средств водного транспорта и вызывает к жизни новые способы перемещения по воде, основанные на новых принципах использования энергии, применении новых механических установок, новых материалов и т. д.

Водный транспорт, вследствие сравнительно медленного роста скоростей судов, а также бурного развития авиации, потерял ведущую роль в трансконтинентальных пассажирских перевозках. Так, например, в 1959 г. через Атлантический океан самолеты перевезли не менее 60—65% общего количества пассажиров, на долю же морских судов пришлось не более 35—40%.

Железнодорожный транспорт благодаря большим скоростям также успешно конкурирует с водным.

Для иллюстрации сказанного в табл. 1 приведены сведения о скоростях движения различных транспортных средств массового использования.

Из этой таблицы видно, что скорость хода самых быстродвижущихся трансокеанских лайнеров в 12 раз ниже скорости пассажирских самолетов-лайнеров.

В итоге многовекового развития транспорта самый древний и вместе с тем самый емкий по пассажиреместности и грузоподъемности его вид — водный сильно отстал от наземного и воздушного транспорта. Дело в том, что мощность механической установки вращающей судна¹ до определенного предела возрастает пропорционально кубу скорости хода, но после достижения определенной скорости должна возрастать пропорционально 4 и 5 степеням. Поэтому, даже* значительный (в несколько раз) прирост мощности, ставший возможным при использовании атомных энергетических установок, дает лишь сравнительно небольшое увеличение скорости. Несмотря на отставание в скоростях хода, по сравнению с другими видами транспорта, водный транспорт все еще остается самым экономичным средством передвижения. Себестоимость одного пасса-

¹ Водометодами вращаются судно, вращающее и движущееся в воде при условии, что его вес равен весу вытесненной судном воды.

Таблица 1

Скорости движения современных транспортных средств, км/час

Вид транспорта	Тип транспортного средства	Средняя скорость	Максимальная скорость
Наземный	Железнодорожный экспресс	100	до 200
	Автомобиль	около 45	до 90
	Легковые автомобили	около 60	до 200
Водный	Водометодами вращаемое судно: морские пассажирские лайнеры	60—65	70
	речные пассажирские лайнеры	около 25	30
	Газотурбинное судно	60	до 100
	Суда на подводных крыльях	60	до 150
Воздушный	Вертолеты	150—200	—
	Самолеты	800	3000
	Ракеты	—	более 3000

жиро-километра или тонно-километра при перевозках по воде меньше, чем при использовании других видов транспорта.

Однако положениями водного транспорта не столь безнадежно, как кажется на первый взгляд. Намечались новые, качественно отличные от существующих, пути роста скорости хода судов. Появились суда, движущиеся на подводных крыльях, на «воздушной подушке».

Эти новые принципы движения по воде весьма перспективны и открывают широкие возможности резкого увеличения скорости хода речных и морских судов. Конечно, не следует думать, что суда на подводных крыльях или на воздушной подушке смогут когда-либо догнать по скорости самолеты, но возможность перегнать железнодорожный и даже автомобильный транспорт для них — задача реально выполнимая.

Развитие движения на воздушной подушке (возможного и на суше), когда слой сжатого воздуха приподнимает транспортное сооружение над водой или над сушей и снижает сопротивление

движению, представляется особенно эффективным и многообещающим именно для водного транспорта. Ведь размеры судна не ограничены шириной колеи или шоссе и могут быть увеличены в очень широких пределах, тем более, что фактор сравнительной конструктивной простоты судна на воздушной подушке не исчезает при росте его размеров.

Развитию нового способа движения по воде во всех странах уделяется большое и непрерывно возрастающее внимание. За рубежом исследовательские работы проводятся в США, Англии, Канаде, Швейцарии и Франции.

Идея применения воздуха для уменьшения сопротивления воды движению далеко не нова. Решение этой задачи шло по нескольким направлениям.

Английский ученый-судостроитель Вильям Фруд в 1875 г. предложил создать между корпусом судна и омывающей его водой тонкую воздушную прослойку. По мысли Фруда это должно было значительно снизить сопротивление трения.

Первую попытку осуществить эту идею сделал в 1885 г. известный шведский инженер Густав Лаваль. Он построил опытный катер, на котором через множество отверстий в форштевень вдувался в воду сжатый воздух. По замыслу Лавали этот воздух должен был обволакивать тонким слоем обшивку. Однако опыт оказался неудачным и катер ожидаемой скорости не развил.

Последние исследования показали причины неудач Лавали. Оказалось, что воздушные пузырьки, выходя из отверстий (в обшивке, в форштевне и т. д.), не создают сплошную пленку вокруг судна с обычными оболочками, частично смешиваются с водой, образуя водо-воздушную эмульсию, частично же сразу выходят на поверхность воды. Поэтому судно омывается водой почти такой же плотности, как и обычно, и сопротивление трения практически не уменьшается.

Неудача не остановила Лавали. Он решил построить второй, более мощный катер, у которого слой нижележащего трения создавался за счет напора встречного потока воздуха. Знаменитый изобретатель динамита, миллионер А. Нобель, согласился финансировать работы Лавали. Интересно отметить, что Нобель финансировал Лавалио обратившись с предложением к русскому военно-морскому ведомству. Однако это обращение не дало никаких результатов. Смерть А. Нобеля вынудила Лавала прекратить постройку второго опытного катера.

Работы в области создания воздушной подушки временно заглохли.

Примерно через сорок лет знаменитый русский ученый и изобретатель К. Э. Циолковский опубликовал в Калуге свою работу „Сопротивление воздуха и скорый поезд“ (1927 г.). В этой работе Константин Эдуардович предложил новый при-

цип движения — движение на воздушной подушке, теоретически обобщая свое предложение. Он предложил оригинальную конструкцию бесколесных железнодорожных вагонов и новый тип строения пути.

К. Э. Циолковский писал: „Трение колеса почти уничтожается избытком давления воздуха, выходящего между полом вагона и плитой прилегающим к нему железнодорожным полотном. Необходима работа для закачивания воздуха, который непрерывно утекает по краям щели между вагоном и путем. Она невелика; между тем как поднятие сила может быть громадна; так, если действует сверхдавление в одну десятую атмосферы, то на каждый квадратный метр основания вагона придется сила в одну тонну. Это в пять раз больше, чем необходимо для легких пассажирских вагонов“.

На рис. 1 показан схематический чертеж вагона, предложенного К. Э. Циолковским. В полу вагона прослойку воздушные каналы 2, через которые выкачивается воздух, замыкающий все пространство между днищем вагона и поверхностью дорожного полотна. В этом пространстве образуется повышенное давление, вследствие чего возникает подъемная сила, под действием которой вагон приводится на несколько миллиметров и повышается над полотном пути. Так как воздух непрерывно вытекает через щели 6, то его необходимо непрерывно подкачивать. Для осуществления движения вперед используется реактивная тяга воздуха, засасываемого через отверстие 3 в передней стенке вагона и выходящего с большой скоростью из отверстия 4 в задней стенке. Реборды 7, установленные по боковым стенкам вагона, не дают ему сойти „с рельсов“. Наличие реборд уменьшает также утечку воздуха, поскольку они заставляют воздушный поток резко изменить свое направление, а следовательно, и уменьшают скорость истечения из щели 6. Для уменьшения сопротивления воздуха передней и задней стенкам вагона придана обтекаемая форма. Полотно пути может иметь различные профили поперечного сечения (см. рис. 1, а и б).

Выведенные К. Э. Циолковским в опубликованной в указанный работе зависимости между высотой подъема вагона, его весом и расходом энергии, легли в основу современной теории движения на воздушной подушке.

К идее уменьшения сопротивления трения движению судна в воде посредством создания тонкой воздушной пленки между корпусом судна и водой вернулись советский изобретатель М. Л. Лапшин (г. Горький), предложивший создавать воздушную пленку под судами с плоскими горизонтальными днищем (режиме баржи). В 1938—1937 гг. по предложению М. Л. Лапшина и других советских изобретателей и ученых ставились опыты, показавшие возможность уменьшить сопротивление трения плоских горизонтальных участков днища; однако эффект,

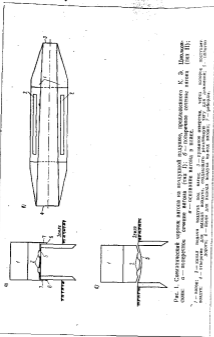


Рис. 1. Самоходный сорок анюв на воздушной подушке, предложенного К. Э. Цинковским (рис. 1); а — вариант сечения анюва (рис. 2); б — поперечное сечение анюва (рис. 3); в — сечение анюва в воде.

1 — корпус; 2 — передняя опора; 3 — задняя опора; 4 — полозья; 5 — обдуваемая воздушной подушкой поверхность; 6 — отверстие для выпуска воздуха; 7 — реборда.

получившийся при этом, не соответствовал затратам на усложнение конструкции корпуса барж и механической установки судов. Дальнейшего развития эти опыты не имели.

Следующим шагом вперед было использование идеи К. Э. Цинковского для создания толстой воздушной подушки.

Идея использования толстой воздушной подушки при движении по воде принадлежит профессору Новочеркасского политехнического института В. И. Левкову. Он начал разработывать принцип движения на воздушной подушке в 1927 г.; в 1934—1935 гг. по проекту В. И. Левкова была построена полноразмерные опытные катера, сразу же показавшие рекордные, до того времени неслыханные, скорости хода.

За границей в области создания толстой воздушной подушки начали работать значительно позже — в 1935 г. В частности, финский изобретатель Каарно пытался построить машину для движения по льду и снегу для доставки почты в отдаленные, бездорожные районы. Однако попытки Каарно дальше работ с моделью не продвинулись.

В 1940 г. идеей движения на воздушной подушке заинтересовались некоторые авиаконструкторы, стремившиеся устранить необходимость в дорогостоящих бетонных взлетно-посадочных дорожках на аэродромах. Для этого предполагалось заменить колесные шасси самолетов шасси на воздушной подушке. Предварительные опыты дали хорошие результаты, но начался второй мировой войны прервала работы. К этой идее вновь возвратились в 1950 г., поскольку значительно возросший к этому времени вес самолетов сделал ее еще более актуальной.

Возможность создания бесколесных самоходных экипажей заинтересовала и автомобильстов. В 1953 г. студент Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина — Г. Туркин построил модель бесколесного автомобиля, которая успешно испытывалась в Москве. К сожалению, ранняя смерть изобретателя прервала его работы.

За границей работы и исследования по созданию машин, движущихся на воздушной подушке, начались в 1957 г., получили довольно большой размах, обусловленный прогрессом ряда отраслей техники. Дело в том, что транспортные средства, движущиеся на воздушной подушке, будь то суда или наземные экипажи, могут быть созданы при условии применения только легких материалов и механизмов. В настоящее время промышленность уже в состоянии поставлять легкие, но достаточно прочные и долговечные механизмы, вентиляторы, конструктивные и отделочные материалы для корпуса и оборудования для служебных и пассажирских помещений.

Конечно, в области создания средств передвижения на воздушной подушке еще не все ясно, далеко не все частные

вопросы достаточно изучены и по ним еще не найдены наилучшие решения. Этим объясняется появление на свет большого количества самых различных опытных моделей на воздушной подушке, коренным образом отличающихся одна от другой по своему устройству. Часто из-за отсутствия достаточной теоретической базы опыты по созданию плавучих и наземных средств, движущихся на воздушной подушке, ведутся по принципу: „Сделаем и посмотрим, что из этого получится“.

История развития техники показывает, что область применения оригинальной новинки определяется далеко не сразу. Первое время после появления новинки из свет, ей иногда приспосабливают почти чудодейственные качества; эту новинку начинают применять где можно и даже там, где нельзя. Затем наступает период разочарований и ожесточенной критики, когда новинку из-за ошибок в эксплуатации и наличия некоторых недостатков, начинают несправедливо затирать и возвращаться к старому, привычному, надежно действующему техническому средству.

После некоторого, иногда даже довольно длительного, периода забвения „новинка“ снова становится объектом внимания, ею нее вспоминают, несколько совершенствуют. В результате этого она занимает, наконец, подобающее ей место и попадает в русло дальнейшего развития и совершенствования.

В капиталистических странах вокруг транспортных средств на воздушной подушке в настоящее время создан рекламный „бум“. Этому виду транспорта приписываются чудесные качества, которые невозможно обеспечить ни теперь, ни в ближайшем будущем, особенно в области движения по земной поверхности.

Нечто подобное было и при появлении вертолетов. Вначале предсказывалась замена вертолетами всех остальных видов транспорта. Однако с течением времени вполне отчетливо определилось, что вертолеты изрядно с положительными качествами обладают и существенными недостатками. Поэтому, заняв определенное положение среди транспортных средств, они в то же время не заменили ни самолет, ни автомобиль.

По-видимому, область применения судов на воздушной подушке в ближайшее десятилетие будут скоростные пассажирские и грузовые перевозки по рекам, закрытым водоемам и на маридах в пределах малого каботажа, т. е. на линиях сообщения между портами, расположенными на берегах одного и того же моря, например Таган — Рига, Клайпеда — Калининград или вдоль черноморских и каспийских берегов, а также работа в качестве паромов.

Сейчас трудно предсказать, через какое время выйдут из океанских просторов пассажирские суда нового типа, так как сложность обеспечения их надежности в повседневной эксплуатации будет весьма большой.

Новое не рождается без трудностей, неудач, а иногда и разочарований. Несмотря на это можно сказать с полной уверенностью, что судам на воздушной подушке предвостит большое и широкое будущее.

В предлагаемой брошюре приведены в сжатой форме теоретические основы, а также описаны конструктивные и эксплуатационные особенности судов на воздушной подушке.

Для иллюстрации приводятся описания некоторых строящихся и проектируемых судов (по зарубежным данным). Намечаются, по возможности, пути дальнейшего развития этого нового вида транспорта.

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ СКОРОСТЬ СУДНА?

Судно, как и всякое другое транспортное средство, для своего передвижения имеет механическую установку определенной мощности, роль которой в свое время играл ветер или мускулы человека. Расходуя энергию, механическая установка производит работу и перемещает судно. Для преодоления сопротивления воды и воздуха движению судна должен быть создан упор. Механизм, создающий упор (гребной винт, гребное колесо, водомет, парус, весло и т. д.), называется двигателем.

Энерговооруженностью E судна с механической установкой называется отношение мощности N механической установки к водоизмещению D судна. Условимся, что в дальнейшем будем рассматривать полное водоизмещение¹. Таким образом

$$E = \frac{N}{D} = \frac{A \cdot \omega}{m}.$$

Скорость хода судна возрастает с ростом мощности N механической установки и, следовательно, с энерговооруженностью. Скорость также зависит и от сопротивления воды и воздуха движению судна. Но в данном случае зависимость будет обратной, т. е. чем больше сопротивление движению, тем меньше скорость этого движения. Это положение очень важно, так как, найдя способ снизить сопротивление движению, мы сможем соответственно повысить скорость последнего, не меняя при этом мощности и, следовательно, энерговооруженности судна. Поэтому рассмотрим внимательно факторы, вызывающие сопротивление движению судна.

Прежде чем перейти к рассмотрению сил, из которых складывается сопротивление, отметим, что энерговооруженность судна, а следовательно, и скорость его хода могут быть повышены за счет облегчения веса корпуса и механизмов, когда для них применяются более прочные и легкие материалы, а также более совершенные конструкции.

Чем выше мощность механической установки судна, тем выше стоимость его постройки и эксплуатации. Отсюда следует,

¹ Полным водоизмещением судна называется вес водоизмещаемого судном с полным запасом, с боезапасом и грузом.

что соответственно будет повышаться и стоимость одного пассажиро- или тонно-километра.

Воздух и вода, омывающие движению судна. Поэтому полное сопротивление движению судна складывается из сопротивления воды и сопротивления воздуха.

Изучение сопротивления воды, проводившееся многими учеными в течение веков и особенно активно за последние сто лет, позволило сделать выводы, что полное сопротивление воды движению судна складывается из следующих элементов:

а) сопротивление трения воды об обшивку судна; этот вид сопротивления создается силами вязкости воды и существует при плавании на поверхности воды и глубоко под водой;

б) сопротивление волновой, возникающее вследствие образования волн с бортов и за кормой движущегося судна и создаваемое силами веса и инерции воды, начинающей двигаться под действием корпуса судна; эта часть полного сопротивления существует при плавании за поверхностью воды или неглубоко под ее поверхностью; для тел, двигающихся глубоко под водой, волновое сопротивление отсутствует;

в) сопротивление вязкое, или формы, образующееся вследствие возникновения вихрей за корпусом судна и создающееся, как и сопротивление трения, силами вязкости воды.

Общее сопротивление движению судна увеличивается за счет так называемых выступающих частей: рулей, артиллерийки, гребных валов и т. п. Их сопротивление у обычных судов доходит до 5—8%, а у быстроходных катеров — превышает 15% от полного сопротивления.

Прежде чем перейти к рассмотрению физической сущности каждого из перечисленных видов сопротивления, определим вначале условия равновесия судна, неподвижно плавющего на поверхности спокойной воды.

С одной стороны, на судно постоянно действует сила его веса, направленная вертикально вниз (рис. 2). С другой стороны, судно воспринимает своей погруженной в воду частью действие сил давления воды, сумма которых равна весу судна и направлена вертикально вверх. Вес судна и силы давления воды на судно (силы подержания) взаимно уравновешиваются.

Силы давления воды действуют на обшивку судна. На каждую единицу поверхности подводной части обшивки силы давления действуют по направлению, перпендикулярному этой поверхности, а по величине они пропорциональны погружению центра этой поверхности под уровень воды.

Сумма поддерживающих сил, равная весу судна, приложена в геометрическом центре подводной части судна, называемом «центром плавучести» (ЦП).

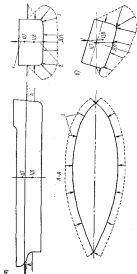


Рис. 3. Силы действия сил на подводные погружающиеся части: а — в трюм покатывая; б — при крене; в — при крене; г — при крене. 1 — сила тяжести судна, 2 — сила тяжести воды, 3 — сила тяжести воздуха.

В случае появления крена под действием внешней силы в воду входит с одного борта дополнительный объем, а с другого борта некоторый объем выходит из воды. В результате этого ЦТВ перемещается в сторону крена, тогда как точка приложения сил веса (центр тяжести судна) остается на прежнем месте. Возникает пара сил, направленных параллельно одна другой, но действующих в противоположные стороны. Эта пара стремится уравновесить кренящую силу только в том случае, если линия действия силы поддержания накренившегося судна пересекает диаметральной плоскости судна выше центра его тяжести. В противоположном случае, т. е. когда направление силы поддержания накренившегося судна пересекает диаметральную плоскость ниже центра тяжести судна, судно будет вращаться и кренящий момент будет увеличивать крен судна, грозя его опрокинуть. Указанные рассуждения пригодятся нам в дальнейшем, при рассмотрении вопросов устойчивости судов на волнующей поверхности.

Как только судно начинает двигаться, сейчас же появляются силы сопротивления и, в первую очередь, силы трения воды об обшивку. Эти силы направлены касательно к каждой точке поверхности (рис. 3). Сумма сил трения действует на всю подводную поверхность судна и называется сопротивлением трения, которое вычисляют обычно по формуле:

$$R_f = c_f \cdot S \frac{v^2}{2}$$

где c_f — коэффициент трения, зависящий от шероховатости обшивки, даны судна и скорости его движения; с увеличением скорости хода и длины судна величина c_f равномерно уменьшается;
 S — площадь подводной части обшивки судна — так называемая смоченная поверхность;
 v — скорость движения;
 ρ — плотность воды.

Механизм возникновения сил трения можно представить следующим образом. Частицы воды непосредственно соприкасающиеся с обшивкой судна, вследствие сцепления между ними и обшивкой, захватываются последней и движутся вместе с судном. Эти частицы благодаря вязкости воды увлекают соседние частицы воды, непосредственно с обшивкой уже не соприкасающиеся. Но эти новые частицы в силу инерции движутся несколько медленнее первых. Вторые частицы увлекают за собой третьи, которые также начинают двигаться, но еще медленнее и т. д. Наконец, на некотором расстоянии от обшивки движущегося судна вода остается практически неподвижной. Слой воды вокруг судна, в котором происходит постепенное падение скорости, называется пограничным слоем, в котором

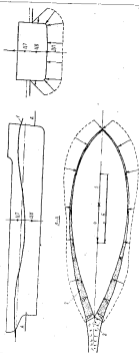


Рис. 3. Схема движения воды по движущемуся водоизмещающему судну.
 Г—профиль волны; 1—пограничный слой; 2—зона турбулентного трения; 3—зона вихреобразования; 4—зона вихреобразования; 5—зона вихреобразования.

возникают касательные силы трения из-за сдвига частиц воды одна относительно другой. Толщина пограничного слоя увеличивается по направлению от носа к корме.

Различают два вида движения воды в пограничном слое. На малых скоростях вода имеет место плановое, постепенное уменьшение скорости движения частичек воды по мере увеличения их расстояния от обшивки. При этом все частички движутся в одном направлении. Такое правильное их движение в пограничном слое называется ламинарным (т. е. слоистым).

Если скорость движения судна увеличить выше определенного предела, указанная правильность потока воды нарушается, сохраняясь только у самого форштевня. В слое, затравленном движением, отдельные частички перемещаются в разных направлениях и их скорость изменяется неравномерно. Некоторые частички не только не отстают от судна, а обгоняют его. Такое неупорядоченное движение водяных частиц называется турбулентным (т. е. вихревым).

Естественно, что затрата энергии на движение частиц в турбулентном потоке большая, чем в ламинарном, поэтому и величина коэффициента трения c_f при турбулентном обтекании выше, чем при ламинарном. У судов с обычными обводами подводной части, при практически встречающихся скоростях хода движение воды в пограничном слое, как правило, является турбулентным.

Переход к характеристике волновой и вихревой составляющих полного сопротивления воды, напомним некоторые следствия из гидродинамики.

В результате встречи движущегося судна с неподвижной водой возникает движение масс воды не только в пределах пограничного слоя, но и вне его. Это перемещение воды вызывает, в свою очередь, изменение сил давления воды на обшивку. Вокруг судна возникает понижение и повышение уровня воды и появляются волны (см. рис. 3). Движущееся судно возмущает поверхность воды вокруг себя. Созданные судном, сопровождающие его волны (система волн) по характеру расположения можно разделить на две группы: расходящиеся и поперечные.

Гребень расходящихся волн расположен под углом к направлению движения судна; при этом каждый последующий гребень несколько сдвинут в сторону от предыдущего. Гребни поперечных волн почти параллельны и перпендикулярны к направлению движения судна, они занимают пространство между расходящимися волнами правого и левого бортов, причем каждая поперечная волна замыкается парой расходящихся волн.

Судно на ходу создает своей носовой и кормовой оконечностями две группы расходящихся волн, причем волны,

создаваемые носовой оконечностью, крушение волн, возникающих за кормой (рис. 4).

Часть сил давления воды на обшивку, возникающих при образовании описанных выше волн, направлена в сторону, обратную движению судна; туда же направлены их равнодействующая, называемая волновым сопротивлением.

Интенсивное волнообразование вокруг идущего судна означает значительную затрату энергии и, следовательно, значительное волновое сопротивление. Поэтому, когда судно движется, «горделиво вздымая могучие волны», то следует с сожалением констатировать, что оно неудачно спроектировано и попусту неразумно расходует топливо.

На малых скоростях сопротивление создается главным образом расходящимися волнами. С увеличением скорости хода

величина поперечных волн возрастает и на их создание тратится все больше и больше энергии.

На все силы, нормально действующие на обшивку (т.е. направленные перпендикулярно к ней), вызваны волнообразованием. Часть нормальных сил возникает в результате образования подных вихрей в районе кормовой оконечности.

Как говорилось выше, пограничный слой утолщается по направлению к корме. Вслед-



Рис. 4. Схема волнообразования, возникающего при движении судна.

1 — носовые расходящиеся волны; 2 — поперечные поперечные волны; 3 — кормовые расходящиеся волны; 4 — кормовые поперечные волны.

ствие беспорядочности движения частиц воды в турбулентном пограничном слое образуются вихри, связывающиеся с корпусом в корме судна. За судном создается потухший поток, внутри которого жидкость находится в сложном вихревом движении. Поэтому вода, обтекающая судно за пределами пограничного слоя, не может сомкнуться за кормой судна, где находится область вихревого движения воды. Сила давления потока, проходящего из носовую часть судна, направленная в корму, оказывается больше силы давления на кормовую часть. Разница между этими двумя силами и составляет окреде сопротивление, или сопротивление формы. Сопротивление формы определяют опытным путем, измеряя распределение давления по смоченной поверхности судна, если движение не сопровождается волнообразованием (например, для полностью погруженного тела).

При наличии волнообразования результирующая измеренного давления равна сумме сопротивлений формы и волнового. Эта сумма называется остаточным сопротивлением. Такое

название возникло потому, что остаточное сопротивление может быть представлено как остаток от полного сопротивления воды после вычитания из него величины сопротивления трения. Остаточное сопротивление вычисляется по формуле

$$R_c = c_w \cdot S \frac{v^2}{2},$$

где c_w — коэффициент, зависящий от скорости, формы обводов подводной части и соотношении главных размерений судна (длина, ширина и осадка).

В результате лабораторных исследований определялся характер зависимости величины коэффициента c_w от относительной скорости.

В гидродинамике для облегчения сравнения ходовых качеств судов различных размеров введено понятие относительной скорости или числа Фруда,

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}},$$

где v — скорость хода, м/сек;
 L — длина судна, м;
 g — ускорение силы тяжести, м/сек².

Иногда число Фруда изображают в другом виде

$$Fr_1 = \frac{v}{\sqrt{gVB}},$$

где B — водовмещающее, м³.

Плотность подводной части судна сильно влияет на величину c_w . На рис. 5 показаны кривые зависимости $c_w = f(Fr)$.

Кривая I свойственна судам с волнистыми обводами, тогда как кривая II присуща судам, обладающим острыми обводами.

Отметим весьма важное обстоятельство, вытекающее из рассмотрения кривых на рис. 5; остаточное сопротивление достигает своего максимума при относительной скорости $Fr = 0,5-0,6$.

Сопротивление воздуха движению судна так же, как и сопротивление выступающих частей, состоит из сопротивления трения и вихревого. Для обычных судов величина сопротивления воздуха и выступающих частей не превосходит 5-10% от полного и пропорциональна квадрату скорости хода. Для скоростных судов сопротивление воздуха и выступающих частей играет уже более существенную роль в величине полного сопротивления.

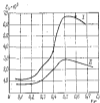


Рис. 5. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления от относительной скорости: I — для судов с волнистыми обводами; II — для судов с острыми обводами.

Полное сопротивление воды и воздуха движению судна может быть теперь представлено в виде

$$R = R_f + R_o + R_{\text{в.к.}} + R_{\text{в.а.}}$$

где R_f — сопротивление трения корпуса без выступающих частей;

R_o — остаточное сопротивление корпуса без выступающих частей;

$R_{\text{в.к.}}$ — сопротивление выступающих частей;

$R_{\text{в.а.}}$ — сопротивление воздуха.

Величина полного сопротивления движению судна не остается неизменной, а с увеличением скорости хода резко воз-

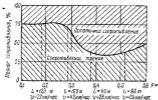


Рис. 6. Соотношение между остаточным сопротивлением и сопротивлением трения и зависимости от относительной скорости.

растает. При этом доля сопротивления трения и остаточного сопротивления в общем балансе сопротивления для судов разных типов резко различны (рис. 6). Изучая график на рис. 5 и 6, можно сделать следующие, весьма важные выводы:

1. На малых скоростях хода основную роль играет сопротивление трения. С ростом скорости значение остаточного сопротивления быстро возрастает и в конце концов оно становится основной частью полного сопротивления.

2. По мере роста скорости хода судна сопротивление воды его движению сначала возрастает примерно пропорционально квадрату скорости хода, но после того, как относительная скорость превышает величину $Vr = 0,25 - 0,3$, сопротивление движению начинает возрастать пропорционально третьей, а затем даже четвертой степени скорости. При относительных скоростях $Vr = 0,4 - 0,5$ наступает момент, когда даже незначительное при-

ращение скорости вызывает огромный рост сопротивления. Дальнейшее увеличение скорости для гражданских судов практически невозможно и экономически невыгодно. Военные корабли, для которых вопрос экономики не играет существенной роли, могут развивать несколько большие скорости.

Мы рассмотрели в кратком и общем виде зависимость сопротивления воды от скорости хода судна и перечислили составляющие полного сопротивления воды. Остается рассказать о том, как определяется величина сопротивления воды движению судна. Это нужно для лучшего усвоения способов определения сопротивления движению судов на воздушной подушке.

Величину сопротивления воды можно определить двумя способами:

1. Рассчитать по приближенным формулам и графикам, полученным на основании многочисленных лабораторных исследований и опыта плавания построенных судов.

2. Определить буксирной модели судна в опытовом бассейне и пересчетом полученных результатов с модели на натуру (для интересующего нас судна) основную часть величины сопротивления.

Второй способ более точен и поэтому он широко распространяется в практике судостроения.

Для правильного пересчета результатов модельных испытаний на натуру и выбора мощности механизмов, намеченных к установке, нужно знать масштаб пересчета, или, иначе говоря, «законы подобия».

В настоящее время законы подобия хорошо изучены и опытовые бассейны успешно пересчитывают результаты модельных испытаний на натуру. Для обеспечения необходимой точности пересчета нужно, чтобы условия модельных испытаний в бассейне обеспечивали полное соблюдение законов подобия. Справедливость такого требования вполне очевидна. Посмотрим, выполнимо ли это требование на практике?

Выше говорилось, что сопротивление воды движению судна является результатом действия двух систем сил — сил вязкости и сил веса и инерции. Оказалось, что эти системы сил подчиняются совершенно различным законам подобия, одновременное соблюдение которых в опытовом бассейне физически невозможно. Поясним это.

Для того чтобы достаточно точно пересчитать сопротивления трения, необходимо соблюсти для модели и натуре равенство так называемых чисел Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu},$$

где: v — скорость движения;

L — длина судна;

ν — коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Для пересчета же на натуру остаточного сопротивления модели необходимо соблюсти равенство относительных скоростей, или числа Фруда

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gR}}$$

На примере покажем несовместимость этих двух требований. Предположим, мы желаем испытать модель в масштабе 1:20. Полупито отметим, что это вполне реальный масштаб. Тогда при условии, что опыт проводится в обычной воде, для удовлетворения первого требования нужно, чтобы скорость модели v_1 была равна $20v_2$ (v_2 — заданная скорость судна). Ясно, что в условиях бассейна получить такую большую скорость нельзя.

Для удовлетворения равенства относительных скоростей, т. е. для выполнения второго условия, нужно добиться, чтобы скорость этой же модели равнялась $v_1 = v_2 \sqrt{0,05}$ или 0,22 v_2 , что вышеступно в условиях бассейна, но противоречит первому условию.

Для преодоления указанного противоречия модели испытывают в бассейнах, соблюдая законы подобия только для инерционных сил, или иначе законы динамического подобия; сопротивление трения моделей рассчитывают.

Полное сопротивление модели определяют во время буксировки в бассейне. Остаточное сопротивление, т. е. сумму волнового сопротивления и сопротивления формы модели получают, как разность полного сопротивления (среднего значения опыта) и сопротивления трения (полученного расчетом).

При пересчете с модели на натуру величину остаточного сопротивления умножают на куб масштаба. Полное сопротивление судна получают сложением определенное, как указано выше, остаточного сопротивления с сопротивлением трения, полученным расчетным способом для натурного судна.

Если испытывают модель без выступающих частей, то сопротивление этих частей определяют раздельно для рулей, кроющих гребных валов, шпел и т. д.

Воздушное сопротивление определяют на основе испытаний моделей надводной части корпуса, палубного оборудования, мачт и др. в аэродинамических трубах.

Практика проектирования водоизмещающих судов показала, что относительная скорость проектируемого судна является основной его характеристикой в гидродинамическом отношении.

Реальным направлением борьбы за скорость водоизмещающих судов оказался путь увеличения их линейных размеров и водоизмещения. Действительно, увеличив размеры судна, например, в два раза, мы увеличиваем его водоизмещение

в восемь раз и пропорционально можем увеличить мощность механизмов также в восемь раз, сохраняя энерговооруженность судна без изменений. В результате увеличение размеров судна сопротивление трения увеличится только в четыре раза, так как в четыре раза увеличится смоченная поверхность. Волновое сопротивление возрастет в еще меньшую величину, поскольку относительная скорость уменьшается в $\sqrt{2}$ раз, т. е. на 30%. Коэффициент остаточного сопротивления C_R , как видно на рис. 5, при относительных скоростях $Fr = 0,3 - 0,5$ при этом снижается почти в два раза. За счет избытка мощности скорость судна с увеличенными размерами и при той же энерговооруженности возрастет более чем в $\sqrt{2} = 1,26$ раза.

Мы видим, что в результате увеличения размеров растет рентабельность судна. Практика мирового судостроения подтверждает эти рассуждения: размеры и грузоподъемность грузовых судов непрерывно растут.

Верхним практическим пределом относительной скорости водоизмещающих судов нужно считать $Fr = 0,4$. В таком случае судам различной длины будут соответствовать следующие величины предельных скоростей хода, превышение которых трудно достижимо:

Длина судна, м	Предельная скорость, км/час ¹
30	28
45	29
60	32
100	45
150	54
200	65

Именно поэтому все быстрходные океанские суда имеют большие размеры. Только при увеличении их размеров можно снизить удельное сопротивление и добиться относительно низкой себестоимости перевозки пассажиров и грузов. Не лишне вспомнить, что все рекордные пароходы через Атлантику совершаются именно большими судами.

Размеры строящихся транспортных судов, в особенности судов для перевозки жидких и сыпучих грузов, быстро растут. При этом основной целью увеличения размеров является стремление повысить рентабельность судна за счет снижения его удельного сопротивления. Естественно, что размеры судов не могут расти беспредельно. Имеется рациональный предел.

¹ Скорость в узлах в 1,85 раза меньше.

зависший от грузопотока, ширины и глубины канала, глубины в портах, длины их причальной линии, возможностей докапитан и т. д. Создание очень больших грузовых судов рационально только для таких массовых грузов как нефтепродукты, зерно и т. п., грузовые операции с которыми высокопроизводительны.

Для речных судов обычного типа имеется еще и другое ограничение для повышения скорости: быстро движущееся по реке судно создает большую волну, вследствие чего возникает серьезная угроза для прибрежного населения, целостности берегов и прибрежных сооружений. Практически скорость хода больших речных судов не должны превышать 25—30 км/час. Подчеркнем, что положение справедливо только для водозмещающих судов.

Какими же путями в настоящее время пытаются преодолеть этот „барьер“ сопротивления, препятствующий значительному повышению эксплуатационной скорости гражданских судов?

Принципиально этот барьер можно преодолеть двумя способами:

1. Поднять судно при движении частично или полностью из воды, уменьшить его смоченную поверхность и снизить возмущение поверхности воды, создаваемое при движении, т. е. нужно уменьшать сопротивление волновое и трения.

2. Посушить судно над водой на такую глубину, при которой его движение практически не будет создавать волны на поверхности и волновое сопротивление будет ликвидировано.

Оба эти способа преследуют, по существу, одну и ту же цель — максимальное снижение сопротивления воды. Надо рассмотреть только первый способ, который известен уже давно и может быть осуществлен при помощи нескольких конструктивных решений. Второй способ, весьма интересный и заманчивый, теперь технически осуществим в связи с появлением мощных атомных энергетических установок, позволяющих подводным судам продолжительное время находиться под водой. Это создает реальную возможность строить подводные гражданские суда, скорость хода которых над водой значительно больше скорости надводных судов.

Для подъема судна на ходу из воды в настоящее время осуществлены три технических решения — постройка глиссеров, судов на подводных крыльях, судов на воздушной подушке.

Глиссеры отличаются от обычных водозмещающих судов наличием почти плоского днища (с небольшой килеватостью) и остроконечных поперечных сечений (рис. 7, а).

При достижении определенной скорости хода такие суда сильно дифференцируются на корму, их нос приподнимается из воды и они начинают скользить (глиссировать) по поверхности воды с резко повышенной скоростью (при этом ходовой дифферент снижается).

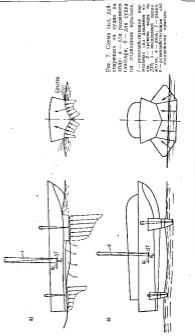


Рис. 7. Схемы гидроструи, действующей на судно на ходу: а — для речного глиссера, б — для судна на подводных крыльях, в — гидроподъемная установка судна на подводных крыльях, г — судно на воздушной подушке. 1 — киль, 2 — киль, 3 — киль, 4 — киль, 5 — киль, 6 — киль, 7 — киль, 8 — киль, 9 — киль, 10 — киль, 11 — киль, 12 — киль, 13 — киль, 14 — киль, 15 — киль, 16 — киль, 17 — киль, 18 — киль, 19 — киль, 20 — киль, 21 — киль, 22 — киль, 23 — киль, 24 — киль, 25 — киль, 26 — киль, 27 — киль, 28 — киль, 29 — киль, 30 — киль, 31 — киль, 32 — киль, 33 — киль, 34 — киль, 35 — киль, 36 — киль, 37 — киль, 38 — киль, 39 — киль, 40 — киль, 41 — киль, 42 — киль, 43 — киль, 44 — киль, 45 — киль, 46 — киль, 47 — киль, 48 — киль, 49 — киль, 50 — киль, 51 — киль, 52 — киль, 53 — киль, 54 — киль, 55 — киль, 56 — киль, 57 — киль, 58 — киль, 59 — киль, 60 — киль, 61 — киль, 62 — киль, 63 — киль, 64 — киль, 65 — киль, 66 — киль, 67 — киль, 68 — киль, 69 — киль, 70 — киль, 71 — киль, 72 — киль, 73 — киль, 74 — киль, 75 — киль, 76 — киль, 77 — киль, 78 — киль, 79 — киль, 80 — киль, 81 — киль, 82 — киль, 83 — киль, 84 — киль, 85 — киль, 86 — киль, 87 — киль, 88 — киль, 89 — киль, 90 — киль, 91 — киль, 92 — киль, 93 — киль, 94 — киль, 95 — киль, 96 — киль, 97 — киль, 98 — киль, 99 — киль, 100 — киль.

Мы уже говорили, что давление судна вымывает давление масс воды вокруг него не только в пределах пограничного слоя, но и вне этого слоя. Перемещение масс воды изменяет силы давления воды на обшивку. Естественно, что изменение сил давления (нормальных сил) вызывает и изменение их равнодействующей, т. е. силы поддержания. При малых скоростях движения судна точка приложения равнодействующей сил поддержания смещается несколько в корму. Из-за этого носовая оконечность садится глубже, а судно, как говорят, дифферентуется на нос. Однако по мере возрастания скорости хода, точка приложения равнодействующей сил поддержания постепенно перемещается в нос, а равнодействующая увеличивается за счет возникновения гидродинамического плавора на носовую часть днища. Судно начинает садиться на корму и, вместе с тем, подниматься из воды тем больше, чем больше скорость хода. Это явление можно видеть при движении быстроходных катеров.

Плоское днище, по сравнению с круглоскулым, резко увеличивает гидродинамические силы поддержания. При круглоскулых обводах гидродинамические силы поддержания могут даже вовсе не появиться.

Чтобы снизить еще и сопротивление трения на днище глиссера делают уступы — реданы. Глиссер с реданами скользит по воде, опираясь на нее лишь сравнительно короткими участками днища. В промежутках между этими участками попадает воздух и вследствие этого дополнительно снижается площадь смоченной поверхности. Поэтому сопротивление трения глиссирующего судна составляет лишь небольшую часть полного сопротивления.

Глиссирующие суда из-за их сравнительно малой мореходности не получили применения для транспортных целей. Повысить мореходность глиссирующих судов, не снижая их ходовых качеств, практически невозможно, так как, двигаясь с большой скоростью по воде, глиссеры испытывают (и не могут не испытывать) сильные удары волн о днище. Море для глиссера можно уподобить ухабистой булыжной мостовой, а сам катер — быстродвижущийся по этой мостовой тележки без ресор. Снижения силы ударов можно достичь за счет увеличения килеватости, но это увеличивает сопротивление движению.

Таким образом, глиссеры могут быть использованы в море только в относительно тихую погоду. На малых реках использование глиссеров по меньшей мере нежелательно из-за большой волны, поднимаемой ими на полном ходу и разрывающей и заливающей берега.

Суда на подводных крыльях отличаются от водомонящих судов и глиссеров тем, что их корпус полностью или почти полностью выходит из воды, в результате чего резко снижаются величины сопротивлений трения и волнового. Подъем такого

судна из воды на ходу доблится установкой под корпусом подводных крыльев. Такие крылья, подобные крыльям самолетов, прочно соединены с корпусом, по мере увеличения скорости хода развивают все большую и большую подъемную силу; судно постепенно выплывает из воды и в конце концов полностью выходит из нее. Сопротивление воды движению судна резко падает по величине и состоит, в основном, из сопротивления подводных крыльев и поддерживающих их стоек, а также сопротивления других выступающих частей.

Впервые судно на подводных крыльях было предложено русским изобретателем С. А. де-Ламбертом в 1881 г. Однако практическое осуществление этой идеи получило только в середине текущего столетия, когда развитие авиации подготовило теоретические и практические основания для движения на подводных крыльях.

Пионером в области разработки теории и постройки крылатых судов оказался Советский Союз, обладавший в настоящее время самыми многочисленными флотом судов на подводных крыльях. Теплоходы типа "Ракета", "Метеор" и др. широко известны во всем мире и являются предметом экспорта из СССР за границу.

Мореходность судов на подводных крыльях выше, чем мореходность глиссеров. Сейчас этот вид транспорта применяется в основном на реках, поскольку движение по взволнованной поверхности пока еще вызывает известные трудности, которые нужно преодолеть. По сравнению с глиссерами крылатые суда при использовании их на реках обладают несомненными преимуществами — большой скоростью и малым водоизмещением. Но наряду с положительными качествами суда на подводных крыльях обладают и общим с глиссерами недостатком. Дело в том, что для выхода глиссера на режим глиссирования, а судна на подводных крыльях — из воды, необходима значительная скорость, а следовательно, большая энерговооруженность. При этом, вследствие специфичности подводной части корпуса глиссера или из-за наличия подводных крыльев, сопротивление движению таких судов на докритических скоростях¹ значительно больше сопротивления движению обычных судов такого же водоизмещения и при тех же скоростях хода. Машинная установка глиссера или судна на подводных крыльях должна обеспечивать на малом ходу развитие значительного упора для преодоления так называемого "буффа сопротивления". Эти суда не обладают режимом экономичного малого хода. Однако их привязанное отличие от водомонящих судов

¹ Докритической скоростью называется скорость тех плавающих переднего режима, когда судно еще не вышло на режим глиссирования или же поднялось над водой при движении на крыльях.

заканчаться в том, что дальнейшее, хотя бы и незначительное, увеличение скорости водонезаменяющих судов приводит к резкому росту сопротивления и требует очень большого увеличения мощности главной установки, а на глиссерах и судах с подводными крыльями увеличение скорости за пределы критической приводит к выходу на рекал или полному выходу из воды и вследствие этого к резкому увеличению сопротивления и замедлению роста скорости хода.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод: энерговооруженность глиссеров и крылатых судов должна быть доста-

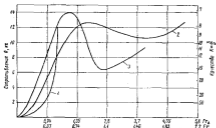


Рис. 8. Сопротивление движению моделей:

1 — подводное судно; 2 — глиссер; 3 — судно на подводных крыльях.

точно высокой, чтобы обеспечить выход на рекал или из воды.

На рис. 8 приведено сравнение кривых сопротивления трех моделей весом по 100 кг: водонезаменяющего судна, глиссера и судна на крыльях. Справа показано так называемое качество моделей K , т. е. отношение веса модели D к сопротивлению ее движения R . Обращает на себя внимание характерный бугор на кривой сопротивления движению судна на подводных крыльях, соответствующий моменту выхода его из воды. После преодоления этого бугра сопротивление движению резко падает.

Корпус судна на воздушной подушке поддерживается над поверхностью воды вследствие созданного под ним слоя воздуха, который с одинаковой силой давит на днище судна и на поверхность воды под судном. Сопротивление трения у этих

судов почти отсутствует, за исключением трения погруженных в воду выступающих частей (если таковые имеются) и трения воздуха о днище.

Отсутствие сопротивления трения позволяет увеличивать площадь днища и уменьшать нагрузку на единицу поверхности воды (так называемую удельную нагрузку). При этом снижается осадка судна, когда оно плавает в воде неподвижно или движется медленно, и уменьшается возмущение той части водной поверхности, на которую действует давление воздушной подушки, а следовательно, уменьшается и волновое сопротивление; барьер волнового сопротивления, достигший своего максимума при $Fr=0,5-0,6$ (см. рис. 5), легко преодолевается; возможно использовать явление снижения волнового сопротивления, наступающее при $Fr=0,7$ и более.

Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что преодоление бугра сопротивления при значениях $Fr=0,5-0,6$ возможно только при малых удельных нагрузках на воду. Если попытаться построить судно на воздушной подушке, применяя для него тяжелые (стальные) судостроительные материалы и конструкции, то осадка такого судна будет большой, т. е. не менее 2—3 м. Волновое сопротивление получится значительным, достижение большой скорости делается неразрешимой задачей.

Эти вопросы будут освещены подробнее ниже. Здесь отметим только, что основные составляющие сопротивления движению судов на воздушной подушке следующие: волновое сопротивление воздушной подушки (а не судна); сопротивление выступающих частей, частично погруженных в воду; воздушное сопротивление; сопротивление потери импульса; сопротивление от забрызгиваемости водой.

На создание самой подушки затрачивается значительная энергия и мощность, воздушная двигательная установка составляет всегда более 50% от мощности всей силовой установки.

Все основные составляющие сопротивления судов на воздушной подушке изменяются пропорционально квадрату скорости хода, за исключением волнового сопротивления, которое уменьшается после того, как относительная скорость превышает значение $Fr=0,6-0,7$.

Несколько слов о двигателях. Средствям водного транспорта приходится использовать двигатели, создающие упор. Двигатели придают ускорение среде, в которой они действуют. Это вызывает реактивное давление среды на судно.

Наиболее распространенным видом двигателя является гребной винт. До скоростей, примерно, 100 км/час гребные винты обладают относительно высоким коэффициентом полезного действия. Однако их крупным недостатком является необходимость достаточно глубокого погружения под воду.

С целью уменьшения габаритной осадки на судах с подводными крыльями стали применять частично погруженные винты. Ступица такого винта находится над уровнем воды, а лопасти попеременно входят в воду и производят полезную работу. Отметим, что хотя скоростные рекорды завоевывались глиссерами с частично погруженными винтами, все же последние еще мало изучены.

Известное распространение получили водометные движители, применяемые, главным образом, на судах, плавающих в условиях мелководья. Так как водометные движители расположены внутри корпуса, то обычно считается, что эти движители хорошо защищены от навигационных опасностей. Однако опыт показывает, что при плавании на мелководье, потоком воды, засасываемой движителем, захватывается много гальки, песка и даже мелких камней. В результате детали движителя быстро изнашиваются и он выходит из строя.

Воздушные движители на водном транспорте пока не получили широкого использования из-за некого к. п. д. при существующих на воде скоростях. Поэтому они применяются лишь на малоскоростных глиссерах и на ряде опытных катеров. В ВМФ США воздушные винты устанавливались на кораблях противолодочной и противоминной обороны, поскольку обычные гребные винты вздымают подводный шум и этим демаскируют корабль для подводных лодок и подвергают их действию оружия с акустическими торпедоносцами.

Наконец, для движения по воде применяются воздушнореактивные авиационные двигатели (турбореактивные двигатели — ТРД). Однако они совершенно непригодны для использования на водозаменяющих судах и могут быть рекомендованы только в виде ускорителей для кратковременного повышения скорости.

В заключение следует подчеркнуть, что удачный выбор вида движителей и их характеристик в значительной степени предопределяет успех в борьбе за скорость судна. Даже установка мощные и легкие главные механизмы, обеспечивающие минимальное сопротивление движению, можно из-за неудачно выбранного движителя получить низкую скорость хода.

ВОЗДУШНАЯ ПОДУШКА И СПОСОБЫ ЕЕ СОЗДАНИЯ

Выше неоднократно упоминались термины воздушная подушка, говорилось о судах на воздушной подушке, указывалось даже на некоторые свойства и качества последней, но о сущности воздушной подушки сказано не было.

Воздушная подушка есть слой сжатого воздуха, специально поддерживаемого под днищем судна для отбегания последнего от воды. Такое определение понятия воздушной подушки достаточно полно и четко характеризует физическую сущность явления. Судно, находящееся на воздушной подушке, отделяется от поверхности воды и как бы парит над ней.

Конечно, воздух непрерывно выходит из-под днища и поэтому его столь же непрерывно нужно подкачивать, с тем чтобы под днищем судна сохранялось постоянное давление. Количество подаваемого под днище воздуха и система его подачи зависят от конструкции судна, в особенности от привода для каждого данного случая способа создания воздушной подушки, желаемой высоты подъема над поверхностью воды и т. д. и может колебаться в довольно широких пределах.

Во введении было уже сказано, что экспериментальные работы по уменьшению сопротивления велись как по пути создания тонкой воздушной пленки, обтекающей водозащитную часть корпуса судна, так и по пути образования толстой воздушной подушки-прослойки между днищем судна и поверхностью воды.

Казалось, что создание тонкой воздушной пленки было более простым делом. Для этого не требовалось никакого изменения формы судовой корпуса, создания каких-либо новых механизмов, новых материалов, приборов и т. д. Дополнительно к обычной судовой силовой установке нужно было разместить лишь компрессор низкого давления для подачи сжатого воздуха и устроить отверстия в обшивке. На некоторых моделях не предполагали даже ставить компрессор, а воздух подкачивали к соплам силой естественного аэродинамического напора, возникающего при движении судна. Форма сопел должна была обеспечивать

пониженное давление на выходе из корпуса при помощи специальных конусов или других устройств.

Однако такой оригинальный способ создания воздушной пленки оказался неэффективным. Неэффективными оказались и другие попытки создать воздушную пленку. Таким образом, идея создания устойчивой тонкой сплошной газовой пленки вокруг подводной части судна остается неосуществленной и течение почти 80 лет.

Следует подчеркнуть, что этот способ позволяет снизить только сопротивление трения и, следовательно, мог дать известный эффект лишь на малых скоростях движения, когда сопротивление трения составляет основную часть полного сопротивления. На больших скоростях куда важнее уменьшить сопротивление трения, а значит и создание тонкой пленки, резко снижается, так как основную роль в полном сопротивлении играет уже сопротивление волновое, а не трения.

В настоящее время работы ведут, главным образом, по другому направлению — по пути создания толстой воздушной прослойки между водой и днищем судна.

Этот путь оказался более плодотворным и поэтому он почти сразу же получил практическое применение. При этом единственным пока реально осуществимым способом подачи воздуха оказалась работа вентилятора, забирающего воздух из атмосферы и нагнетающего его под днище. Этот способ стал развиваться лишь в последние годы и поэтому необходимым для его освоения экспериментальные работы еще далеко не закончены. Однако еще до окончания лабораторных исследований и теоретических обобщений, проектируются и строятся первые опытные пассажирские суда на воздушной подушке и машины (аппараты) индивидуального пользования такого же типа.

Нагнетаемый под днище воздух с одинаковой силой давит как на днище, так и на воду, находящуюся под судном. В результате этого давления судно поднимается над поверхностью воды, а уровень последней несколько опускается. Образуется так называемое подднищевое пространство. Если днище имеет ограждение, погруженное в воду и не выходящее из воды после подъема судна на подушку, то истечение воздуха из-под днища не происходит. Понижение уровня воды по величине соответствует статическому давлению воздуха в подкулольном пространстве (рис. 9). Если же воздух может выходить из-под днища, то вод давлением также образуется водяная чаша (или ложбина — в зависимости от формы периметра днища), но по краям днища вырывающейся на-вод него воздух создает брызги и против мест истечения создается водяной валик (рис. 5, 6). В этом случае судно приподнимается над дном водяной чаши, глубина которой в соответствии давлению воздуха под днищем судна,

Очевидно, что в зависимости от количества подаваемого под днище воздуха судно может быть поднято над водой на различную высоту H . Чем больше подача воздуха, тем больше высота подъема или, как говорят, тем полнее отрыв судна от воды.

При увеличении подачи воздуха зазор между периметром днища и уровнем воды, становится недостаточным; в подкуло-

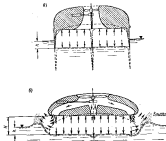


Рис. 5. Судно на воздушной подушке по мере становления (приспособлено по положению судна при неработающем вентиляторе): а — положение при отсутствии истечения воздуха (50% отрыва от воды); б — положение при истечении воздуха по периметру днища (полный отрыв от воды).

ном пространстве давление повышается, судно поднимается выше над водой и тогда зазор увеличивается, а давление в подкулольном пространстве несколько падает до величины, уравновешивающей вес судна, т. е. до равновесного положения. Определенному расходу воздуха соответствует определенная высота подъема.

Следует отметить, что не во всех случаях такое положение равновесия устойчиво и не всегда судно спокойно парит над поверхностью воды. При определенных соотношениях подачи воздуха, характеристик вентилятора, объема подкулольного пространства и веса судна могут возникнуть вертикальные колебания и судно будет периодически подниматься, опускаться

и двигаться, как бы подпрыгивая. Во набегание этого вала-ния изменяют количество подаваемого под купол воздуха.

От степени отрыва судна от воды зависит и величина сопротивления движению судна на воздушной подушке по воде. Поэтому суда, плавающие на воздушной подушке, можно разделить на три категории: с полным отрывом, с частичным отрывом и без отрыва от воды.

Суда с полным отрывом от воды

Двище такого судна после подъема на воздушную подушку по всему своему периметру не соприкасается с водой ни на стоянке, ни во время движения (за тлзой воде); высота подъема (или толщина воздушной подушки) больше глубины водной чаши. Такие суда (машины) могут выйти на берег и способны двигаться над землей.

Расход энергии на подъем и движение судов этой категории распределяется следующим образом: на поддержание судна во взвешенном состоянии, т. е. на создание воздушной подушки затрачивается 60—70% общей мощности; оставшаяся часть идет на преодоление сопротивления движению, которое имеет следующие составляющие: волновое сопротивление воды (воздушной подушки); воздушное сопротивление; сопротивление потери импульса; сопротивление от забрызгивания.

Последние два компонента являются особенностью, присущей только судам на воздушной подушке. Рассмотрим физическую сущность этих новых факторов сопротивления.

Воздух, забираемый вентилятором для создания воздушной подушки, попадая в воздухопроводы, а затем в подкупольное пространство, приобретает скорость самого судна или ниже — теряет импульс встречного потока. На потерю импульса затрачивается энергия: $E = Qv^2$, где Q — объем воздуха, засасываемого в секунду, v — плотность воздуха и v — скорость движения.

Энергия, затрачиваемую на преодоление потери импульса, можно частично компенсировать, если воздуховыводники будут исползовать скоростью лавор встречного потока. Для этого лужко вентилятор установить так, чтобы воздуховыводник своей плоскостью стоял навстречу движению на переднем ходу. В этом случае мощность воздуховыводниковой установки может быть соответственно снижена.

Сопротивление потери импульса может быть также уменьшено, если воздух, выходящий из подкупольного пространства по периметру, будет направлен в корпус. Возникает реактивная тяга, снижающая или даже полностью компенсирующая сопротивление потери импульса, которым пренебрегать ни в коем

случае нельзя, так как у судов с большим подъемом над водой оно доходит до 50% от полного сопротивления.

Сопротивление от забрызгивания по своей физической сущности аналогично сопротивлению потери импульса. Воздух, вырывающийся из подкупольной части, а также струйки воздуха, направленные вниз, по дну водной чаши под куполом судна усиливают брызгообразование. Брызги, в основном, на корпус не попадают, но часть их ударяется об обшивку и, соприкасаясь с ней, теряет свой импульс, что создает дополнительное сопротивление. Особенно большая забрызгаемость бывает на малых скоростях хода. При увеличении скорости хода забрызгаемость заметно снижается и соответственно снижается сопротивление от забрызгивания, становясь пренебрежимо малым.

Суда с частичным отрывом от воды

Двище судна этого типа после подъема на подушку находится ниже уровня невозмущенной воды во время стоянки. Высота подъема менее глубины водной чаши. Воздух выходит из-под купола по всему периметру. При выходе на берег судно может двигаться над землей, находясь на высоте, равной высоте подъема над дном водной чаши. 30—40% энергии расходуется на создание воздушной подушки и 60—70% — на преодоление сопротивления движению, которое имеет следующие составляющие: волновое сопротивление воды (воздушной подушки); водное сопротивление воды движению погруженных в воду частей; воздушное сопротивление; сопротивление потери импульса; сопротивление от забрызгивания.

Значение последних двух компонентов несколько ниже, чем у судов с полным отрывом от воды, поскольку на судах с частичным отрывом от воды удельный расход воздуха меньше.

Суда без отрыва от воды

Толщина воздушной подушки у судов третьей группы меньше, чем в первых двух случаях и в пределе она приближается к толщине воздушной прослойки. Некоторые части корпуса находятся ниже дна водной чаши, как показано на рис. 9, а. Количество подаваемого под купол воздуха у этих судов еще меньше, чем у судов второй группы. Главной отличительной чертой судов этого типа является ограниченный выход воздуха из-под купола на стоянке и на ходу. В зависимости от деталей конструкции днища судна воздух может выходить лишь в некоторых определенных местах. Над землей суда третьей группы двигаться не могут из-за недостаточной высоты подъема над твердой поверхностью. При малейшем резерве мощности

вентиляторной установки некоторые суда этой группы смогут выходить на берег, используя полную мощность вентилятора. По-видимому, они найдут себе применение на реках, где не бывает заметного волнения и для устойчивого движения не требуется значительного подъема над поверхностью воды.

Сопротивление движению таких судов складывается из следующих составляющих: волновое сопротивление воды (воздушной подушки); полное сопротивление воды движению погруженных в воду выступающих частей; полное сопротивление воды движению погруженных в воду частей корпуса; воздушное сопротивление.

Сопротивление от потери импульса и от забрызгивания у судов этой группы незначительно (но только при условии, что в качестве ограждения воздушной подушки в носу и в корме не применяются воздушные и водяные завесы, о которых рассказано ниже).

Несмотря на широкое разнообразие конструкций строящихся в настоящее время судов и аппаратов на воздушной

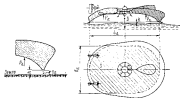


Рис. 10. Схема судна с общей воздушной камерой.

подушке их можно объединить в пять типов, отличающихся один от другого схемой создания подушки.

Тип первый. К этому типу относятся суда с общей воздушной камерой. На рис. 10 показана схема устройства такого судна. Воздух нагнетается вентилятором под лопну, имеющее форму опрокинутого блюдца или корыта. Из-под купола воздух может выходить либо во всему периметру днища равномерно, либо он

выпускается в определенных местах и в зависимости от принятой конструкции и формы стенок корпуса.

Эта схема была предложена профессором Новочеркасского политехнического института Левковым, прототипом создания судна на воздушной подушке.

К числу аппаратов первого типа можно отнести и один из опытных аэромобилей, выпускаемых фирмой „Кертас Райт“ под маркой „Эйркар 2500“. Эта машина обладает большой проходимостью и может двигаться по воде и земле. На рис. 11 эта машина показана во время испытаний на воде.



Рис. 11. „Эйркар 2500“ на воде со скоростью около 50 км/час.

По этой же схеме другой фирмой строится для корпуса морской пехоты США опытный десантный катер (рис. 12).

Для увеличения высоты подъема и повышения проходимости на этих машинах по контуру днища установлены эластичные резиновые „лобы“. Установка лобов на аэромобиле „Эйркар 2500“ увеличивает высоту подъема от 100 до 300 мм. Весомые, габаритные и эксплуатационные характеристики этих машин приведены в приложении. Рассмотрение этих характеристик показывает, что по скорости и в экономическом отношении „Эйркар 2500“ значительно уступает обычному легковому автомобилю, но аэромобиль как машина на воздушной подушке уже сейчас имеет неоспоримое преимущество — всеядность и возвышенную маневренность. Аэромобиль может двигаться в боковом направлении, как вращ, преодолевать болота и т. п., чего не в состоянии делать ни одна колесная или гусеничная машина.

В дальнейшем эти машины будут, очевидно, снабжаться обычными колесами с приводом от моторов. Тогда аэромобиль

на обычных дорогах сможет двигаться на колесах, приближаясь по скорости к автомобилю.

Питание воздухом подушки на судах первого типа можно осуществлять по нескольким вариантам. Например, на некоторых судах поддувальное пространство разделено на четыре части переборками и захлопками. Воздух можно подавать равномерно во все четыре отсека сразу или по выбору водителя в разном количестве в разные отсеки (рис. 13). Этот вариант схемы питания называется четырехотсечным, так как судно

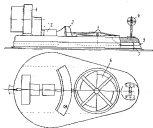


Рис. 12. Десятилопастный винт для вертолета США.

1 — лопастное аэроупорное устройство; 2 — лопасти; 3 — лопасть управления; 4 — лопастное устройство; 5 — лопасть управления; 6 — лопасть управления; 7 — лопасть управления.

поддерживается на воде как бы в четырех точках. Преимуществом четырехотсечной схемы является большая гибкость управления.

Регулирование истечения воздуха из-под днища можно также производить различными способами.

1. Воздух имеет возможность выходить равномерно по всему периметру днища. Этот способ конструктивно наиболее прост, но зато и неэкономичен, так как требует огромных расходов воздуха для создания достаточной высоты подпора, особенно при движении по волне.

2. Истечение воздуха по бортам ограничено постановкой бортовых выдув или плавучестей.

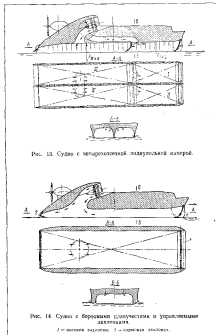


Рис. 13. Судно с четырехотсечной поддувальной камерой.

Рис. 14. Судно с бортовыми дулоушастыми и управляемыми выдушками.

1 — выдушка поддушки; 2 — управляемая выдушка.

3. Истечение воздуха ограничено по бортам и, кроме того, в носу и корме при помощи управляемых жестких или эластичных заслонок или искусственно создаваемой завесы, ограничивающей выход воздуха из-под купола.

Все эти способы имеют целью поднять днище над водой как можно выше с минимальной затратой энергии. Некоторые из перечисленных способов ограничения выхода воздуха из-под купола показаны на рис. 14—17. В частности, на рис. 17 показан опытный катер „ХИС-1“, у которого выход воздуха с бортов ограничен бортовыми подкамами, а в носу и корме — водяными завесами.



Рис. 15. Подводящая завеса, ограничивающая выход воздуха в боковой части.



Рис. 16. Завесочная завеса, ограничивающая выход воздуха в носовой части.

Тип второй. К этому типу относят суда и машины с подачей воздуха под днище через кольцевые сопла, расположенные по периметру (рис. 18). Воздушные струи обычно направляются к центру машины. Выходя из сопел, воздух встречает экран (воду или землю) и поэтому вынужден изменить направление своего движения. При этом возникают центробежные силы, и под днищем создается повышенное давление. Обычно такие суда и машины имеют два ряда concentrically расположенных сопел. Такая конструкция обеспечивает устойчивость машины.

Примером машины второго типа может служить построенный в 1969 г. фирмой „Саундерс-Ро“ опытный катер „СР-№ 1“, или так называемый „Ховеркрафт“.¹ Высота парения этой машины над твердой поверхностью колеблется в пределах 150—300 мм. На рис. 19 показан чертеж машины с подробной экспланкацией.



Рис. 17. Опытный катер „ХИС-1“.

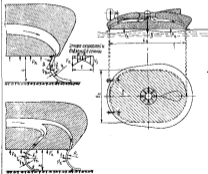


Рис. 18. Схема судна с соплами, расположенными по контуру днища.

¹ „Ховеркрафт“ в переводе на русский язык означает парящая машина.

Для движения этой машины использована реактивная сила сжатого воздуха, поступающего от вентилятора, одновременно подающего воздух и под дышло для создания поддувки. Максимальная скорость хода катера вначале достигала 40 км/час, а затем для увеличения тяги был установлен турбореактивный двигатель и скорость увеличилась до 90 км/час. В связи с увеличением веса машины из-за установки дополнительного двигателя и другого оборудования для сохранения высоты подъема вокруг козырька онега были установлены упругие юбки.

Другая машина второго типа была построена также в Англии фирмой „Бриттен-Норман“ и названа „Кушнкрафт“¹. Она проектировалась и строилась для перевозки бананов в Африке от берега к судам, стоящим на рейде, с тем чтобы не прибегать к перегрузке у берега, как это требовалось бы при использовании обычной грузовой автомашины и грузового катера или лангера.

Грузоподъемность машины составляет 1 т. На ней установлен автомобильный мотор мощностью 170 л. с., приводящий в движение вентилятор и два воздушных вента регулируемой шага, обеспечивающих движение машины и подлежащую ее маневренность.

Оригинально разрешена передача воздуха от вентилятора к козырькам онега. Этот вопрос для машин второго типа является одним из самых сложных. Конструктор поступил весьма остроумно — он полностью устранил воздухопровод, приняв очень большой диаметр рабочего колеса вентилятора. На рис. 20 видно, что лопатки вентилятора помещены непосредственно в сошлах; это значительно уменьшило к. п. д. вентиляторной установки в целом. Такое решение задачи возможно только для маленьких машин. На рис. 21 машина показана на ходу.

Во время испытаний выяснилось, что наряду с достаточной проходимостью и маневренностью „Кушнкрафт“ обладает и недостатками. Например, большой диаметр рабочего колеса вентилятора вызывает гироскопический эффект, влияние которого устранили дополнительными установками воздушного руля. Кроме того, проскальзывала фрикцион, сцепляющий колесо вентилятора с ведущим колесом. Пришлось искать новый материал вместо обычного ферида. К концу 1960 г. машина имела всего лишь 17 ходовых часов и в эксплуатацию передана не была.

Свою схему можно применять в комбинации с устройством, ограничивающим истечение воздуха, подобно применяемому в машинах с общей камерой. На рис. 22 показан опытный катер, у которого выход воздуха в бортоу ограничен клапанами, а в носу и в корме — воздушной завесой. Аналогичную конструкцию имеет катер, показанный на рис. 23.

¹ „Кушнкрафт“ в переводе означает воздушная лодка.

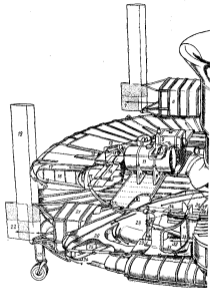


Рис. 19

1 — электродвигатель; 2 — вентилятор; 3, 4, 5 — воздушные каналы для отвода воздуха; 6, 7, 8, 9 — воздушные патрубки системы ВРД; 10, 11 — воздушный руль; 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 — система, соединяющая в турбине управление клапанами гидродвигателя для подачи воздуха под камеру онега через два воздушных онега; 20 — система автоматического возврата; 21, 22, 23, 24 — система связи турбины с турбиной; 25 — система подачи воздуха в систему ВРД; 26 — вал для воздуха; 27, 28, 29 — воздушный двигатель; 30, 31, 32 — стальные листы; 33 — кабель, соединяющий в турбине; 34 — ось; 35 — редуктор; 36 — воздушная труба; 37 — клапан; 38 — клапан; 39 — клапан; 40 — клапан; 41 — клапан; 42 — клапан; 43 — клапан; 44 — клапан; 45 — клапан; 46 — клапан; 47 — клапан; 48 — клапан; 49 — клапан; 50 — клапан; 51 — клапан; 52 — клапан; 53 — клапан; 54 — клапан; 55 — клапан; 56 — клапан; 57 — клапан; 58 — клапан; 59 — клапан; 60 — клапан; 61 — клапан; 62 — клапан; 63 — клапан; 64 — клапан; 65 — клапан; 66 — клапан; 67 — клапан; 68 — клапан; 69 — клапан; 70 — клапан; 71 — клапан; 72 — клапан; 73 — клапан; 74 — клапан; 75 — клапан; 76 — клапан; 77 — клапан; 78 — клапан; 79 — клапан; 80 — клапан; 81 — клапан; 82 — клапан; 83 — клапан; 84 — клапан; 85 — клапан; 86 — клапан; 87 — клапан; 88 — клапан; 89 — клапан; 90 — клапан; 91 — клапан; 92 — клапан; 93 — клапан; 94 — клапан; 95 — клапан; 96 — клапан; 97 — клапан; 98 — клапан; 99 — клапан; 100 — клапан.

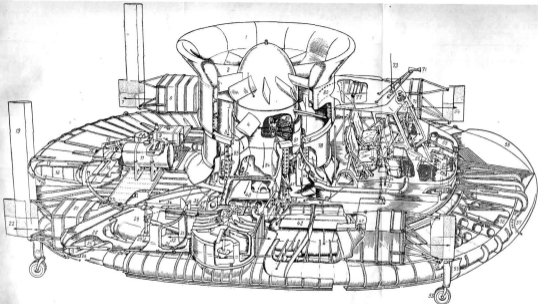
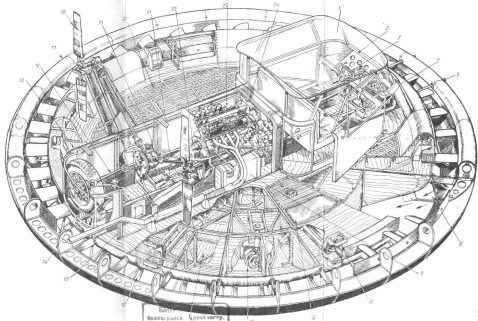


Рис. 19. Конструктивная схема мотора «Лисовый» — CP-N1.

1 — воздухоподогреватель; 2 — карбидный дозатор; 3, 3' — воздушные каналы для подачи воздуха в систему охлаждения двигателя; 4 — четырехцилиндровый бензиновый двигатель с механическим фиксированным шагом; 5 — главный воздушный канал; 6, 7, 7' — воздушные каналы системы ВРД; 7, 7' — воздушный рукав; 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 15 — масляный бак; 16 — масляный радиатор; 17 — масляный насос; 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 — система, соединяющая и тер. для управления клапанами; 25, 26, 27, 28 — шайбы для крепления крышки при вращении и вальцевание ступицы; 29, 30, 31 — воздухоподогреватели для подачи воздуха под давлением; 32 — воздухоподогреватель; 33 — воздушный канал; 34, 35 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 36, 37 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 38 — воздушный канал; 39, 40, 41 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 42 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 43 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 44 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 45 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 46, 47, 48 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 49 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 50 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 51 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 52 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 53 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 54 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 55 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 56 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 57 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 58 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 59 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 60 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 61 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 62 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 63 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 64 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 65 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 66 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 67 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 68 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 69 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 70 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 71 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 72 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 73 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 74 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 75 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 76 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением; 77 — клапаны, регулирующие подачу топлива под давлением.



Внутреннее устройство станции «Куликрафт».

1 — машина рубки (имеет выходы в двух направлениях); 2 — муфта управления; 3 — система управления всеми двигателями; 4 — пусковая станция основной рубки; 5 — сиденья для обслуживания двигателя основной рубки; 6 — воздушный канал; 7 — жилище экипажа; 8 — опорные ролики; 9 — топливные баки; 10 — шлюз; 11 — двигатель выхлопа в direction обшивки; 12 — парализованные двигатели; 13 — головка кабина балки; 14 — колесо инерционного; 15 — шкив на легком стержне; 16 — вал привода ведущего колеса; 17 — деталь узла крепления на стержневом стержне; 18 — воздушный или регулируемый шаг; 19 — узелов вращения; 20 — платформа для груза; 21 — система; 22 — двигатель; 23 — двигатель; 24 — двигатель; 25 — двигатель; 26 — двигатель; 27 — двигатель; 28 — двигатель; 29 — двигатель; 30 — двигатель; 31 — двигатель; 32 — двигатель; 33 — двигатель; 34 — двигатель; 35 — двигатель; 36 — двигатель.



Рис. 21. Машинка „Кушёнкрафт“.

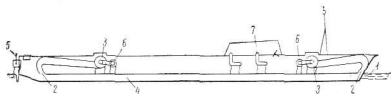


Рис. 22. Опытный катер фирмы Денни.

1 — ватерлиния; 2 — воздушная завеса; 3 — вентиляторы; 4 — бортовые киди; 5 — подвесные моторы; 6 — двигатели вентиляторов; 7 — сиденье водителя.

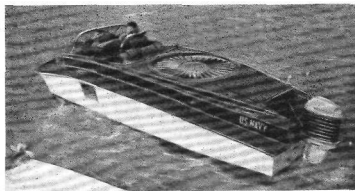


Рис. 23. Опытный катер фирмы Белл.

Тип третий. На судах этого типа воздух подается под днище через кольцевые сопла (т. е. в принципе так же, как и на судах второго типа), но для уменьшения расхода воздуха контур ограждения лабиринтным уплотнением, вложенным по принципу действия на уплотнение, принимаемое на валу паровых турбин. Конструкция механического уплотнения однако заменена циркулирующим воздушным потоком, затрудняющим выход воздуха из поддувального пространства.

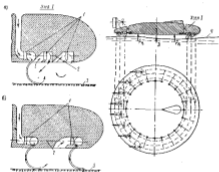


Рис. 24. Схема судна третьего типа: а — схема с лабиринтным уплотнением; б — радиально-кольцевое сопло.
1 — уплотнитель; 2 — нос вала; 3 — поверхность донца; 4 — поверхность днища.

Схематически конструкция может быть осуществлена в виде радиального сопла, через которое воздух направляется к центру машины (рис. 24), затем захватывается снозом и вторично отбрасывается вниз. В результате по периферии машины образуется зона повышенной турбулентности с циркулирующими воздушными потоками. Частицы воздуха, стремясь выйти из зоны повышенного давления под днищем, сталкиваются с кольцевой зоной вихрей и теряют свою скорость.

Вместо создания зоны повышенной турбулентности можно несколько раз лабиринт воздух вторым рядом вентиляторов и

через ряд сопел отбрасывать обратно к центру машины. Такая схема называется рециркуляционной. Применяя ее, можно создать высокое давление под судном, расхода лишь небольшое количество воздуха. Эта схема особенно эффективна для больших судов (диаметром несколько сот метров).

Суда таких размеров — дело будущего, но работа по практическому использованию рециркуляционной схемы для судов на воздушной подушке является задачей конструкторов уже теперь.

Тип четвертый. Сюда можно отнести машины, для которых использован принцип «воздушной смазки» и которые движутся

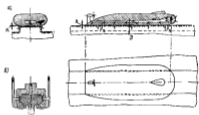


Рис. 25. Схема машины четвертого типа: а — вход на воздушной смазки; б — выход воздуха на воздушной смазки и рельс.

с малым зазором между днищем и поверхностью движения. Ранее указывалось, что идея использования тонкой воздушной пленки возникла давно и до сих пор нет положительных результатов ее практического осуществления.

На водном транспорте принцип применения воздушной смазки очевидно успеха иметь не будет. Однако для движения по земле этот способ может быть применен. Фирмой «Форд» был построен бесколесный автомобиль, двигающийся на принципе воздушной смазки.

На рис. 26 приведено схематическое изображение железнодорожного вагона, способного двигаться без колес по специальному полотку, а также поперечное сечение рельса и вагонного ползука с применением воздушной смазки. В случае применения рельсов специального профиля особое полотно делать не нужно, так как вагон удерживается при помощи ползука.

На венгерской промышленной выставке в Москве в августе 1960 г. демонстрировался шафальный стаяк, сконструированный слесарем одного из Бульдозерских заводов Жюзефом Павлом. Этот стаяк легко перемещается над поверхностью гладкой плиты на тонком слое воздушной смазки.

Тип пятый. К числу машин последнего типа нами отнесены машины типа „Крыло-таран“. Эта конструкция была впервые

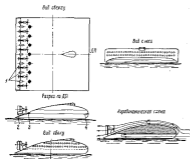


Рис. 26. Схема машины крыло таран.

1 — ТРД для увеличения дельты борта; 2 — винтовая лопасть; 3 — винтовая лопасть для уменьшения сопротивления; 4 — винтовая лопасть для уменьшения сопротивления.

предложена финским инженером Т. П. Каарно в 1935 г. как средство уменьшения сопротивления движению аэросаней.

Машина имеет (рис. 26) вид крыла с опущенными вниз по бокам щекими-клямами и наделькой сверху, также опущенной вниз. Снизу она выгнута как перевернутое вверх дном крыло без одного борта. Воздух может поступать в поддувальное пространство только через переднюю сторону крыла и вытекать через щели между боковыми щекими-клямами и задней наделькой к поверхности движения.

Принцип движения следующий: крыло начинает двигаться сначала, например на колесах, выступающих из корпуса крыла

лишь только на высоту шпана между щелей и поверхностью движения. Встречный воздух, попавший в поддувальное пространство, создает под крылом подъемную силу за счет быстрого напора; крыло поднимается как бы воздушным клином, поднимается в воздухе и дальше движется уже не на колесах, а находится на воздушной подушке. Для разгона на воде в начальный период движения может быть использована обычная воздушная подушка, создаваемая при помощи винталоатора.

Успешное осуществление описанной идеи требует, чтобы динше купала, или нижняя поверхность крыла, было выше нижних кромок щек и кормовой надельки.

Для уменьшения истечения воздуха при разбеге, если в начале движения применяется обычная воздушная подушка, можно использовать воздушную завесу или механическую захлопку, которые потом отклоняются или поднимаются. Уменьшить истечение воздуха из-под щек и кормовой надельки можно посредством воздушных завес, применение которых позволяет увеличить ходовой зазор между щекими и кормовой наделькой к поверхности движения. Последнее обстоятельство, в свою очередь, повышает проходимости машины над неровностями почвы или над волнами на воде.

Давление, образующееся под движением машины, приблизительно равно скоростному напору встречного воздуха $P_{\text{ст}} = \frac{\rho v^2}{2}$, где: v — скорость движения, м/сек; ρ — плотность воздуха, $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^3}$.

Суммарная подъемная сила равна произведению $P \cdot S$, где S — площадь крыла, м².

Нужно отметить, что в дополнение к подъемной силе, создаваемой напором воздуха, под крылом возникает подъемная сила за счет уменьшения давления на верхней плоскости крыла (судна), так как воздух, обтекая толстое крыло, увеличивает на этой плоскости свою скорость. Величиной этой дополнительной подъемной силы пренебрегать нельзя, поскольку она может достигать более 50% от подъемной силы, создаваемой воздушным клином. Идея крыла-тарана очень проста и в этом случае ее большое будущее.

Принцип дельты крыла примерно равной длине его хорды, можно получить сравнительно легкой и вместе с тем прочной, можно сказать, многослойной конструкцией.

Вопрос устойчивости движения крыла-тарана мало изучен. А устойчивости движения для машин этого типа особенно важна вследствие малого зазора между щекими и поверхностью движения.

Вопрос первоначального разгона для крыла очень важен, так как величина поддувального давления у машин этого типа прямо пропорциональна квадрату скорости. Следует подчеркнуть

важную особенность машин пятого типа — крыло-таран не может парить над поверхностью без дна, как это в состоянии делать любые машины другого типа на воздушной подушке. Ввиду того, что крыло-таран можно успешно применять только на скоростях не ниже 150—200 км/час, то и скорость разгона также должна составлять не менее 150—180 км/час. Это легко показать простым расчетом.

Чтобы получить подъемную силу величиной 200 кг/м², крыло должно развить скорость не менее 180 км/час. На такой скорости подъемная сила от напора, создаваемого воздушным вихрем, будет равна около 150 кг/м², а подъемная сила, дополнительно получаемая за счет напора давления на верхней плоскости крыла, будет равна примерно 50 кг/м².



Рис. 27. Схема опытного летельного аппарата «Крыло-таран» на воздушной подушке системы инж. Кааруса; а — разрез по ДД; б — вид с носа.

1 — переднее крыло; 2 — заднее крыло; 3 — передняя лопасть; 4 — воздушный винт.

Для преодоления бура сопротивлению без специальных приспособлений понадобится большая мощность механической установки и поэтому получится весьма тяжелая машина.

Для разгона крыла можно рекомендовать применение воздушной подушки, создаваемой по первой или второй схеме. Может быть также рекомендовано применение ускорителей в виде турбореактивных двигателей, которые следовало бы устанавливать при достижении нужной скорости разгона и после перехода на режим движения крыла-тарана.

Для машин пятого типа также очень важную роль играет конструкция боковых шкв и кормовой наделки. Следует иметь в виду, что на ходу крыло-таран будет задвигаться шквами и кормовой наделкой за неровности на поверхности движения. В результате этого будут возникать силы, стремящиеся затормозить или развернуть машину. Поэтому конструкция шкв и наделок должны быть рассчитаны на возможное задевание препятствий во время движения, и их детали нужно делать из эластичных и прочных материалов.

Весьма опасны для крыла-тарана нисходящие атмосферные потоки. Если крыло при движении над земной поверхностью попадает в такой поток, то характер обтекания верхней его плоскости изменится: вместо подъемной силы на ней может возникнуть сила, прижимающая машину к земле.

Режим работы крыла-тарана и его конструкция должны быть так рассчитаны, чтобы при прохождении зоны нисходящего потока и уменьшении высоты этого потока, на нижней стороне крыла автоматически возрастала подъемная сила и этим компенсировалась бы кинематическая нисходящая сила.

На рис. 27 показан эскиз самоходной модели крыла-тарана конструкции инж. Кааруса. На ней установлен автомобильный двигатель с воздушным охлаждением. Для динтия использован воздушный винт. Возможность разгона обеспечена остроумным устройством, позволяющим создавать под машиной воздушную подушку на малых скоростях. За важной частью диска винта установлены одно над другим два крыла, ограниченных с боков стенками. При повороте крыла (показано на рис. 27, а пунктиром) часть потока воздуха, отбрасываемого винтом, направляется под машину и поднимает ее.

Машина в состоянии развить скорость динтия, достаточную для использования подъемной силы, создаваемой встречным скоростным потоком воздуха. После достижения этой скорости нижнее крыло ставится в горизонтальное положение и машина движется за воздушной подушкой как крыло-таран.

* *

Выше перечислены и кратко описаны способы создания воздушной подушки. Возможно, что появятся новые, более эффективные и экономичные способы. В этой области открыто широкое поле деятельности для изобретательской и конструкторской мысли и фантазии.

Наиболее перспективными для достижения больших скоростей на воде очевидно являются машины пятого типа, так как у них затраты энергии происходят только на динтие, которое происходит с полным отрывом от воды, и движущаяся машина испытывает лишь воздушное сопротивление. Областью применения машин пятого типа, по всей видимости, будут открытые морские просторы, тогда как на внутренних водных путях наибольшее распространение получат машины первого и второго типов, обеспечивающие безопасное движение на спешных трассах.

Познакомившись выше с несколькими типами уже созданных машин, читатель на конкретных примерах может увидеть, какие теоретические и практические затруднения встречались на пути создания совершенно новых транспортных средств.

Размах, с которым ведется работа по теоретическому обоснованию и постройке судов на воздушной подушке, гарантирует широкое внедрение этих машин в ближайшие годы.

СУДА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Внешняя архитектура

Применение воздушной подушки заставляет конструктора придавать судку совершенно новый архитектурный облик и удовлетворять специфические требования к конструкциям отдельных узлов и судна в целом.

Если суда на подводных крыльях с точки зрения внешнего вида в значительной степени являются эволюцией гидроциркуляционных катеров и архитектурно от них практически не отличаются (за исключением, конечно, крышевого устройства), то суда на воздушной подушке имеют совершенно оригинальную архитектуру и несколько не схожи ни с глиссерами, ни с водовытесняющими судами, ни, тем более, с самолетами. Можно без преувеличения сказать, что суда на воздушной подушке — революционный скачок в области корабельной архитектуры.

Внешне эти суда напоминают платформу, круглую, овальную или четырехугольную в плане, с надстройкой наверху. На некоторых типах этих судов установлены воздушные винты и рули, но тем не менее суда на воздушной подушке от этого не становятся похожими на самолеты.

Могут возразить, что странным во второй половине прошлого века круглые плавающие батареи — «лодки» или овальная яхта „Лягушка“ являются прототипами также круглых (или овальных) судов на воздушной подушке. Однако сходство между этими двумя типами судов чисто внешнее; оно ограничивается лишь одинаковой формой ватерлинии, по существу же между ними ничего общего нет.

Некоторые типы судов на воздушной подушке несколько схожи с полинезийскими катамаранами или тримаранами — двух- и трехкорпусными лодками. Но это сходство опять-таки чисто внешнее. В отличие от этого древнего прототипа суда на воздушной подушке имеют один корпус, под днище которого загнывается сватый воздух.

Итак, приходится остановиться на том, что суда на воздушной подушке — сооружения „не зомбящие и не имеющие родства“.

Как было отмечено выше, со своего внешнего вида, да и по внутреннему устройству, различные типы судов на воздушной подушке, резко отличаются один от другого; это лишним раз подчеркивает, что новые сооружения еще не завершили период своего начального развития. Конструктивная корпуска их также не установилась.

Часто бывает, что, помимо других причин, характер конструкции зависит еще и от профессиональных традиций проектировщика. То же получается и при конструировании мебели на подушке. Конструкторы — „лягушники“ из Австралии, или кораблестроители, тяготеющие к авиации, стремятся сохранить на машинах самолетные конструкции. Другие конструкторы, напротив, предпочитают катерные конструкции. По-видимому, в конце концов, суда на воздушной подушке будут чем-то средним между катерами и самолетами.

Одной из причин отсутствия единства во взглядах на характер конструкций является недостаточная изученность внешних сил, действующих на корпус как на ходу судна, так и на стоянке (если судно почему-либо не поднимется на воздушную подушку и находится на плаву).

Требования к прочности судов на воздушной подушке формулируются совершенно иначе, чем для судов на подводных крыльях или для глиссеров. Это естественно, так как критерии прочности подобных судов, столь отличных одно от другого, тоже должны быть разными.

Действительно, если судно на крыльях можно упростить балке, лежащей на двух опорах (в данном случае, крыльях), то судно на воздушной подушке следует сравнивать с обычной пространственной фермой, лежащей на сплошном упругом основании. Корпуса крылатых судов дополнительно к статической нагрузке испытывают на ходу по волне еще и динамическую нагрузку от колебаний вверх и вниз, возникающую от изменений погружения крыльев в углы их атаки.

Суда на воздушной подушке не испытывают таких резких вертикальных ускорений, поскольку подушка служит своего рода демпфером между колебаниями водной поверхности и судном, которое следует за колебаниями этой поверхности. Динамическая нагрузка от ударов волн у судов на подушке также сравнительно меньше, чем у крылатых судов. Подушка весьма смягчает удары волн о корпус, если только эти удары практически имеют место.

Общий возбудитель момент у судов на подушке примерно в два с лишним раза меньше, чем у крылатых судов. Отсюда следует, что внешние силы, влияющие как на обшивку, так и на

местную прочность судов на воздушной подушке, должны быть значительно меньше внешней нагрузки, испытываемой судами на подводных крыльях. Это является безусловным преимуществом судов на воздушной подушке. Следовательно, вес одного кубического метра конструкции корпуса судна на воздушной подушке может быть заметно снижен во сравнении с аналогичной величиной у крылатых судов.

Ввиду малости общего изгибающего момента основное внимание должно быть обращено на поперечную жесткость и местную прочность, т. е. на прочность отдельных переборок, балок, узлов и т. д.

Главную роль будут играть ферменные конструкции из легких и высокопрочных материалов: алюминиево-магниевого сплава, пластика и т. п.

Интересно отметить, что в авиационной периодической литературе разбирался вопрос о том, кому должен быть подчинен технический надзор за корпусами этих судов с целью гарантирования безопасности плавания. Многие специалисты склонялись к мнению, что надзор и разработка правил постройки должны быть поручены организациям, наблюдающим и нормирующим прочность гражданских самолетов. Авторы считали, что Английский Lloyd, регламентирующий постройку морских судов, по своей консервативности и инертности не смог бы здраво подойти к оценке сил, действующих на суда на воздушной подушке, и предъявил бы чрезмерные требования к корпусам этих судов¹.

Выход на берег и организация службы

Укажем еще на одно, чрезвычайно важное, качество судов на воздушной подушке, резко выделяющее их из ряда других средств водного транспорта. Суда на воздушной подушке могут выходить на берег и двигаться над землей (кроме судов третьего типа, если их вентиляторные установки не имеют резерва производительности и в качестве движителей временные подплавные винты). Это свойство является одним из важнейших преимуществ судов на воздушной подушке, которое нельзя недооценивать и упускать из вида.

Конечно не следует полагать, что суда на подушке смогут подниматься на любой берег, забираться на отвесные скалы или хотя бы подниматься по крутому склону и, наконец, двигаться по местности, занятой крупными валунами. Следует иметь в виду, что каждый сантиметр подпора над твердой

поверхностью требует затраты лишней энергии, каждый дополнительный градус берегового склона требует повышения упора на величину, равную 2% от веса машины.

По этой причине выгоднее заранее подготавливать площадки для выхода на берег, а не заставлять суда выходить на берег в любом месте. На промежуточных остановочных пунктах, например, целесообразно заставлять суда выходить на берег только частями корпуса (рис. 28). Это, с одной стороны, снижает стоимость постройки пристаней, набережных и т. д., а с другой — не отразится заметно на усложнении механической установки судна.



Рис. 28. Судно на воздушной подушке, частично выходящее на берег для выгрузки грузовых образцов.

Указанное свойство судов на воздушной подушке является решающим для организации всей службы судов этого нового типа.

Службу таких судов можно и нужно организовать аналогично авиационной службе: после каждого рейса судно может полностью выходить на берег для подробного осмотра и технического обслуживания (так же, как это делается с самолетами на аэродромах и с автомашинами на станциях обслуживания). Организация такого узла за материальной частью позволит повседневно содержать ее в полном порядке и, в частности, позволит поддерживать в должном состоянии защитные покрытия корпуса и чистоту наружной обшивки.

Частотность выезда судна может быть сведена до минимума, поскольку весь необходимый уход за материальной частью будет производиться береговой командой во время стоянки, а большая скорость движения позволит сократить время пребывания в рейсе в полном и длительность переходов между остановочными пунктами. Следовательно, можно отказаться полностью или частично от размещения на судне экипажа

¹ Согласно решению английского правительства, суда на воздушной подушке в Англии относятся к категории самолетов и ответственность за безопасность их эксплуатации возложена на министерство авиации.

помещений для экипажа, либо предусматривать их в минимальном количестве, например только для одной и то малочисленной смены. Это будет зависеть от дальности рейсов и условий стоянки на одном из конечных пунктов маршрута.

Ведь на городских линиях автобусного и трамвайного сообщения стоянка оборудована только на одном из концов маршрута; на другом конце транспорт производит посадку пассажиров сразу же после высадки прибывших на конечный пункт и, приняв их, немедленно отправляется в обратный путь. Так же может быть организована служба на рейсовой линии судов на воздушной подушке, с той лишь разницей, что стоянка будет длиться не 3—5 минут, а несколько часов.

Организация берегового обслуживания и ухода за машинами на воздушной подушке подтверждает возможность применения для корпуса легких конструкций самолетного типа и самолетных механизмов.

Полностью отпадает надобность в дорогах и грузоемких работах по углублению фарватеров и непрерывному поддержанию их на должной отметке. Суда смогут проходить по участкам трассы с любыми глубинами.

Наконец, благодаря тому, что суда могут выходить на берег, резко упрощается и удешевляется строительство портовых сооружений и их эксплуатация. Почти полностью отпадает надобность в оборудовании фарватеров дорогостоящей обстановкой (бечи, створы и т. п.) и в расходах на содержание многочисленной службы пути.

Таковы важные следствия, вытекающие из способности судов на воздушной подушке выходить на берег.

Конструкция

Остановимся на особенностях расположения в конструкции судов на воздушной подушке.

В Англии строится второе судно типа „Ховеркрафт“ — „Ховеркрафт СР-№ 2“, предназначенное для перевозки пассажиров в водах шотландских фиордов (рис. 29, 30). Это судно спроектировано с учетом опыта испытаний первой машины этого типа — „СР-№ 1“. Модель этой машины была экспонирована в Англии на авиационной выставке 1960 г.

Судно рассчитано на перевозку со скоростью 70 узл. (130 км/час) 60—70 пассажиров. Оно имеет овальную форму. Длина — 18,4 м, ширина — 9 м, вес в полном грузу — 27 т, а порожнем около 17,5 т. На одного пассажира приходится от 250 до 300 кг водозмещения судна порожнем.

Схема создания воздушной подушки соплового. В целях увеличения пропульсивных качеств в продольных соплах установлены лопатки, направляющие поток в корму под углом 20°, что

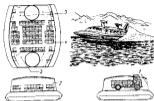


Рис. 29. Общий вид и расположение пассажирских мест на судне „СР-№ 2“ (стропа слева (показана десантный вариант).

1 — расположение двигателя; 2 — место по пассажирскому салону; 3 — расположение для борта; 4 — место для постов экипажа.

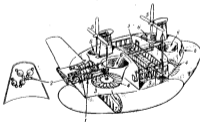


Рис. 30. Схематический чертеж судна „Ховеркрафт СР-№ 2“.

1 — главный двигатель; 2 — валовый винт; 3 — hull для периодического вентилирования и охлаждения воды; 4 — лопатки направляющие; 5 — поддувочные окна регулируемого типа; 6 — направляющие; 7 — лопасть для вылета воздуха под углом; 8 — лопасть (лопасть); 9 — двигательный винт.

дает дополнительную реактивную тягу. Кормные сопла, по-видимому, тоже имеют небольшой наклон к корму. Поддульное давление равно 300 кг/м². Нормальная высота поддема — 0,3—0,5 м. В случае необходимости высота поддема может быть доведена до 0,75 м при наличии эластичной юбки.

Основной корпус по своей конструкции напоминает понтоны, разбитый на 15 водонепроницаемых отсеков. На палубе размещена надстройка с пассажирскими и служебными помещениями. Для удифференцировки судна и носовой и кормовой частей его имеются балластные цистермы емкостью по 450 л каждая.

Машинная установка состоит из четырех газовых турбин марки Блекберн А129 Нимбус с раздельной турбиной и компрессором, мощностью около 800 л. с. каждая. Турбины смонтированы по две в одном корпусе и размещены в кормовой части судна; они приводят в движение два вентилятора с вертикально расположенными лопатками и два воздушных вента регулируемого шага с горизонтальными осями (устанавливаемы на поворотных колодах).

Топливо хранится в двух цистермах вместимостью по 1600—1700 л. Такой запас топлива позволяет суду совершить рейсы протяженностью до 350 км. Управление судном осуществляется поворотом колодок с винтами из угла до 30° из каждой борт.

Пассажирское помещение расположено в средней части судна и представляет собой узкий общий зал с мягкими диванами, установленными поперек судна. Обзор из окон этого зала весьма ограничен. Единственным преимуществом такого расположения пассажирских помещений является меньшая опасность ударов воды в носовую оконечность.

Кабина управления имеет угол обзора около 180°. На корме судна установлены стабилизаторы самолетного типа.

Основное внимание конструктора было обращено на размещение механизмов, удифференцировку судна и другие чисто технические вопросы. Вопросам комфорта пассажиров уделено мало внимания. Отсюда вывод: основные трудности проектирования машины на воздушной подушке конструктором еще не были преодолены несмотря на то, что разрабатывалась уже вторая машина.

Осадка судна в грузу без поддува воздуха равна всего 0,3 м, т. е. меньше осадки самых мелкоосадочных речных судов. Это достигнуто за счет применения авиационных конструкций с малыми толщинами листового и профильного материала (корпус построен из дюрала толщиной всего 0,5—1,0 мм), в качестве двигателей применены легкие газовые турбины.

Вентиляторы и моторные установки занимают до 60% всей длины судна. Мощность от турбин к вентиляторам и винтам передается посредством угловых передач. Применение таких передач в данном случае нельзя считать достижением конструкторской мысли, так как они быстро изнашиваются. Управление сложной машинной установкой, состоящей из четырех турбин, двух поворотных колодок в т. д., унитаяя к тому же малочисленность экипажа, требует высокой степени автоматизации.

Машина „СР-№ 2“ не свободна от недостатков, к числу которых следует отнести: сложность машинной установки; сложность схемы создания воздушной подушки; неудобства пассажирских помещений — шумность, стесненность, неудачное общее расположение.

Машина с общей поддувальной камерой была бы по-видимому проще, а размещение пассажиров в ней можно было бы сделать более удобным. На рис. 13 и 14 показана схема такой машины, где механическая установка размещена в корме, а пассажиры — в носовой части.

Расположение вентиляторов у ДП является одним из основных неудобств малых типов машин на воздушной подушке. Ведутся усиленные работы по устранению этого недостатка. Исследуются, например, возможность создания вентиляторов, которые могли бы размещать по периметру судна, не занимая центрального места. Делаются также попытки заменить вентиляторы инжекторами и т. д. Особенно интересен вариант вентилятора с лопатками, помещенными на бесконечной ленте (рис. 31). Для изобретательской мысли здесь открыто обширное поле деятельности.

В ближайшем году будут строиться суда вермах двух типов, хотя типы третий и особенно пятый (см. рис. 24 и 26) очень заманчивы для постройки из-за возможного отдаления воздухоподогревательных установок от пассажирских помещений с целью повышения комфортабельности последних. Однако практическое осуществление воздушной подушки для судов третьего и пятого типов еще не обеспечено достаточной теоретической и экспериментальной базой. Только после накопления опыта можно будет перейти к строительству океанских судов, возмужавших на подушку толщиной 4-5 м, защищенную лабиринтным уплотнением достаточно прочной конструкции.

Архитектура океанских гигантов на воздушной подушке будет в корне отличаться от архитектуры современных пассажирских лайнеров. По-видимому, это будут очень широкие и сравнительно негусто сооруженные с небольшим числом палуб. На палубе разместятся пассажирские помещения, большинство которых будет освещено лампами дневного света или верхним естественным освещением. Вентиляция внутренних помещений будет заменена кондиционированием воздуха.

В США разработан проект судна на воздушной подушке, которое представляет собой круглый понтон диаметром 140 м и высотой 9 м. Воздушная подушка создается кольцевым содом. Прочность корпуса обеспечивается продольными и попереч-

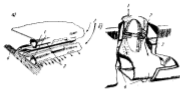


Рис. 31. Конструкция вентилятора, раскатываемого по вершине дельта:

а — схема карданаферического вентилятора

1 — вал вентилятора; 2 — воздушный поток от вентилятора большого диаметра; 3 — воздуховоды; 4 — воздушный поток;

б — одна из быстрозадаваемых вентиляторов, приводимых от центрального привода

1 — воздуховоды; 2 — лопасти вентилятора; 3 — лопасти направляющего аппарата; 4 — сова направляющей лопатки;

в — дельтовый вентилятор с лопастями на гибкой ленте

1 — направляющая лопатка; 2 — направляющие лопатки саркофаговой структуры; 3 — вентиляционная дельта; 4 — направляющая лопатка с дельтой; 5 — вентиляционная лопатка; 6 — вал об-
ратной карданной связи; 7 — воздушный поток.

ними фермами, разделяющими судно на ячейки площадью 20×10 м. По окружности вонтона зреложена труба-ресивер с радиально расположенными соплами, через которые воздух подается в подкупольное пространство вентилятора, также размещенными на окружности вонтона.

Расчетная высота полета над водой равна 3,5—4,5 м. Такая высота поддушки воздуха обеспечивает возможность планирования судна при высоте волн до 5 м, т. е. при состоянии поверхности моря до 7 баллов эклометелью. Напомним, что волнение более 7 баллов даже в Атлантике бывает сравнительно редко. Поэтому можно предположить, что судно подобных размеров сможет спокойно ходить по Атлантическому океану почти круглый год. По расчетам фирмы полное водоизмещение судна составит 1800 т, а полезная нагрузка — 450 т.

Судно рассчитано на перевозку грузов на трейлерах. Для въезда и выезда трейлеров в бортах судна предусмотрены 4 портика.

Под грузовой декекеллер отведена вся нижняя палуба, за исключением ее центральной части, где расположены механизмы. Высота грузовой помещения 6 м. Верхняя палуба может быть использована для пассажиров, высота помещений на этой палубе около 3 м. Численность экипажа в чисто грузовом варианте — 20 чел.

Для стоянки на берегу предусматриваются назуемые эластичные опоры-камеры со средней высотой 4—6 м, разделенные переборками на большое число отсеков, что обеспечивает надежность опоры в целом даже в случае проколов в отдельных отсеках. Давление в каждой камере для указанного судна по оценке авторов не должно превышать атмосферное более, чем на 0,1—0,2 атм. На ходу камера должна убираться внутрь корпуса подобно самолетным шасси.

Расчетная скорость движения на полном ходу 100 узл. или 185 км/ч. Давление воздуха в воздушной подушке примерно 160 кг/м^2 . Для обеспечения подъема на воздушную подушку и такой большой скорости движения мощность электростанции установки составит 150—200 тыс. л. с.

Авторы проекта считают, что спроектированное ими судно сможет совершать рейсы между Европой и Америкой за 30—40 часов, тогда как современные лайнеры проделают это расстояние не менее чем за 120—130 час.

Машинная установка судна разработана в двух вариантах — атомном и газотурбинном. При атомном варианте вокруг реактора, расположенного в центре судна, размещены газогенераторы, от которых по специальным трубам газ направляется к турбовентиляторам, расположенным по периферии машины.

Движение судна осуществляется отбором воздуха из кольцевого ресивера с специальными бортовыми сопла, в которых

создается реактивная сила. В других вариантах предусматривается установка на верхней палубе мощных турбоинтенсивных двигателей, также питаемых от газогенератора, расположенных впереди реактора.

Оба варианта силовой установки имеют свои положительные и отрицательные стороны.

Судно с атомной установкой будет иметь практически неограниченный район плавания и сможет проходить весь путь между Европой и Америкой без пополнения запасов топлива. Однако реальный вес атомной установки даже аэрионного типа мощностью около 200 000 л. с. составляет не меньше 1,0—1,2 тыс. т, включая вес биологической защиты. Такая установка непомерно тяжела для судна водоизмещением 1800 т. Поэтому атомный вариант практически пока совершенно не-realен. Для того чтобы атомные установки можно было ставить на суда такого типа, нужно снизить вес установок с защитой до 2,5—3,0 *ккал/с.*

Газотурбинные установки самолетного типа по своему весу вполне пригодны для установки на судах на воздушной подушке. Вес установки мощностью 150—200 тыс. л. с. не превысил бы 350—500 т, что вполне приемлемо для судна с указанным водоизмещением. Однако для работы газовой турбины нужно немалое количество топлива. Установка с подобной мощностью расходует в час 40—50 т топлива. Отсюда следует, что запаса в 350 т хватит не более чем на 7 час. хода или на расстояние на более 1200—1300 км (550—700 миль). Следовательно, для трансатлантического перехода продолжительностью около 3500 миль судно на воздушной подушке понадобится сделать не менее четырех заправок топливом, а для этого в океане нужно оборудовать дрейфующие заправочные станции. Отсюда видно, что организация трансатлантических рейсов судов на воздушной подушке связана пока с большими затруднениями чисто технического, а также экономического и навигационного характера. Да и конкуренция с пассажирской авиацией практически мало возможна.

На коротких переходах длиной 500—700 миль использование судов на воздушной подушке вполне рационально и может быть реально осуществлено уже в настоящее время.

Возможность выхода судна на берег позволяет упростить якорное, швартовое и грузовое устройства. Постановка на якорь и швартовка в условиях нормальной эксплуатации практически исключаются. Перевозку грузов можно производить в контейнерах или на автомашинах: поэтому грузовые операции могут быть сведены до минимума (вывоз аквалангов на судно и выезд с него).

В Англии, например, предполагают использовать суда на воздушной подушке в первую очередь в качестве паромов.

Под мореходностью судна в настоящее время понимают его способность идти определенным курсом по взволнованному морю и при сильном ветре.

Чем меньше зависимость хода судна от состояния погоды, тем выше его мореходность. Отметим, что мореходность обычных водоизмещающих судов зависит от их размеров и мощности их установок. Чем больше размеры и мощность энергетических установок судна, тем выше его мореходность; зависимость здесь прямая, причем от обоих указанных факторов сразу. Большие суда, но со слабой механической установкой и мощные, но маленькие суда все отличаются высокой мореходностью и возможностью их плавания обычно ограничена определенным состоянием моря. Мореходность судна зависит и от его обводов, в частности от заострения палубы и высоты борта, особенно в носу.

Мореходность судов на воздушной подушке еще не изучена в достаточной степени, но можно считать, что она будет выше мореходности судов на подводных крыльях.

Известно, что плавание по морю резко отличается от условий речной навигации. Известно также, что условия плавания в различных морских бассейнах тоже отличаются одни от других силой и повторяемостью волнения. Ниже отмечаются некоторые особенности морского плавания.

Поверхность моря обычно покрыта волнами. Различают две разновидности волн: ветровые волны и зыби. Ветровые волны возникают под действием ветра и складываются в ряд неодинаковых волн, причем большие волны следуют за несколькими меньшими. Ветровые волны несимметричны относительно вертикальной оси, у них один склон значительно круче другого. Ряды ветровых волн могут двигаться в разных направлениях и встречаться под разными углами. В какой-нибудь точке вершина волны одного ряда может совпасть с подошвой другой волны другого ряда. В результате получается низкая волна. Наоборот, в другой точке могут совпасть вершины двух волн и там появится более высокая волна. Иногда совпадают вершины нескольких рядов волн и в этом месте возникает очень высокая волна (так называемый „девятый вал“).

В противоположность ветровым волнам зыбь представляет собой регулярный ряд более или менее одинаковых, правильных волн, следующих одна за другой. Волны зыби образуются из ветровых после того, как утихнул ветер. Размеры и область распространения зыби зависят от силы и продолжительности ветра, послужившего причиной возникновения волнения, а также от протяженности открытого водного пространства, на котором поднялась волнение. При зыби имеет место определенное выра-

жонный фронт волн, порой тянущийся на большое расстояние.

Волны в этом случае симметричны относительно вертикальной оси их профиля и характеризуются длиной — расстоянием между вершинами или впадинами соседних волн и высотой, измеряемой от нижней точки впадины до верхней точки гребня. Одной из основных характеристик волн является отношение ее высоты к длине. Состояние моря обычно определяется высотой волн и оценивают в баллах. Наименьшее волнение, которое может быть только в открытом океане при ураганном ветре, оценивается в 9 баллов, а предельная сила ветра оценивается в 12 баллов. На ограниченных по размерам морях, например Балтийском, Каспийском, Азовском, волнение силой 6—7 баллов разыграться не может. На открытых морях (Баренцево, Берингово, Средиземное) волна силой 8—9 баллов чрезвычайно редкое явление.

Многолетние наблюдения показывают, что отношение высоты волны к ее длине колеблется в довольно широких пределах; чем больше это отношение, тем круче и выше волна. В открытом море отношение высоты волны к длине колеблется в пределах $1/100—1/200$. Высший предел указанного отношения равен $1/2$; к этому пределу подходят наиболее короткие волны, возникающие на мелководьях. На ограниченных морях, омывающих материки, волны обычно более крутые (отношение высоты к длине не менее $1/100—1/120$), океанские волны более пологие и длинные. Точно так же волны, приближенные с океана на прибрежные отмели, становятся круче и короче и, проходя к берегу, разрушаются, создавая прибой.

Плавание, или вернее движение судов на воздушной подушке по изволнованному морю, может иметь различный характер, в зависимости от соотношения размера судна и волны и степени отрыва судна от воды.

На рис. 32, а показано движение большого судна по сравнению с небольшим и коротким волнам при полном отрыве от воды; судно движется на некоторой постоянной высоте над уровнем моря. Так как высота подъема достаточна, то судно идет над вершинами волн и не испытывает никаких ударов корпусом о поверхность воды. Поскольку отношение длины судна к длине волны велико, то условие втекания воздуха из-под купола изменится незначительно, а величина местных подкупольных давлений также колеблется в незначительных пределах и судно будет двигаться более или менее устойчиво, не получая сколько-нибудь заметных внешних импульсов.

По мере роста размеров волн утечка воздуха при прохождении судном волновых впадин будет возрастать, давление в подкупольной камере будет заметно колебаться, а движение потеряет свою устойчивость. Появится килевая качка.

При таких условиях плавание водитель судна, управляя высотой гребни над волнообразной поверхностью моря, с одной стороны должен регулировать вертикальные колебания судна, стремясь свести их к минимуму, с другой стороны он должен стремиться устранить возможность ударов корпуса о вершины волн. При солевой схеме это можно осуществлять, управляя подачей воздуха под купол. При общепринятой схеме, если подкупольная часть герметизирована, движением судна по изволнованному морю можно управлять, движением воздуха в ту или иную часть подкупольной камеры. Кроме того, в носовой

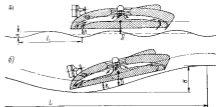


Рис. 32. Движение судна с полным отрывом от воды на волнах: а — судно идет поверх волн; б — судно едет за профилем волны.

части между ялими можно установить крыло-пластину, как показано на рис. 13. Крыло-пластина расположена нормально к поверхности. При прохождении волн она будет погружаться в воду и создавать подъемную силу, помогая судну подниматься на волну и одновременно с этим предохраняя судно от зарывания в волну.

Если размеры волн велики по сравнению с размерами судна, то последнее может двигаться следуя профилю волн (см. рис. 32, б). Управление судном вручную при таком движении будет весьма затруднительно, поэтому придется снижать скорость хода. Снижение скорости можно избежать, если судно будет снабжено прибором, следящим за расстоянием между судном и поверхностью воды, и автоматически управляющим подачей воздуха в подкупольную камеру.

Условие или требование сохранять высоту гребни над поверхностью изволнованного моря точно следуя профилю волны

практически недоступно. Кроме того, судно будет испытывать значительные вертикальные ускорения при точном следовании за профилем волны, а при движении по крутой волне ускор, различаемый датчиками, может оказаться недостаточным для подъема по крутому склону волны.

Прибор-автомат управления должен быть отрегулирован так, чтобы при проходе судна над впадиной волны высота парения была максимально возможной, а при проходе над вершиной волны, наоборот, минимальной. Только при такой регулировке вертикальные колебания судна будут сведены к минимуму.

Указанные приборы, по всей видимости, будут обязательной принадлежностью каждого мореходного судна на воздушной подушке.

Если судно имеет устройства для ограничения истечения воздуха (кляп, лодки и т. п.), то при плавании на волне оно будет садиться несколько глубже кляма в воду, что вызовет увеличение сопротивления движению. Следовательно, для того чтобы при плавании на волне не снижать скорость хода, необходимо предусматривать некоторый запас мощности энергетической установки.

Для каждого судна в определенное значение существует такая скорость, когда период собственных свободных колебаний судна совпадает с периодом колебаний величин давления в подкузовном пространстве, вызванных проходом судном гребней волн. В таком случае наступит резонанс, в результате чего могут возникнуть большие вертикальные колебания судна и оно будет ударяться о волны.

Для выхода из резонанса водитель судна должен изменить скорость хода. Если резонанс наступает при небольших скоростях, надо как можно быстрее увеличить скорость хода, чтобы перейти зону резонанса. Наоборот, если резонанс наступает на полном ходу, водителю надлежит несколько снизить скорость.

При плавании по морю, где высота, длина и направление бег волн непостоянны, явление резонанса может отчетливо не проявляться. Чаще оно будет иметь место при плавании на регулярной зыби.

Аналогичную картину мы можем наблюдать при езде в автомашине по неровной, ухабистой дороге, когда ухабы (или "гребенки", как говорят шоферы) действуют более или менее на одинаковом расстоянии одна от другой. На определенной скорости машину начинает неприятно подбрасывать, и водитель вынужден резко менять скорость движения, так как частота встречи колес с неровностями дороги совпадает с частотой собственных колебаний автомобиля, зависящей от веса машины, упругости рессор и т. д.

Наложившиеся изображения о специфических особенностях движения на подушке основаны лишь на предположениях. Фактические же установления мореходных качеств судов изучаемого нами типа может быть сделано только в результате натурных испытаний полноразмерных судов в открытом море.

Испытания моделей в опытовых бассейнах раскрывают картину поведения судна в море лишь с качественной стороны, да и то далеко не полно. Но даже модельные испытания приносят немалую пользу. Так испытания модели судна, спроектированного по сложной схеме, показали, что если длина волны превосходит длину судна в два и более раза, то высота движения в случае полного отрыва от воды мало отличается от высоты парения над спокойной поверхностью воды. Судно следует за профилем волны. Эти же испытания показали, что после достижения определенной скорости движения амплитуда вертикальных колебаний судна начинает расти и в конце концов превосходит среднюю высоту волны. Когда частота встреч судна с вершинами волн (или с их подошвами) будет примерно равна $1/2$ частоте собственных колебаний судна, наступит резонанс и амплитуды колебаний начнут резко возрастать. При дальнейшем увеличении скорости хода (или частоты встреч с волнами) амплитуды колебаний достигнут максимальных величин. При еще большем увеличении скорости хода (или частоты встреч с волнами) амплитуды колебаний снова уменьшатся, поскольку судно при этом уже вышло из зоны резонанса.

Указанные опыты проводятся без каких-либо приспособлений, регулирующих подачу воздуха. Отсюда важный вывод: если судно не имеет приспособлений для регулирования подачи воздуха в подкузовное пространство, то для избежания ударов корпуса о волны можно не допускать скорости, при которой возникает резонанс.

Судно с общей подкузовной камерой, снабженное боковыми клямами или лодками, движется на волне, высота которой меньше высоты подкузовной части, будет прорезать волну без ударов, но испытывать клямовую качку. По мере увеличения высоты волн судно будет также стремиться следовать за профилем волны, но влиять на это с помощью каких-либо приборов невозможно, за исключением изменения угла атаки дифференциальных крыльев. Отсюда также следует важный вывод: выбор подводной силы бортовых лодок и дифференцирующих крыльев (косынок и жорновил), характеристик вентиляторов и моментов инерции лопастей судна следует проводить с таким расчетом, чтобы избежать возможность ударов движком о гребни волн.

Так как опыт в подборе этих параметров еще не накоплен, то в каждом отдельном случае приходится прибегать к экспериментам.

По-видимому, будет обнаружена принципиальная разница в поведении на волне судов второго и третьего типов и судов первого и пятого типов. Это разграничит области применения судов указанных типов. Попытаемся различить сказанное.

У судов второго и третьего типов дифференцирующий момент создается силами, вызванными изменением подкулольного давления в районе между рядами сопел. Эти силы заставляют судно двигаться на постоянной высоте от поверхности аэризованного моря и их можно регулировать при помощи специальных заслонок. Такие суда будут более мореходны на волног океанской волне.

На судах первого и пятого типов дифференцирующий момент может быть создан при помощи водонемешающих лопод или дифференцирующих крыльев, обычно размещаемых между бортовыми лодками. В данном случае следует ожидать значительных по величине дифференцирующих моментов, заметно больших, чем в первом случае (поскольку изменению подкулольного давления всевозможны). Однако дифференцирующий момент, полученный от лопод, нельзя регулировать по величине на ходу. Очевидно, суда этих двух типов будут более пригодны для паравана на крутой и короткой волне.

Однако, если на судах первого типа подкулольную камеру разделить на секции, то можно объединять преимущества обеих групп, и суда с секционированной подкулольной камерой могут быть использованы на любых морях и океанах.

Опыт плавания судов на воздушной подушке по аэризованному морю показывает, что, двигаясь по волне, суда заметно снижают скорость хода. По всей вероятности, это является следствием задевания корпусом судна за гребни волн. Так, например, катер „СР-№ 1“, обладающий скоростью хода на тихой воде 25 узл., пересек Ламанах при сравнительно спокойной погоде со средней скоростью всего 13 узл. Вот как резко сказались малая высота подъема над водой!

Касание гребней волн судами на воздушной подушке, имеющими бортовые килы или лодки, приводит к снижению скорости судна. Одностороннее касание корпуса о воду, помимо торможения, создает также и пару сил, стремящуюся развернуть судно. Эта пара сил будет тем больше, чем больше ширина судна и сила торможения. При очень больших скоростях и резком одностороннем торможении может произойти авария.

В особенности опасно одностороннее касание для судов типа крыло-таран, поскольку эти суда имеют малое отношение длины к ширине.

Выбор той или иной конструктивной схемы для проектируемого судна диктуется не столько желанием придать судну лучшие ходовые качества, сколько стремлением обеспечить ему надлежащую мореходность и возможность безударного, устой-

чивого движения при любом состоянии погоды. Удачное решение этих задач позволяет облегчить корпус судна, и, таким образом, повысить его качества.

Уместно сказать несколько слов о заслонках, устанавливаемых на судах первого типа, а также на тех судах пятого типа, рабом которых предусматривается при помощи воздушной подушки по первой схеме. Расчет показывает, что создание водяных или воздушных завес для обеспечения достаточного подъема небольших судов вызывает затраты мощности, практически не используемой для перемещения судна. Поэтому рационально применять отапливающиеся заслонки или занавески, т. е. такие устройства, которые провуют волны внутрь подкулольной камеры и вместе с тем закроют воздуху выход из камеры. Такие неоправданные заслонки можно установить и на больших судах.

Высота подъема

Одной из основных характеристик машины на воздушной подушке во время их движения является высота подъема над водой или землей.

При движении над землей высота подъема характеризует размеры препятствий, которые машина может преодолеть; высота подъема над водой ставит предел способности машины проходить по аэризованному морю без снижения скорости хода.

Если принять, что суда должны проходить над волнами, длина которых равна длине судна, то высота подъема должна быть в пределах от 0,1 до 0,08 длины судна. Однако таким сравнительно большим высотой подъема для судов с полным отрывом от воды требует значительных затрат энергии для поддержания должного давления в подкулольной камере и практически недостижима. Поэтому двигаться над волнами, равными по размерам судну, с полным отрывом от воды могут только большие суда, так как для них высоту подъема вполне достаточно принять равной 0,05—0,06 длины судна, но не более 6—10 м, поскольку волны большей высоты встречаются очень редко.

Суда малых и средних размеров (до 80—100 м длины) при плавании на больших волнах для ослабления ударов о гребни волн будут вынуждены сбавлять скорость хода, как это делают суда водонемешающие, на подводных крыльях, галсесеры и др.

Вопросы определения высоты подъема наиболее полно разработаны для судов первых двух типов. У судов первого типа воздух из подкулольной камеры истекает как из сосуда.

Скорость истечения из сосуда, если пренебречь сопротивлением, равна

$$v = \sqrt{\frac{2gP_A}{\gamma}}$$

где P_A — избыточное давление в сосуде или в подкупольной камере (если считать, что скорость воздуха в камере равна нулю);

g — ускорение силы тяжести;
 γ — удельный вес воздуха.

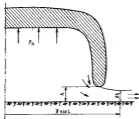


Рис. 33. Истечение воздуха из-под дна судна с общей воздушной камерой.

Известно, что если отверстие имеет острые края или профилировано не идеально, то за отверстием происходит сужение струи (рис. 33). При острых краях отношение площади поперечного сечения струи в самом узком месте к площади отверстия (коэффициент истечения β) близко к 0,5. В среднем величина этого отношения колеблется в пределах 0,6—0,8. Высоту подъема h можно выразить в зависимости от производительности вентилятора, теоретической скорости истечения, периметра машины и коэффициента истечения β следующей формулой

$$h = \frac{Q}{v \cdot \Pi \cdot \beta}$$

где Q — производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 v — скорость истечения без учета сужения струи, $\text{м}/\text{сек}$;
 Π — периметр машины, м .

Если машина в плазме имеет круглую форму, можно формулу преобразовать

$$h = \frac{ANP \cdot \eta \cdot \pi}{D^2}$$

где ANP — мощность, затрачиваемая на подъем, в предположении отсутствия потерь в трубопроводе и равная

$$\frac{Q \cdot P_A}{\eta} \text{ л. с.};$$

P_A — подкупольное давление, $\text{кг}/\text{см}^2$;

M — линейный размер (например, диаметр), м ;

D — вес машины, кг ;

η — числовой коэффициент, зависящий от формы машины и плазмы и остроты кромок контура машины.

Для круглой машины при величине коэффициента истечения $\beta = 0,6$ величина коэффициента $\eta = 6,8$. Высота подъема пропорциональна квадрату линейного размера, т. е. площади машины и обратно пропорциональна весу машины к степени $1/2$.

Для снижения удельного расхода энергии на подъем судна надо максимально увеличивать размеры машины и уменьшать ее вес. Например, увеличение размеров машины в два раза, а ее веса всего только в полтора раза, позволит увеличить высоту подъема в 2,2 раза при затрате той же мощности.

В машинах второго типа воздух подается через кольцевое сопло под некоторым углом к днищу. Этим изгибает поток воздуха наружу, в результате чего в воздушном потоке создается перепад давлений и скоростью (рис. 34). Те струйки воздуха, которые при выходе из сопла, располагаются ближе к центру машины, имеют меньшую скорость и повышенное давление. Наружные струйки, наоборот, обладают повышенной скоростью и пониженным давлением. Наружная струйка движется с максимальной скоростью, но находится под давлением атмосферного воздуха. Внутренняя струйка находится под давлением, господствующим в подкупольной камере и движется с минимальной скоростью. Перепад давлений создается за счет центробежной силы, действующей на каждую частицу потока воздуха (см. рис. 18).

Опыт показывает, что наилучший угол наклона сопла θ , внутрь подкупольной камеры колеблется в пределах 45—60°. Струя должна быть возможно большей толщиной, а отношение давлений в ресивере (куда вентилятор нагнетает воздух) перед соплом к давлению в подкупольном пространстве колеблется от 1,2 до 1,6.

Следует отметить, что с точки зрения затрат энергии для каждой скорости и подкупольного давления имеются свои оптимальные значения толщины струи и перепада давлений. Чем

больше толщина струи и чем меньше перепад давлений, тем больше должна быть производительность вентилятора, что, в свою очередь, приводит к росту сопротивления потерь импульса. Это сопротивление растет с увеличением скорости хода. Таким образом, при больших скоростях движения бывает выгодно увеличить перепад давлений, снизить производительность вентилятора и затратить больше энергии на подъем судна на воздушку, но вместе с тем значительно снизить сопротивление потерь импульса.

При указанной вышке величине угла наклона сопла высота подъема машины второго типа будет в 1,4—1,6 раза больше чем

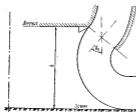


Рис. 34. Истечение воздуха при солевой вышке.

машины первого типа при затрате одной и той же мощности. Эта величина относится к машинам с относительной высотой подъема не более 0,1¹. При больших относительных высотах подъема машины второго типа еще более выгодна, хотя не надо забывать, что конструктивное оформление машин этого типа значительно более сложно, чем машина первого типа. Впрочем, такое замечание о сравнительной сложности машин второго типа справедливо только для машин с небольшими размерами.

При желании построить большую машину первого типа пришлось бы столкнуться с необходимостью создать вентилятор огромных размеров и чрезвычайно большой производительности, с относительно малым напором. Это было бы совершенно непрактично (если не невозможно). Для расчета высоты подъема во второй схеме целесообразно использовать резуль-

¹ Относительная вышняя вышка называется отношением высоты вышки к линейному размеру машины (выпрыск, джек или диаметр).

таты опытов. Если опытных данных нет, для ориентировки можно использовать приводимые ниже результаты.

Для идеальной тонкой кольцевой струи определено значение так называемого коэффициента A влияния близости земли, который выражает отношение фактической подъемной силы к подъемной силе, создаваемой свободной струей, направленной вниз без учета влияния близости земли

$$A = \cos \theta_0 + \frac{1 - \sin \theta_0}{\frac{4h}{D_n}}$$

где: θ_0 — угол наклона струи к вертикали;
 D_n — диаметр кольцевого сопла.

Наименьший угол θ_0 получается при

$$\operatorname{tg} \theta_0 = -\frac{1}{\frac{4h}{D_n}}$$

Подъемная сила, создаваемая эквивалентной свободной струей, направленной вниз без учета влияния близости земли, равна

$$F_p = \frac{Q \gamma v_0}{g} \text{ кг.}$$

где: Q — производительность вентилятора, м³/сек;

γ — удельный вес воздуха, кг/м³;

g — ускорение силы тяжести, м/сек²;

v_0 — скорость истечения, равная $\sqrt{P \cdot \frac{2g}{\rho}}$, м/сек,

P — кольцевой напор перед соплом, кг/м².

Если относительная толщина струи превышает 20% от высоты подъема h , то можно использовать результаты теоретических исследований идеальной толстой кольцевой струи без внутреннего трения и не перемещающейся с окружающим воздухом.

Для решения такой задачи построены графики зависимости коэффициента близости земли (подъемной силы), подкупольного давления и т. д. от скорости истечения, количества подкупольного воздуха, угла наклона струи и линейных размеров (например, диаметра) машины. Результаты такого исследования приведены на рис. 35, где показаны значения коэффициента влияния близости земли A в зависимости от отношения площади подкупольной части A_p к площади кольцевого сопла A_n , через которое происходит истечение, и отношения высоты подъема h к диаметру сопла D_n .

Кривые построены для оптимального значения угла наклона кольцевого сопла Θ_0 (рис. 35, б). На этом рисунке показано также значение коэффициента аэриации вблизи земли при $\Theta_0=0$. Это значение проверено опытно и дает хорошее совпадение для $A \leq 4$. Для значений A , превышающих 4, высота подъема по формуле получается завышенной и для практического использования ее необходимо уменьшать раза в полтора.

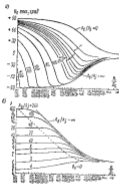


Рис. 35. Зависимость от расстояния A расхода струи Q_0 , м³/мин (а) и коэффициента аэриации вблизи земли β (б) от расстояния A в плоскости кольцевого сопла A_0 и высоты подъема h к наружному диаметру сопла D_0 .

При наличии ограждений, препятствующих выходу воздуха, полученная высота подъема должна быть скорректирована.

При наличии ограждений, препятствующих выходу воздуха, полученная высота подъема должна быть скорректирована.

Для увеличения высоты подъема при солевой схеме образования воздушной подушки целесообразно использовать специальный аппарат (рис. 36), позволяющий вторично использовать воздушную струю. По параметру машины, на которой высоте вод соплом устанавливается ряд лопаток, заключенных в кожух крыла обтекаемой формы. Лопатки закрывают струю, вытекающую из сопла, когда она уже направлена наружу машиной, и дают ей направление внутрь машины. Струя вынуждена вторично повернуть назад.

В результате можно увеличить высоту подъема почти в два раза. Обтекаемая форма кожуха-крыла обеспечивает безударный проход судна сквозь волны. Эта идея исследована пока только в лабораториях и еще не подтверждена практическим опытом.

Подъем машины требует затраты энергии и, естественно, чем больше машина, тем относительно меньше эти затраты. В целях уменьшения количества энергии, нужного для подъема

судна на воздушку, применяют разные системы ограждений. Например, для движения по рылому грузу можно применять боковые якоря, которые будут постоянно соприкасаться с землей.

Для обеспечения аэриационности малых катеров во время эпизодических выходов на берег, придется использовать в широком масштабе закладки, эластичные юбки и другие подобные конструкции, ограждающие подкупольное пространство так, чтобы неровности почвы мягко обволакивались этими конструкциями и вместе с тем во время прохождения неровностей воздух не уходил бы из-под купола. Конечно, при этом скорость движения будет несколько снижена.

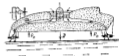


Рис. 36. Пневматический аппарат для увеличения высоты подъема судна с солевой схемой образования воздушной подушки.

Суда с жесткими ограждениями подкупольного пространства должны обладать большой энерговооруженностью; такие ограждения рационально устанавливать на крупных судах с относительно малым подкупольным давлением.

В заключение рассмотрим вопрос об увеличении высоты подъема за счет применения водных завес, ограничивающих подкупольное пространство. В настоящее время в США этой идее уделяется большое внимание и даже построены два опытных катера, но никакие технические сведения об эффективности водных завес не опубликованы.

Есть основание думать, что эффективность судна с водной завесой будет малой. Для того чтобы водная завеса была действенной, нужно подавать большое количество распыленной воды по всему периметру купола или в оконечностях, если воздушная подушка ограничена с бортов лодками. Только подачей воды под большим давлением можно достичь перемешивания воды с воздухом и образования водной пыли.

Судно, забравшее носу из моря, получает значительное дополнительное сопротивление своему движению и явде потери импульса от забора воды, аналогичной той, которую от захвата воздуха, что, по всей вероятности, уменьшит эффективность судна.

Брызгообразование

Упомянем еще об одной важной особенности судна на воздушной подушке — о брызгообразовании. Во время парения судна над водой из-под кромок корпуса вместе с воздухом

выдвигает большое количество брызг. На ходу с большой скоростью эти брызги относятся к корму и не мешают управлению судном; на малом ходу они скважно затрудняют работу водителя. Кроме того, брызги засасываются двигателями и вентиляторами и вызывают эрозию лопаток и коррозию частей механизмов. Это нельзя недооценивать, поскольку суда во время маневрирования в узкостях, при подходе к причалу и во время отхода от него часто движутся малыми ходами. При выходе на берег воздушные струи поднимают пыль, песок. Водитель машины, сбакив ход, внезапно перестает видеть и разбираться в окружающей обстановке. В таких условиях возможны аварии.

Полностью бороться с брызго- и пылеобразованием также является одной из больших забот проектировщика машины на воздушной подушке. Брызгообразование (пылеобразование) можно уменьшить за счет снижения давления воздуха, подаваемого под кузов, и ограждения выхода воздуха из-под купола. Это может быть достигнуто применением лабиринтного уплотнения, рециркуляции воздуха, отсоса его при помощи вентилей, задвижек, пластичных губок и т. д.

Некоторые специалисты считают, что аппараты на воздушной подушке могут принимать на себя в час до 300 килограммов брызг, пыли и грязи на 1 м² поверхности машины.

Личный состав, пассажиры и груз должны быть хорошо защищены от брызг и грязи, а форма надстроек должна обеспечивать легкое удаление воды и грязи; на наружных поверхностях не должно быть никаких карманов, ниш, углублений, где могли бы накапливаться грязь, песок, вода.

Остойчивость

Придание судам на воздушной подушке надлежащей устойчивости является одной из наиболее сложных проблем, возникающих при проектировании. Обеспечение мерой обеспечения устойчивости судна на подушке любого типа, является задачей судна большой относительной ширины.

Следует подчеркнуть, что судна с общей подкузовной камерой или имеющие простое килевое судно поперечности, как правило, неустойчивы. Воздушные подушки не создают восстанавливающего момента, который появляется при крене обычных водонесущих судов. Судно, находясь на воздушной подушке, в прямом положении пребывает в состоянии неустойчивого равновесия. На рис. 37 приведена схема сил, действующих на корпус судна с общей подкузовной камерой. При появлении крена за угол θ возникает пара сил, стремящаяся увеличить крен еще более. Кривошипный момент равен

$$M_{кр} = DZ_g \sin \theta,$$

где Z_g — ордината ЦТ судна от основной плоскости.

При наличии истечения воздуха появляются силы дрейфа, увеличивающие кривошипный момент на величину $P_{др} \cdot Z_{др}$ и общая его величина становится следующей

$$M_{кр} = DZ_g \sin \theta + P_{др} Z_{др}.$$

Указанные формулы приведены с допущением, что в подкузовной части давление везде одинаково.

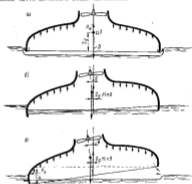


Рис. 37. Схема действия сил при крене судна с общей подкузовной камерой: а — истечение воздуха из подкузовной части во все стороны равномерно (возможное неустойчивое равновесие); б — истечение воздуха из подкузовной части отсутствует (кривошипная пара от силы тяжести D и равнодействующей силы давления воздуха $P_{др}$ стремится увеличить крен); в — истечение воздуха из подкузовной части происходит с одного борта (кривошипная пара от силы тяжести D и равнодействующей вертикальных составляющих силы давления воздуха стремится увеличить крен, в том же направлении действует момент от силы дрейфа $P_{др}$).

Такое явление мы можем наблюдать, когда по реке плывет опрокинутый вверх дном ящик (или боченок) без крышки. Его нельзя заставить плавать в перевернутом виде в прямом положении или даже с креном, он непременно ляжет на бок и, если он металлический, то, повернувшись на бок, обязательно утонет.

В содовой схеме судна на воздушной подушке струя воздуха, выходящая из кольцевого сопла, при креже изменяют свое направление и устремляются в сторону поднятого борта. В этом случае возникает подсаживающая сила, также стремящаяся увеличить крен.

Для обеспечения остойчивости судов с содовой схемой образования воздушной подушки нужно предусматривать бортовую внутреннюю ряд сопел. Струя воздуха, выходящего из второго ряда сопел, будет прижимать воздух, выходящему на наружном ряду, менять свое направление при креже и устремляться в сторону поднятого борта. В этом случае воздух из наружного ряда сопел будет выходить по всему периметру с аккреционного борта, где зазор между уровнем воды и днищем меньше среднего. Из-за уменьшения радиуса кривизны струй увеличивается центробежная сила и возрастает перепад давлений между рядами сопел. С поднятого борта, где зазор между уровнем воды и днищем машины больше среднего, имеет место обратное явление — падение подкупольного давления, вследствие чего возникает пара сил, стремящаяся уничтожить крен и вернуть судно в прямое положение.

Можно обойтись без второго ряда сопел, расположенных по периметру и разделить подкупольное пространство двумя взаимно перпендикулярными рядами сопел на 4 ячейки (отсека). Воздух, выходя из этих сопел, создаст воздушные перегородки и не будет перетекать из одной ячейки в другую. При креже подкупольное давление с аккреционной стороны, аналогично предыдущему случаю, будет возрастать, в результате чего возникнет подсаживающий момент.

К числу мер, способствующих приданию остойчивости судам на воздушной подушке с содовой схемой, следует отнести постановку на машинах бортовых лодок-плазучестей, ограничивающих истечение воздуха с бортов и создающих восстанавливающий момент при возникновении крена за счет гидростатических и гидродинамических сил. Можно также разделить подкупольное пространство на две или более части при помощи тонких внутренних шлюз и установить между ними заделки.

В последнем случае подкупольное пространство оказывается разделенным на несколько отсеков, в которые воздух может подаваться раздельно в любом количестве. Когда судно находится в прямом положении, воздух выходит равномерно по всему периметру. Если же возникает крен или дифферент, то шлюз закрывает и воду, заделки прижимаются к воде и этим ограничивают или совсем прекращают выход воздуха из данного отсека. Давление воздуха в этом отсеке повышается, в результате чего возникает восстанавливающий момент. Результаты испытаний моделей с восковыми шлюзами показали высокую остойчивость моделей к малому сопротивлению шлюз днищевой.

Любителям, решившим построить самостоятельно судно на воздушной подушке, нужно внимательно отнестись к вопросу об остойчивости. Вместо жестких лодок, которые почему-либо оказывают невозможным сделать, можно использовать надувные или вместо лодок можно поставить цилиндрические эластичные поплавки и т. п.

Управляемость

Большая скорость движения судна на воздушной подушке заставляет обратить особое внимание на обеспечение их управляемости и маневренности. Вместе с тем, прищипываемые особенности движения судов нового типа вынуждают решать вопрос об обеспечении надлежащей поворотливости и устойчивости на курсе методами, резко отличающимися от применяемых для обычных судов.

Прежде всего обратим внимание на то, что суда с вошлом отрывом от воды можно сравнить с мячом, плавающим на поверхности воды. Такой мяч легко подхватывается ветром и носится по воде, почти не встречая сопротивления.

Рассмотрим два случая движения. Первый случай — судно идет прямым курсом. На корпус судна обычно действует сила ветра. Эта сила стремится снести судно в сторону. Такой снос называется дрейфом. Так как точка приложения силы ветра не совпадает с точкой приложения сил сопротивления воды дрейфу, возникает пара сил, стремящаяся отклонить нос от ветра. Суда на воздушной подушке обычно движутся с дифферентом на корму и кормовая часть корпуса чаще всего касается воды или даже иногда находится ниже уровня окружающей воды. Вследствие этого точка приложения сил сопротивления воды находится дальше в корму, чем точка приложения силы давления ветра. Чтобы компенсировать момент от сил дрейфа, рулевому приходится держать руль несколько переложением на один из бортов даже на прямом курсе судна. Это значительно увеличивает сопротивление.

Второй случай — судно, маневрируя, совершает поворот, т. е. описывает частичную или полную циркуляцию. Во время поворота дополнительно возникает центробежная сила, приложившая к ЦТ судна. Эта сила стремится снести судно в сторону, т. е. тоже заставляет судно дрейфовать. Возникший во время поворота дрейф тем больше, чем больше отрыв судна от воды. Если на циркуляции не будет искусственно создана сила, частично или полностью уравновешивающая центробежную силу, то судно во время поворота будет значительно снесено в сторону.

Мы видим, что водитель машины на воздушной подушке должен непрерывно учитывать изменяющийся по величине и

направлению сноса от дрейфа. Поэтому для облегчения работы водителя на таких машинах должны устанавливаться приборы, действующие автоматически и показывающие положение машины относительно заданного курса в любой момент времени. Еще лучше, если этот прибор будет не только учитывать величину сноса, но и непрерывно вносить поправки к курсу в рулевое управление.

Следует отметить, что ход судов по воде более устойчив (чем движение по твердой поверхности) из-за наличия пологого сопротивления, которое не дает суду резко рывком при порывах ветра. При движении же по твердой поверхности сильный боковой порыв ветра может резко снести машину в сторону, поскольку действие ветра будет противодействовать только инерции машины. Этим и объясняется то обстоятельство, что движение машин на подушке по земле значительно труднее, чем по воде.

Существует несколько способов управления машинками на воздушной подушке. Например, на катере „СР-№ 1“ в дополнение к кормовым воздушным рулям установлено воздушнореактивное устройство, позволяющее ему не только двигаться в любом направлении, но и реактивной струей компенсировать центробежную силу как силу бокового давления ветра, и даже поворачиваться на месте. На другом катере, кроме рулей, в качестве подруливающего устройства, в носу установлен еще поворотный воздушный винт. Наличие этого винта обеспечивает возможность поворачивать катер на любой скорости и в любом направлении. Такая комбинация кормовых рулей и носового воздушного винта позволяет противостоять любому боковому ветру.

Катер „СР-№ 2“ снабжен воздушными винтами на поворотных килевках, причем один винт установлен в носу, а другой в корме. Это устройство имеет следующие преимущества: во-первых, на циркуляции тяга воздушных винтов не создает кренящих моментов, так как винты во время поворота развернуты в разные стороны и, во-вторых, не создаются моменты, стремящиеся отклонить судно от курса при порывах бокового ветра.

Перечисленные устройства применяются на судах с полным и частичным отрывом от воды. На судах, плавающих без отрыва от воды, обеспечение устойчивости на курсе достигается несколько иначе, так как боковые киле или водки придают судну хорошую устойчивость на прямом курсе, а на циркуляции оказывают сопротивление дрейфу (правда, одновременно с этим боковые киле создают кренящую пару, стремящуюся перевернуть судно). Но эти суда также подвержены ветровому дрейфу, хотя и в несколько меньшей степени. При этом, так же, как и у судов с частичным отрывом от воды, при несомещении центра парусности с центром бокового сопротивления погруженной части килей, помимо дрейфа, возникает явление заноса носовой

или кормовой оконечности. Для устранения заноса оконечности требуется установка подруливающего устройства или носовых рулей.

Следует учесть, что воздушные рули, установленные в корме, создают кренящий момент паружу и, так как этот момент направлен в ту же сторону, что и кренящая пара, создаваемая килем, он также стремится перевернуть судно. Водяные рули, расположенные обычно ниже центра бокового сопротивления, создают момент, кренящий судно внутрь циркуляции. Эти соображения надо иметь в виду при выборе рулевых устройств.

При втечении воздуха из-под хвоста при крене судна, помимо кренящей пары возникает еще и реактивная сила, дей-



Рис. 38. Склонение машины на воздушной подушке.

ствующая в сторону, противоположную направлению втечения воздуха. Этой силой можно воспользоваться на машинах с сопловой схемой (типы второй и третьей).

Создав крен в какую-нибудь сторону, водитель заставит машину двигаться боком в ту же сторону. Поэтому при разворотах можно погасить дрейф, создаваемый центробежной силой, порывом накренив машину во внутреннюю сторону. На больших машинах крен можно создать регулированием подачи воздуха через сопла, уменьшая подачу со стороны накрениженного борта и увеличивая с противоположной.

Если вместо крена создать искусственный дифферент на нос, то можно получить силу дрейфа, действующую в направлении движения, т. е. появится дополнительная тяга и, наоборот, при придании судну дифферента на корму появится сила торможения. Этими свойствами можно пользоваться особенно широко на малых машинах — одноместных мотоциклах (рис. 38). На этих машинах можно не пренебрегать никакими другими двигателями для рулей. Машина будет двигаться и поворачиваться исключительно за счет тяги, создаваемой при крене и диффе-

ренте машины, причем указанные крен или дифферент водитель создает наклоном туловища. Достаточно поднять машину из подушки (а эту подушку раздувает непрерывно поддержива-



Рис. 39. Машина „Гамма-3“ Принстонского университета.

ять), а затем наклоном тела водитель может заставить машину двигаться куда нужно.

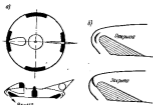


Рис. 40. Схема модели „Гамма-3“: а — схема создания воздушной подушки; б — схема управления силами.

На принципе использования силы дрейфа, возникающей при крене, в Принстонском университете (США) была построена машина „Гамма-3“ (рис. 39, 40).

На этой машине установлены на воздухопроводе заслонки со всех четырех сторон. Махнувшись заслонками, заставляют двигаться машину в любом направлении. На рис. 39 видно, как машина при полном отрыве от поверхности движения переходит с воды на берег. Внешний вид ее типичен для судов на воздушной подушке (нетто вроде опрокинутого вверх дном блядочка, с кабиной управления наверху). Такая форма способствует созданию дозонтальной подъемной силы при движении за счет разрежения, возникающего на верхней плоскости машины.

Вентилятор расположен в центре машины и воздух подается к соплам, размещенным на контуре. В соплах установлены заслонки, посредством которых можно регулировать подачу воздуха и этим создавать необходимый крен и движение в нужном направлении.

Проводимость

Суда на воздушной подушке на ходу имеют нулевую или выточно малую осадку. Это позволяет двигаться по засоренным фарватерам и отмелям, выходить на берег, двигаться над ледяной толщей замерзшей или замерзающей воды. Чем больше высота подъема таких судов над твердой поверхностью, тем больше препятствия они могут преодолеть.

Конечно, увеличение высоты подъема влечет за собой рост мощности воздухоподогревательной установки и снижает экономичность машины. Выше указывалось, что суда с сопловой схемой образования воздушной подушки обеспечивают при той же мощности высоту подъема в 1,4—1,6 раза большую, чем суда с камерной схемой. Чем больше размер машины в плане, тем относительно меньше требуемая мощность для подъема на одну и ту же высоту при прочих равных условиях.

Известно, что подъемная сила судна зависит от площади его в плане. Известно также, что площадь в плане изменяется пропорционально линейным размерам в квадрате — например для круга пропорционально квадрату диаметра. Периметр судна, определяющий требуемую на подъем мощность, изменяется пропорционально первой степени линейного размера. Таким образом, при увеличении линейного размера судна в мощности, создающей подъем, подъемная сила вырастает значительно больше. Например при росте диаметра только в два раза, подъемная сила вырастает уже в четыре раза и т. д. Следовательно, подъемная мощность на 1 т веса судна при росте размера судна уменьшается. В приведенном примере она уменьшится в два раза.

Отметим, что при камерной схеме легче осуществить упругие отражения воздушной подушки, значительно повышающие проходимость судна без увеличения мощности воздухоподогре-

Простейшей конструкцией упругого ограждения является эластичная захлопка, которую можно установить в носовой и кормовой частях машины. Такие захлопки позволяют машине пропускать препятствие без заметного снижения давления в подкулапной камере.

По бортам также могут быть применены эластичные занавески. К машинным с эластичными занавесками можно отнести опытный мотоцикл (рис. 41). Этот мотоцикл предназначен для



Рис. 41. Опытный мотоцикл на воздушной подушке конструкция инж. В. Н. Каволова.

движения только по грунту, однако принцип его движения может быть использован и для судов. Подкулапная камера спереди и сзади ограничена захлопками, а с бортов — стенками из эластичного материала. По внешним краям стенок задняя машина пропущены эластичные полосы — полозья, повторяющие неровности грунта. Движение машины вперед происходит за счет реактивной тяги, создающейся при выпуске воздуха из подкулапной камеры после поднятия задней захлопки.

Машина управляется при помощи штурвала, который соединен тягами с поворотным роликом, установленным за задней захлопкой. Ролик в нормальном положении прижат к земле.

Для подъема по наклонной поверхности упор двигателя должен превосходить вес машины, умноженный на тангенс угла

подъема. Таким образом, для преодоления подъема в 6° упор двигателя должен быть равен примерно 0,1 веса машины, что надо иметь в виду при проверке возможности выхода судов на берег или возможности следовать за свалком волн.

Отметим, что при спускании по поверхности, имеющей боковой (относительно направления движения) уклон, возникает сила, стремящаяся свести машину в бок, т. е. в данном случае вниз по наклонной поверхности, а при яском уклоне, кроме того, еще и свести в сторону, т. е. развернуть машину; упор двигателя должен быть достаточен для преодоления этих сил.

Для судов на воздушной подушке приведенные здесь соображения имеют существенное значение при встрече с большими волнами на яском курсе относительно их бега. Это особенно важно для судов с полным отрывом от воды, наиболее сильно подверженных дрейфу; суда с частичным отрывом, если они снабжены бортовыми лодками или килем, держатся насквозь к бегу волн, держатся более устойчиво.

Движение по воде и по твердой поверхности создает возможность круглый год эксплуатировать суда на воздушной подушке на замерзавших акваториях. Для южной страны, обладающей большим количеством замерзающих рек, водохранилищ и озер, возможность круглогодичной работы одних и тех же транспортных средств особенно заманчива.

Целесообразность эксплуатации зимой, а также в период ледостава и ледохода машины на воздушной подушке ставит перед конструкторами ряд задач. Например, вполне реально, что суда, приходя на льдом, будут вынуждены преодолевать и участки незамерзшей воды — полынья. Тогда они будут забрызгиваться, обледеневать. Обледенение для таких судов крайне нежелательно, так как оно приведет к увеличению веса и судно будет не в состоянии выйти снова на лед или на берег. Следовательно, отыскание эффективных мер борьбы с обмерзанием становится необходимым условием обеспечения зимней эксплуатации.

Вторым важным условием, связанным с зимней эксплуатацией, является обеспечение влажности. При движении над заснеженной поверхностью из-под купола машины будут вырываться вихри снега, которые могут сделать дальнейшее движение невозможным из-за потери видимости. Кроме того, вообще всякое движение в снежную погоду, в густую или мелкую, без особых мер предосторожности весьма опасно. Именно поэтому следует искать меры по предотвращению выхода воздуха из-под купола, в особенности в носовой части машины. Этого можно достичь, применяя в носу установку эластичных конструкций, описанных выше. Необходимо также предусматривать установку приборов для движения по курсу и маневрирования вследую, аналогично приборам, устанавливаемым на самолетах.

Двигатели

Для создания упора двигателя судов на воздушной подушке должны захватывать воду или воздух и отбрасывать их в направлении, обратном движению. Упор, создаваемый двигателем такого типа по закону количества движения, пропорционален произведению массы захватываемой воды (воздуха) на скорость, сообщаемую двигателем воде или воздуху.

Энергия, непроизводительно терзаемая в отбрасываемом потоке в единицу времени, пропорциональна произведению массы на квадрат скорости. Поэтому идеальный к.п.д. двигателя тем выше, чем больше масса захватываемой воды или воздуха и чем меньше скорость, сообщаемая двигателем отбрасываемому потоку.

Вода, над которой движется судно на воздушной подушке, не является такой неподвижной опорой, как земля. Использование воды как среды для создания упора весьма заманчиво. В этом случае могут быть применены обычные или частично погруженные гребные винты, либо водометные двигатели. Все они обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с воздушными двигателями: малыми размерами, незначительной шумностью во время работы и т. п. Но суда с водными двигателями могут выходить на берег только при наличии устройства для подъема винта из воды и дополнительного двигателя для перемещения по суше.

Водные двигатели на скоростях до 50 узл. обладают более высоким к.п.д., чем воздушные винты, во говоря уже о реактивных двигателях. Тем не менее, до настоящего времени за рубежом построено только три катера с водными винтами, плавающие без отрыва от воды со скоростями 18, 25 и 30—35 узл.

Частично погруженные винты и водометные двигатели являются очень перспективными для работы на больших мощностях и скоростях, т. е. на больших судах, выход которых на берег не предполагается. Однако освоение частично погруженных винтов и водометов для судов на воздушной подушке требует еще значительного объема научно-исследовательских работ.

Полная итог изложенному, можно сказать, что водные двигатели, по-видимому, будут использоваться на судах, плавающих на сравнительно малых и средних скоростях и на очень больших судах с большими скоростями хода. Для небольших и средних судов, плавающих на воздушной подушке на больших скоростях, водные двигатели неприменимы.

Перед конструктором судна на воздушной подушке выбор среды, в которой будет работать двигатель (вместе с тем выбор самого двигателя) представляет сложную задачу. Для того чтобы судно могло двигаться и над землей и над водой, такой средой должен быть воздух; в таком случае выбор дви-

телей может быть произведен лишь между воздушным винтом и воздухометом (специальный вентилятор или авиационный турбореактивный двигатель). Оба эти двигателя при использовании на судах обладают рядом серьезных недостатков.

Воздушный винт громоздок, имеет большой диаметр, занимает на судне много места, от него трудно достаточно надежно оградить людей и окружающие предметы. В морских условиях, особенно в штормовую погоду, работа воздушных винтов на судах еще не проверена и вряд ли особенно надежна. На малых скоростях к.п.д. воздушных винтов значительно снижается по сравнению с оптимальной величиной. Следовательно, на этих скоростях увеличивается бесполезная потеря энергии, и для достижения какой-то определенной скорости требуется значительно большая мощность двигателей.

Упор, развиваемый воздушными винтами во время работы на швартовых, колеблется в следующих пределах:

- а) для двигателей небольшой мощности — 2—3 кг/д.с.;
- б) для двигателей большой мощности — 1,5—2 кг/д.с.

Водные же винты при работе на швартовых развивают упор 5—6 кг/д.с.¹

На эксплуатационных скоростях хода (50—70 узл.) судов на воздушной подушке упор воздушных винтов, приходящийся на 1 д.с., примерно соответствует удельному упору водных винтов, а на полных ходах (70 узл. и более) даже превышает последний. Поэтому воздушные винты следует считать более экономичными, чем водные.

К числу воздухометных установок относят вентилятор-реактивный воздухомет и турбореактивный авиационный двигатель. Первый приводится в движение двигателем, находящимся на одной оси с вентилятором. Вся двигательная установка получается закрытой и защищенной от брызг и волн. Один и тот же вентилятор можно использовать для создания воздушной подушки и для упора; в этом случае моторная установка заметно упрощается.

Управляемость судна с воздухометной установкой достигается поворотом реактивной струи в нужном направлении. По этому типу принята динкущая установка на опытном катере «СР-№ 1».

Оба варианта установок имеют очень низкий к.п.д. Лучшие двухконтурные, для как их называют турбореакторные, двигатели на каждый килограмм тяги расходуют топлива 0,5 кг/час, а то время как расход топлива турбореактивных или поршневых двигателей с воздушными винтами на килограмм тяги на полных ходах не превышает 0,2—0,3 кг/час. Отсюда видно, что турбореактивные двигатели невыгодны для уста-

¹ В обоих случаях приведены данные для винтов регулируемого шага.

новки на судах на воздушной подушке и их применение может быть оправдано лишь для кратковременной работы, например для выхода на берег (если в качестве осевых движителей используются водяные винты), для преодоления подъемов и в других случаях кратковременной форсировки хода машины.

Если часть воздуха, используемого на образование воздушной подушки, направить на создание упора, то к.п.д. турбореактивной установки несколько повышается, но все же остается значительно ниже к.п.д. воздушных винтов. Например, на катере „СР-№ 1“ на создание упора в 225 кг затрачивается мощность 150 л.с., в то время как оптимальный воздуш-

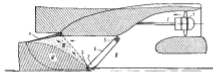


Рис. 42. Схема воздушно-водяного реактивного судовой движителя: 1 — зона воздушного притока на вентиляторе; 2 — зона сжатия воздуха в насосе; 3 — зона смешивания воды и воздуха; 4 — зона расширения воздуха; 5 — зона выхлопа; 6 — зона расширения воздуха; 7 — зона выхлопа; 8 — зона расширения воздуха; 9 — зона выхлопа.

ный винт при такой же мощности дал бы упор до 400 кг. Вентиляторы целесообразно использовать при малых поддуловых давлениях, когда скорость истечения незначительно превосходит скорость движения судна. Это возможно при малом увеличении веса корпуса.

При использовании воздуха, направленного для создания подушки и упора, полезно придавать судну дифферент на нос. В таком случае истечение воздуха из-под кормовой части поддувального пространства усиливается и концентрируется только в этом определенном месте в виде интенсивной струи. В результате создается дополнительная реактивная тяга. На судах с общей поддувальной камерой (с ограничением истечения воздуха) вместо придания судну дифферента на нос можно несколько придонять кормовую захлопку.

Дальнейшим развитием идеи использования воздуха, подаваемого для создания подушки, в качестве движителя является

подача распыленной воды в реактивный поток, выходящий из-под купола в кормовом направлении. В этом случае увеличивается масса реактивной струи и снижается ее скорость, в результате снижается потеря энергии в охлаждении за корму потока. Увеличение упора за счет увеличения массы отбрасываемого назад реактивного потока не нужно смешивать с ограничением выхода воздуха из-под купола созданием воздушной завесы вокруг контура днища, о чем говорилось выше. При тщательном распылении воды, когда все водяные частички хорошо перемешиваются с воздухом, последний сообщает свою скорость водяным частичкам. Конструктивно такая подача воды может быть осуществлена в виде распылителя, установленного в районе кормовой захлопки.

При движении судна вода захватывается с поверхности, подается в распылитель и в распыленном виде через направляющий аппарат выбрасывается за корму, как показано на рис. 42.

Вентиляторы

Одним из самых важных механизмов судов на воздушной подушке являются вентиляторы, подающие воздух для зарядки, а иногда и для создания реактивной тяги. Наиболее подходящими для судов указанного типа являются осевые вентиляторы. Они требуют тщательного изготовления и столь же тщательного последующего ухода.

За последние десятилетия теория и практика вентиляторостроения сильно продвинулась вперед и связи с развернувшимся строительством турбореактивных двигателей, а также прогрессом в области оборудования шахт. Однако для наших судов требуются вентиляторы специальной конструкции, которые до сих пор изготавливаются единицами по индивидуальным заказам.

Основным требованием, предъявляемым к судовым вентиляторам, является минимальный вес при очень большой производительности. Шахтные вентиляторы вполне подошли бы по своей производительности, но они совершенно не годны для установки на судах вследствие своего непомерно большого веса. Компрессоры турбореактивных двигателей, наоборот, вполне подходят по своим весовым характеристикам, но создаваемый ими упор излишне велик, а производительность недостаточна.

При проектировании вентилятора для судна на воздушной подушке нужно учитывать следующие особенности его работы. Вентилятор должен устойчиво работать при переменной производительности и при переменной протоподдаемости. Расход воздуха меняется при изменении скорости хода судна, а протоподдаемость — при заливании полной выхлопной воздушки из-под купола, а также при изменении нагрузки. Для удешевления

требованиям нормальной, устойчивой работы нужно, чтобы напор вентилятора не снижался при уменьшении расхода воздуха.

Статический к.п.д. современных вентиляторов достигает 70—65%, а полный к.п.д. — 80—85%. Для обеспечения возможности регулировки работы вентиляторов и облегчения их пуска необходимо рабочие лопатки или лопатки направляющего аппарата делать поворотными, чтобы в момент пуска двигателя ставить их под малым углом атаки и этим снижать величину пускового момента. Это особенно важно, если в качестве двигателя используются газовые турбины с общим валом, имеющие малый пусковой момент.

На судах с сопловой схемой можно устанавливать вентиляторы с большим напором и меньшей производительностью. Такие вентиляторы обладают сравнительно меньшими габаритами и весом. Это обстоятельство является особым преимуществом сопловой схемы.

Двигатели

Выбор типа двигателя для судов на воздушной подушке зависит от многих факторов и в настоящее время еще нельзя дать какие-нибудь определенные рекомендации в этой части и достаточно полно сформулировать требования к главным энергетическим установкам. Это можно будет сделать лишь после накопления известного опыта служб таких судов. Пока можно сделать только краткий обзор более или менее подходящих механизмов.

Наиболее подходящими по весу и габаритам являются авиационные газовые турбины. Однако они обладают весьма ограниченными моторесурсом, сравнительно высокой стоимостью и требуют обязательной защиты от морской воды, песка, пыли и т. п. Положительным качеством этих турбин, так же, как и авиационных турбореактивных двигателей, является то, что они работают на керосине, а в будущем можно ожидать перехода их на моторное топливо, т. е. на менее взрывоопасный вид горючего. Установка двигателей, работающих на безгине, являясь нежелательна из-за пожарной опасности.

Использование атомных установок пока проблематично вследствие их большого веса и, по-видимому, эти установки будут применять лишь на океанских судах.

Применение легких катерных двигателей с водяным охлаждением пока затруднено вследствие необходимости создания воздушных холодильников. Однако на судах, не предназначенных для выхода на берег, катерные дизели можно с успехом применять.

Подводя итог краткому обзору энергетических установок, пригодных для судов на воздушной подушке, можно сделать вывод, что в настоящее время и в ближайшем будущем наиболее пригодными явятся при общей мощности установки:

до 2000—3000 л. с.	самолетные бескомпрессорные двигатели и легкие катерные двигатели;
до 100 000 л. с.	самолетные газовые турбины;
более 100 000 л. с.	атомные установки

Сопротивление движению и скорость хода

Выше были кратко рассмотрены основные составяющие сопротивления движению. Теперь следует остановиться на этом вопросе более подробно. Прежде всего отметим, что установившегося расчета сопротивления и скорости хода для судов на воздушной подушке пока еще не существует. Наиболее надежным способом является расчет сопротивления по результатам испытаний моделей в бассейне. Однако испытания моделей сильно осложняются необходимостью устанавливать на модели воздуходувку; модель получается значительно тяжелее, чем это требуется и поэтому во время испытаний для снижения веса модели приходится ее подвешивать через блоки на разгружающие противовесы.

При испытании судов на воздушной подушке мы встречаемся еще с одним видом сил — силами поверхностного натяжения, не подчиняющимися законам подобия сил вязкости и инерционных сил.

Силы поверхностного натяжения влияют на характер бризгообразования, которое, в свою очередь, сказывается на величине сопротивления, и особенности, если корпус судна вследствие его конструкции сильно забрызгивается. Чтобы исключить влияние сил поверхностного натяжения, необходимо на модели иметь достаточно высокое поддувное давление (около 40—50 кг/м²), при котором скорость истечения воздуха превышает некоторую определенную критическую величину. Иначе говоря, модель должна быть достаточно большой.

В настоящее время при испытаниях моделей судов на воздушной подушке наиболее правильным считается соблюдение законов подобия при одинаковых числах Фруда и расчет гидродинамического сопротивления по кубу масштаба, как это делается при подсчете сопротивления движению реальных глиссеров. Этот метод достаточно точен, если силы трения невелики.

¹ Пригодны для заезда, которые не предназначаются для выхода на берег и движутся над твердой поверхностью.

т. е. для судов с полным или частичным отрывом от воды. Для судов с погруженными в воду килем или плаучестями, по-видимому, нужно применить методы пересчета, принятые для водонагруженных судов.

Элементы воздушной подушки в соответствии с законами динамического подобия моделируются:

- площадь поддувальной камеры — по квадрату линейного масштаба (n^2);
- воздушное давление — по линейному масштабу (n);
- производительность вентилятора — по линейному масштабу в степени 2,5 ($n^{2.5}$);
- мощность вентиляционной установки — по линейному масштабу в степени 3,5 ($n^{3.5}$).

Сопротивление аэродинамическое, потери импульса и т. п. нужно определять по результатам продувки в аэродинамической трубе или расчетным путем.

Испытания моделей судов на воздушной подушке в аэродинамических трубах также имеют свои трудности, так как до настоящего времени практически невозможно моделировать вентиляционную установку в работе в основном из-за того, что установка получается большой, и ее нельзя вписать в наружный габарит модели. Но такое моделирование необходимо, в особенности для судов с полным отрывом от воды, поскольку у этих судов взаимодействие воздушного потока, выходящего из-под кювела, с забегавшим машинным потоком воздуха весьма интенсивно и пренебрегать им нельзя.

На иловомощного вида, что испытания моделей в опытовых бассейнах и аэродинамических трубах пока еще связаны со значительными затруднениями и не дают полностью надежных результатов. Этим можно объяснить, что во многих случаях конструкторы все еще предпочитают строить самодельные модели большого масштаба и на них изучать вопросы движения проектируемых судов.

Весь сложный комплекс вопросов, связанных с управляемостью, устойчивостью на курсе, методикой вождения машин и т. д., конечно лучше всего изучать на крупных самодельных моделях. В бассейнах же и аэродинамических трубах можно в наиболее образно исследовать в основном частые вопросы.

Выше были рассмотрены составляющие сопротивления воды и воздуха движению водонагруженных судов. Теперь рассмотрим эти же вопросы в приложении к судам на воздушной подушке.

Воздушное сопротивление воздушной подушки. Судно на воздушной подушке, движущееся по воде, создает систему давлений. Водообразование от такой системы давления аналогично водообразованию, создаваемому всяким водонагруженным судном. Создается в основном одна группа поперечных и расходящихся волн. Если же отношение длины судна к ширине

близко к единице, то возникает, главным образом, система только поперечных волн. Теоретическая гидромеханика дает возможность подсчитать волновое сопротивление в зависимости от конфигурации системы давлений и ее величины. Иначе говоря, можно, не прибегая к услугам испытательного бассейна при теоретическом изучении динамики движения судна, определить условия, при которых данная система давлений будет иметь минимальное по величине волновое сопротивление, и также определить скорость, при которой может быть достигнут этот минимум сопротивления. Отметим, что для упрощения задачи сопротивлением воздуха, а также сопротивлением кустура, аэрирующегося истечению воздуха на поддувальной пространстве, можно пренебречь.

Упрощая вопрос, следует рассматривать только группу поперечных волн (рис. 43). С ростом скорости хода судна длина поперечных волн увеличивается.

Сопротивление достигает максимума, когда кормовая оконечность находится на подоше волны и ходовой дифферент велик и, наоборот, сопротивление падает до минимума, когда корма на вершине волны и ходовой дифферент небольшой. Последней относительный максимум сопротивления наступает, когда длина волны в два раза больше длины системы давлений (или длины судна). Это соответствует относительной скорости $Fg=0,6-0,7$. Если добавим сопротивление от расходящихся волн, то картина явления усложняется, а максимум и минимум сопротивления становятся не так ясно выраженными.

Исследования показали, что применение воздушной подушки может быть технически выгодным, когда относительная скорость судна $Fg > 0,5-0,7$. Получается определенная зависимость между длиной судна и скоростью хода, при которой движение на воздушной подушке может быть выгодным:

Длина судна в м	Скорость движения, км/ч
15	25-35
30	35-50
60	50-75
90	65 и более

При движении на мелководье, например на реках, эксплуатационная скорость судов на воздушной подушке должна быть также значительно выше так называемой критической скорости, при которой депозитивное волновое сопротивление, вызванное мелководьем, достигает своего максимума $v_{kp} = \sqrt{gH}$, где H — глубина фарватера.

Для судов на воздушной подушке основным условием достижения малого удельного волнового сопротивления является

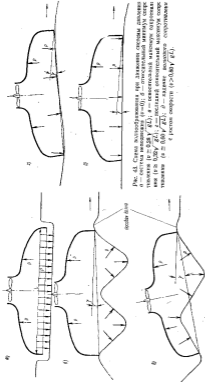


Рис. 43. Сечение полубоковой части Длинная сторона шпангоута
 a — система шпангоутов малой ширины
 b — относительная малая ширина шпангоута
 c — система шпангоутов малой ширины малой относительной ширины
 d — система шпангоутов малой ширины малой относительной ширины
 e — система шпангоутов малой ширины малой относительной ширины
 f — система шпангоутов малой ширины малой относительной ширины

возможно меньшее подкузовное давление и малое отношение длины судна к его ширине.

Волновое сопротивление прямоугольного судна с постоянной величиной удельного давления по площади может быть определено по формуле

$$R_w = \frac{4D^3}{\pi v^2 L^3} \cdot E,$$

где: v — скорость движения, м/сек;
 D — водоизмещение судна, кг;
 L — длина судна, м;
 ρ — плотность воды, $\frac{\text{кг-сек}^2}{\text{м}^3}$;

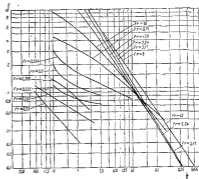


Рис. 44. Зависимость коэффициента сопротивления

E — коэффициент сопротивления, определяемый по кривой (рис. 44) в зависимости от относительной скорости и отношения длины к ширине.

На рис. 45 приведены рассчитанные по вышеприведенной формуле кривые, характеризующие удельное волновое сопротивление прямоугольного судна, которые в расчетах заменяется

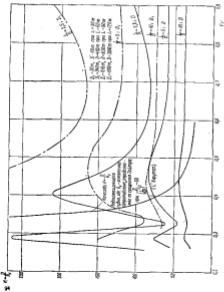


Рис. 45. Турбулентность вращающейся кавитации судна в воздухе. Показаны коэффициенты сопротивления воздуха при различных углах крена судна с учетом влияния кавитации. 1 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 0.5^\circ$; 2 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 1^\circ$; 3 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 1.5^\circ$; 4 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 2^\circ$; 5 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 2.5^\circ$; 6 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 3^\circ$; 7 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 3.5^\circ$; 8 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 4^\circ$; 9 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 4.5^\circ$; 10 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 5^\circ$; 11 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 5.5^\circ$; 12 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 6^\circ$; 13 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 6.5^\circ$; 14 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 7^\circ$; 15 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 7.5^\circ$; 16 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 8^\circ$; 17 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 8.5^\circ$; 18 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 9^\circ$; 19 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 9.5^\circ$; 20 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 10^\circ$; 21 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 10.5^\circ$; 22 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 11^\circ$; 23 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 11.5^\circ$; 24 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 12^\circ$; 25 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 12.5^\circ$; 26 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 13^\circ$; 27 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 13.5^\circ$; 28 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 14^\circ$; 29 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 14.5^\circ$; 30 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 15^\circ$; 31 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 15.5^\circ$; 32 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 16^\circ$; 33 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 16.5^\circ$; 34 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 17^\circ$; 35 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 17.5^\circ$; 36 — коэффициент сопротивления воздуха при $\Delta = 18^\circ$.

так называемой приуголодной системой давления с различным отношением сторон и разной интенсивностью давления в сравнении с удельным остаточным сопротивлением водовзмещающего судна, рассчитанным по графикам Тейлора.

Исследования показали, что целесообразно применять суда с малым удалением, с отношением сторон 2,5 и менее, а также с малым подкупольным давлением. При уменьшении удельного подкупольного давления в два раза волновое сопротивление также уменьшается в два раза.

Сопротивление трения. В результате подъема судна на воздушную подушку площадь его смоченной поверхности становится равной нулю (у судов с полным отрывом от воды) или значительно уменьшается (у судов с частичным отрывом от воды или вообще без отрыва). В последнем случае нижняя часть корпуса омывается водой и поэтому сопротивление трения все же остается довольно ощутимым, особенно на большом ходу. Для иллюстрации отметим, что 1 м² обшивки, омываемой водой, при скорости около 120 км/час испытывает силу трения, равную 200 кг. Поэтому для уменьшения трения на больших скоростях выгоднее большую мощность затрачивать на увеличение высоты подъема судна.

Воздушное сопротивление. Воздух, выходящий из-под купола, перемешивается с воздухом встречного потока. В результате получается весьма сложная картина распределения воздушных потоков. Приближенные расчеты, основанные на лабораторных измерениях, показывают, что воздушное сопротивление движения судна с полным отрывом от воды составляет почти половину полного сопротивления, тогда как у водовзмещающих судов сопротивление воздуха не превосходит 5% полного сопротивления. Поэтому следует большое внимание обращать на проектирование наружных очертаний корпуса и надстроек с целью придания им наиболее обтекаемых форм. Для судов со скоростями движения 120 км/час и более следует также путем придания поверхности надстройки соответствующей формы добиваться получения дополнительной подъемной силы, которая помогла бы воздушному давлению поднимать судно на подушку.

Сопротивление потери импульса. Это сопротивление, присутствующее только судам на воздушной подушке, в случае неидеальной конструкции выходов воздуха из подкупольного пространства, может быть довольно значительным. Затраты энергии на потерю импульса уменьшаются, когда воздух, выходящий из-под купола, направляют в корму, что дает некоторую реактивную силу.

Выбор схемы создания воздушной подушки. Выбор схемы образования воздушной подушки и степени отрыва от воды диктуется необходимостью обеспечить для судов на воздушной

подушке: мореходность, соответствующую району плавания и условиям службы на трассе; автономность и дальность плавания; заданную скорость хода; достаточную (но по возможности низкую) мощность механической установки.

Для каждой комбинации указанных факторов может быть рекомендована та или иная схема. Универсальной схемы, которая была бы подходящей для любого судна на воздушной подушке, пока еще нет. В частности, для судов со скоростью движения до 120 км/час более подходящей является схема с бортовыми килем или плаучестиями. Для судов же с большими скоростями хода более рациональной будет схема с полным отрывом от воды.

Следует обратить внимание на необходимость сопоставимого сравнения судов на воздушной подушке между собой и с судами других типов с точки зрения их ходовых характеристик. Это сравнение целесообразно производить, сопоставляя значения так называемого пропульсивного качества при одинаковых относительных скоростях (относимых к водоизмещению), т. е.

$$K_{\text{тв}} = \frac{v}{\sqrt{gV/D}}$$

где: v — скорость движения, м/сек;
 g — ускорение силы тяжести, м/сек²;
 D — полное водоизмещение, м³.

Пропульсивное качество вычисляется по формуле

$$K_{\text{тв}} = \frac{Dv}{\Sigma N}$$

где: ΣN — суммарная мощность силовой установки, затрачиваемая на движение и создание воздушной подушки, л.с./сек;

D — полное водоизмещение, м³;
 v — скорость хода, м/сек.

Напомним, что сравнивать пропульсивные качества различных судов можно при условии более или менее полного совпадения их относительных скоростей, поскольку, как доказал опыт, пропульсивные качества снижаются с ростом относительной скорости. В табл. 2 приведены некоторые сведения о пропульсивном качестве и энергооборуженности некоторых судов на воздушной подушке и других транспортных средствах¹.

¹ В приведенном графе даны ориентировочные характеристики для ряда судов на воздушной подушке (малых).

Из табл. 2 видно, что в настоящее время лучшие образцы опытных катеров и судов на воздушной подушке уже приближаются по своим ходовым характеристикам к судам на подводных крыльях, хотя разрыв между этими двумя типами судов все еще велик и нужна большая работа, чтобы суда на воздушной подушке могли бы полностью конкурировать с крылатыми судами, тем более, что последние также переживают эпоху бурного роста.

Таблица 2

Пропульсивное качество и энергооборуженность судов на воздушной подушке и других транспортных средств

Наименование типа судна или машины	Скорость движения, м/сек	Относительная скорость, $V_{\text{тв}}$	Пропульсивное качество	Удельная мощность
Суда на воздушной подушке				
Катер „СР-№ 1“ „Хвосторифе“ (со установкой турбореактивных двигателей)	13	3,1	1,51	111
Катер „Мана“	36	6,0	3,5	100
Опытный катер фирмы В. Девил „Хайпострик“	9	2,2	4,5	27
	126	2,8	3,15	80
Суда и транспортные средства других типов				
Гидропланы на подводных крыльях „Ракета“	165	3,1	6,9	30
Самолет	—	—	9—14	200
Вертолет	—	—	3—4	—
Аэроплан	—	—	—	80—130
Автомобиль	—	—	—	35

На рис. 46 показаны кривые предельного пропульсивного качества водоизмещающих судов и аналогичные характеристики ряда построенных и спроектированных судов на воздушной подушке и судов на подводных крыльях. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что показанные на рис. 46 характеристики для построенных судов не превышают 4,5, тогда как во вновь разработанных проектах судов на воздушной подушке пропульсивные характеристики приближаются к 15 (напри-

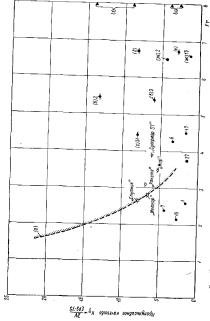


Рис. 46. Сравнительная диаграмма пропульсивного качества судов на воздушной поддержке.

01 - традиционные суда для морского флота (01 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 02 - традиционные суда для морского флота (02 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 03 - традиционные суда для морского флота (03 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 04 - традиционные суда для морского флота (04 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 05 - традиционные суда для морского флота (05 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 06 - традиционные суда для морского флота (06 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 07 - традиционные суда для морского флота (07 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 08 - традиционные суда для морского флота (08 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 09 - традиционные суда для морского флота (09 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 10 - традиционные суда для морского флота (10 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 11 - традиционные суда для морского флота (11 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 12 - традиционные суда для морского флота (12 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 13 - традиционные суда для морского флота (13 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 14 - традиционные суда для морского флота (14 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 15 - традиционные суда для морского флота (15 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 16 - традиционные суда для морского флота (16 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 17 - традиционные суда для морского флота (17 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 18 - традиционные суда для морского флота (18 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 19 - традиционные суда для морского флота (19 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 20 - традиционные суда для морского флота (20 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 21 - традиционные суда для морского флота (21 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 22 - традиционные суда для морского флота (22 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 23 - традиционные суда для морского флота (23 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 24 - традиционные суда для морского флота (24 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно); 25 - традиционные суда для морского флота (25 - 0 - км, высота паруса 12 м, усовершенствованное судно).

мер, английской паром водоизмещением 400 т с усовершенствованной соловой схемой); [на рис. 46 см. точку (6) 3].
 Мы находимся перед моментом резкого качественного скачка в развитии судов на воздушной подушке. Если даже после осуществления новых проектов аэроподшипное качество получится ранним не 15, а 10-12 и то уже будет достигнуто значительное превосходство судов на воздушной подушке над крылатыми судами.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Мы познакомились с принципами движения по воде на воздушной подушке, рассмотрели положительные и отрицательные стороны нового, рождающегося транспортного средства, определенным образом отличающегося от остальных дивные известных плавучих средств.

Не нужно обладать фантазией, чтобы оценить по достоинству необычные перспективы нового типа транспорта. Действительно, крыло-таран, например, размером 60×40 м в плане и с двательной установкой мощностью 72 000 л. с., способен перевозить более 400 пассажиров со скоростью более 300 км/час.

На линии Одесса — Батуми для таких крыло-таранов с успехом заменяет 8 больших, дорогостоящих пассажирских судов.

На сибирских реках турбоходы, обладающие двигательной установкой мощностью 12 000 л. с., могут перевозить до 300 пассажиров со скоростью более 130 км/час, что также заменит несколько больших теплоходов, требующих для постройки многих сотен тонн металла и обслуживаемых многочисленными командами, дорогостоящей обстановкой и службой пути и т. п.

Уже в ближайшем будущем суда на воздушной подушке будут обладать следующими качествами: возможностью движения с высокими скоростями, недоступными для обычных водонесущих судов и затруднительными для крылатых судов из-за квантания крыльев; неограниченностью размеров при одновременной высокой скорости хода; возможностью движения по мелководью и порожению по болотам, пескам, снегу, льду, в условиях ледостава и ледохода, что недоступно любому другому транспортному средству, за исключением амфибии; повышенной мореходностью по сравнению с глиссирующими судами.

Перечисленные здесь качества, присущие судам на воздушной подушке, резко расширяют область их применения и ставят эти суда в совершенно исключительное положение в ряду средств передвижения по воде.

Выше были рассмотрены архитектурные и конструктивные особенности судов нового типа и отмечен интерес, который проявляется в капиталистических странах к судам на воздушной подушке.

В США при министерстве обороны создан специальный комитет для координации деятельности различных организаций в области изучения, проектирования и строительства транспортных средств, использующих «алюминиевые близины земли» (т. е. воздушную подушку).

В Англии над проблемой движения на воздушной подушке работают четыре крупные фирмы, координирующие свою деятельность и обменивающиеся полученным опытом через специальное объединение.

Капиталистические фирмы стремятся первыми освоить новую технику и получить сверхприбыли, а правительство капиталистических стран жаждет установить военную монополию на эти столь многообещающие средства.

Перед конструкторами-создателями судов на подушке стоят большие трудности как в теоретической области, так и в области практического строительства, оборудования и оснащения судов. Особенности эксплуатации машин на воздушной подушке и управления ими еще не изведаны и эти области содержат в себе много неожиданностей.

Выше было обращено внимание на те проблемы, которые необходимо разрешить теперь же, для того чтобы обеспечить внедрение судов на воздушной подушке в широкий обиход.

Можно заметить перспектив развития судов нового типа и попытаться определить пути их осуществления. Область применения судов на воздушной подушке представляется неограниченно широкой, а строительство их видимо пойдет по следующим направлениям:

1. Суда индивидуального пользования (спортивные, разведочные, грузовые);
2. Суда коллективного пользования (речные, озерные, морские малогабаритные и для открытого моря, пассажирские, грузовые, промысловые, другого назначения).

Широкому развороту строительства судов на воздушной подушке препятствуют проблемы, а процессе решения которых следует:

- а) подготовить теоретический и опытный материал для создания наиболее перспективных схем движения и подъема на подушку;
- б) создать высокопроизводительные и вместе с тем легкие, долговечные и надежные вентиляторы и энергетические установки;
- а) обработать новые формы корпуса, которые могли бы обеспечить создание и удержание воздушной подушки и осмо-

пременно с этим обеспечивали бы хорошую управляемость, высокие ходовые качества и мореходность;

г) создать новые материалы для корпуса — легкие, эластичные, прочные и стойкие против действия морской воды;

д) создать специальные воздушные вентили, обладающие большим упором на относительно малых скоростях хода;

е) разработать подометные движители и полупотруженные венты, рассчитанные для работы на больших скоростях;

ж) приспособить авиационные газоперекачивающие турбины для работы в морских условиях;

з) снизить шумность работы механизмов, что особенно важно для судов, плавающих на внутренних водных путях;

и) снизить брызго- и пылеобразование.

Поскольку эти проблемы еще находятся в стадии разрешения, то конструкторы и изобретатели вынуждены пока подчиняться характеристикам выпускаемых механизмов размера, скорости хода и высоты подъема над водой проектируемых судов. Однако время даром не теряется. Накопывается опыт эксплуатации первых построенных судов, находят лучшие решения отдельных конструктивных вопросов, накапливаются результаты исследований в лабораториях и в открытых бассейнах. Готовится переход от накопленного количества к новому качеству. Когда будут разрешены хотя бы частично перечисленные выше проблемы и, таким образом, отпадут существующие пока препятствия, встанет новая эпоха в развитии воздушного транспорта — эпоха судов на воздушной подушке.

За последние 2—3 года за рубежом было построено более 25 экспериментальных катеров, хотя нужно отметить, что больше половины из них скорее служат делу рекламы и не являются объектами серьезных научных исследований.

В приложении приведены основные сведения, а также проектные данные по некоторым строящимся или проектируемым судам на воздушной подушке. Эти сведения дополнены из зарубежной периодической литературы¹.

Экономичность судов на воздушной подушке возрастает с увеличением их размеров. Для иллюстрации общих закономерностей и зависимости аэродинамического качества и грузоподъемности от размеров, величины подкулольного давления и т. д. на рис. 47 приведены расчетные кривые судов с соловой схемой и с полным отрывом от воды (суда в плане круглой формы). Кривые построены в предположении, что вдавливаемый под кулол воздух используется также и для создания тяги (интервальная схема), и даны в зависимости от водонизещения (веса) судна или машины, высоты подъема и среднего подкулольного давления.

¹ Основные данные взяты из „SAE Journal“, № 4 за 1961 г.

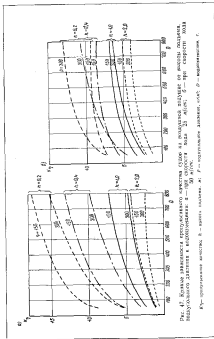


Рис. 47. Кривые зависимости среднего подкулольного давления судна на воздушной подушке от высоты подъема, подкулольного давления в водонизещении и — при скорости хода 25 м/сек; 5 — при скорости хода 50 м/сек.

Кр — проектные данные; h — высота подъема; P — среднее подкулольное давление; A — коэффициент.

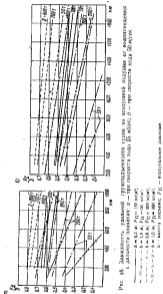


Рис. 48. Зависимость дальности горизонтального слета из воздушной подушки от коэффициента подъемной силы и дальности полета: W — при скорости около 25 м/сек; V — при скорости около 50 м/сек.

При расчете графиков к. п. д. воздушных винтов и вентиляторов принимался равным 0,65; а величина коэффициента воздушного сопротивления $C_x = 0,05$ (в функции от площади подкупольной части). Величина вязкого и брызгового сопротивления принята равной 1% веса судна. Изучая приведенные графики, мы видим, что коэффициент пропульсивного качества растет с увеличением веса и снижается с повышением высоты подъема и удельного подкупольного давления.

Для судна того же типа на рис. 48 даны кривые зависимости удельной полезной грузоподъемности P_u/D судна от дальности плавания. Вес корпуса с оборудованием, отнесенный к единице площади подкупольного пространства, принимался равным 50 кг/м^2 , вес механизма $1,5 \text{ кг/л. с.}$, расход топлива принят равным $0,25 \text{ кг/л. с.}$ в час. Отметим, что на практике такие весовые характеристики пока еще не достигнуты и реальные значения удельной полезной грузоподъемности даже при малых высотах подъема не превышают 0,3—0,4.

Повидимому, в недалеком будущем появятся спортивные суда на воздушной подушке для гонок, охоты и туризма. Первым приближением к решению этой задачи можно считать катер на воздушной подушке без отрыва от воды, построенный в Антане.

На этом катере воздушная подушка ограничена двумя бортовыми плавучестаями и заклоной в носу. Воздух, образующий воздушную подушку, выходит наружу через корму. Мощность мотора винтового равна 2,5 л. с., а мощность подвесного мотора — 7,5—10 л. с. На тихой воде катер с одним человеком на борту развивает скорость до 18 узл.

Возможно, такие машины будут представлять собой смесь автомобиля с катером, а ограждение воздушной подушки будет сделано из упругих материалов. Комбинация наземного и водного транспортного средства представляется крайне заманчивой для туристов, так как возможность передвижения в любом направлении, вне зависимости от состояния дорог и наличия мостов сделает путешествие особенно привлекательным. Препятствиями останутся лишь верооятность почвы, гни, камни высотой более 300—400 мм и крутые подъемы.

Такие машины как катера, несомненно, найдут спрос, такой же широкий, каким в наше время пользуются мотоциклы и мотороллеры.

Проектные данные некоторых судов

(общие черты в про-

и машин на воздушной подушке

всех типов судов)

№ п/п	Наименование судна (классификация)	Страна (территория)	Год постройки	Страна судна (классификация)	Размеры, м			Водоизмещение, т	Средняя скорость, км/ч	Р _{ср} , л/с
					длина L	ширина B	высота H			
1	Катер «Корсар» СР-№ 1* [VII]	США (территория) Аляска	1959	Кольчатое солено-двойное	9,1	7,7	0,25	3,9	0,3	0,08
2	Катер «Корсар» СР-№ 2* [X]	То же	1962	Кольчатое солено-модернизированное	18,4	9,0	7,8	27,0	10 (80-70 л/сек/ч)	0,37
3	Судно-баржа для Ла-Манша [VII]	Франция	1961	Кольчатое солено	—	—	—	400,0	100,0	0,40
4	Катер «Корсар» БН-1* (базисный) [VIII]	Франция (территория) Аляска	1960	Кольчатое солено	Длина 5,75	—	3,0	1,0	1,0	0,50
5	Катер «Корсар» БН-2* [XVI]	То же	1961	Кольчатое солено	8,3	5,1	2,8	2,5	1,1 (7 л/сек/ч)	0,44

Вместимость воздушной подушки, м ³ /с	Вместимость, N, л. с.	Скорость		Удельная мощность Р _{уд}	Время разгона, с	Период разгона, с	Продолжительность работы, ч	Подвижность	Примечания
		км/ч	м/сек						
100	435	25	12,6	3,1	0,3	111	1,51	Воздушно-реактивный движитель В 1960 г. установлен дополнительный ТРД, масса 400 кг	Скорость 40-50 узлов с дозвуковыми установками турбореактивных двигателей
330	4 x 815	70	30	6,5	0,3-0,5	125	3,98	Воздушные винты на поперечных валках	—
150	4000-20000	90	45	5,4	1,2	100	5,18-12	Воздушные винты	Специально построены
100	170	35	18	—	0,3-0,4	85	2,63	2 воздушных винта регулируемого шага	—
—	—	40	25	—	0,30	—	—	Воздушно-реактивный движитель (оборотные лопасти и сопла)	—

№ п/п	Наименование (код объекта)	Среднее (страна)	Год постройки	Сила тока (кВт/час)	Размеры, м				Продольная ось, колесный путь, м	Продольная ось, колесный путь, м	$\frac{D}{d}$
					длина с	высота в	ширина в	ширина в			
6	"Илеи" (XIII)	Кара-Кумуляк, Узбекистан	1960	Общая гидростатическая нагрузка	10,0	0,1	2,1	7,0	—	—	
7	Опытный вагон (XIV)	В. Давид, Аргентина	1961	Соплового сечения в носу и в хвосте, до 4-го ряда колес	20,0	4,0	—	4,5	—	—	
8	Опытная модель "СЕМ-III" (XII)	Научно-исследовательский институт авиации (США)	1961	Соплового сечения, конический	6,6	3,6	—	1,0	ок. 0,8	0,5	
9	"Хавкер-Скуатер" (XI)	Рэнсом, США	1961	Коническое сопло	—	—	—	0,18	0,09	0,50	
10	"Гидрострек" ХМС-1" (X), (XIII)	Хьюз, США	1960	Общая гидростатическая нагрузка	6,8	3,2	2,5	3,0	1,0	0,33	

Длина сопла, м	Макс. диаметр, мм	Скорость		Высота парения, м	Объемный расход, м³/сек	Продольная ось, колесный путь, м	Различия	Примечание	
		устьевая	в хвосте						
20	2 × 300 × 110	51	25	6,0	0,3—0,4	100	3,5	Воздушные винты	Воздушная нагрузка создается в контурировании. Точная система создания воздушной нагрузки не имеется.
ок. 80	2 × 25 × 25	16	9	2,5	Без отрыва	27	4,5	Водяные винты	Испытание колес на воду в воде 0,3 м, конический сопло, 4-колесный
ок. 9,0	2 × 80	ок. 26	13,6	4	До 0,45	100	1,8	Воздушно-реактивный двигатель	Двигатель: 2 газовых турбины
100	20	5	2,6	—	0,20	127	0,28	Двигатель обеспечивается наклонной эжекцией	—
138	3 × 80	25	12,6	2,8	Без отрыва	80	2,1	2 водяных винта	Бортовые колес. в носу и хвосте водная нагрузка

М. н. э.	Наименование судна (воздушного)	Страна (страны)	Год постройки	Система (системы)	Размеры, м			Вес (весовая нагрузка), т	Продолжительность полета, ч	Дальность, км	Длина разбега, м	Максимальная скорость, км/ч	Скорость	Высота взлета, м	Продолжительность полета, ч	Продолжительность полета, ч	Высота полета, м	Примечание	
					длина	размах крыла	высота												
11	DTV (XIII)	Канада, США	—	Объемно-вакуумная камера	4,8	2,5	1,3	0,43	0,07	0,16	—	290	—	—	—	—	—	Создание модели зазора по вертлюгу лопатки	
12	Модель 305 (XIII)	Болгария, СССР, США	—	Объемно-вакуумная камера	5,4	2,4	1,2	0,99	0,22	0,25	—	63	—	—	—	—	—	—	
13	Модель 2033 "Хидроскопический" (XIII)	То же	1930	Создание модели в вакууме и в воде, по бортам воды	5,4	2,4	1,3	1,10	0,36	0,32	—	140	—	—	—	—	—	Водный тест	
14	"Аэростат" (XIII)	Безаэродинамическая, США	1960	Объемно-вакуумная камера	2,1	1,4	0,9	0,16	0,07	0,47	—	36	от 35	12,5	—	0,85	100	1,20	Воздушно-реактивный двигатель
15	"Аэробоб" (XIII)	Берлин, Массачусетт, США	1939	Квадрантальный	2,5	1,8	0,8	0,37	0,08	0,30	60	72	34	17,2	6,8	0,35	286	0,86	Открытие в корке воздушной струи с помощью направленных лопаток
16	То же (XIII)	То же	Проект	Создание модели	4,9	2,4	1,7	1,0	0,36	0,36	—	280	35	—	—	0,30	—	—	Проектные данные

№ п/п	Наименование судна (категория)	Страна (город)	Год постройки	Содержание системы (обозначение)	Размеры, м				Продольная устойчивость, %	$\frac{D}{L}$	Длина корпуса, м	Ширина, м	Глубина, м	Объем, м ³	Средняя скорость, уз	Продольная устойчивость, %	Результат испытаний, по Д-В-100	Результаты испытаний	Примечание	
					длина L	ширина B	глубина H	высота D												
17	Модель "Збрарп" АСМ-1-1 [XIII]	Канада Райт, США	1959	Объем водонеподъемный камер	4,9	3,3	1,8	0,70	0,50	0,50	70	85	35	13	4,4	0,15	120	1,62	Водонеподъемный доказатель	—
18	"Збрарп-2500" модель АСМ-2-1 [XIII]	То же	1960	Объем водонеподъемный камер	6,4	2,4	1,5	1,75-1,75	0,65-0,45	0,25	80	2 x 180	35	—	—	0,20	—	—	То же	—
19	"Збрарп-2500" модель АСМ-3-1 [XIII]	"	1960	Соплового схода с боковыми шаровыми соплами	6,4	2,4	1,5	1,75-1,47	0,65-0,45	0,35	80	2 x 180	50 (соединенный) 60 (соединенный)	25	6,6	0,15	206	1,70	"	Система артефактореза
20	"Збрарп-2500" модель АСМ-3-2* [XIII]	"	1960	Соплового схода	6,4	2,4	1,5	1,75-1,55	0,65-0,45	0,35	80	2 x 180	35	—	—	0,25	—	—		
21	"Ge" [XVII]	"	1960	Объем водонеподъемный камер	3,0	1,8	1,2	0,80	0,30	0,37	110	100	50 (соединенный)	—	—	0,10	125	2,8	"	
22	3P-1280 [XI]	"	Проект	То же	—	—	—	—	6,6	—	—	26	14	—	—	—	—	—	—	
23	"ОЕМ-1" [XII]	Научно-исследовательская организация, США	"	Кольцевое сопло	4,4	2,5	1,3	0,45	0,31	0,20	19	2 x 40	33	16,7	6,9	0,23	178	1,33	Детальное обследование модели на полном масштабе	—

№	Наименование суда (объекта)	Страна (участ)	Год проектир.	Специ- фика- ция	Размеры, м			Всего мощно- сти, кВт	Р _{ср}	
					длина L	ширина B	высота H			
24	Модель 25* (XIII)	Данвер- лен К*, США		Кольцевое соедине- ние	2,8	1,8	1,0	0,26	0,12	0,33
25	Самый малень- кий (XIII)	Соединен- ные Штаты США	1939	Общая интегриро- ванная схема	5,5	2,8	—	0,45	0,09	0,2
26	„Гидро-30р“ (двухвалый катер) (XIII)	То же	Проект	То же	9,1	7,3	1,5	3,8	1,8	0,47
27	Х-3 „Гамма-2“ (XIII)	Принципи- альной модели, США	—	Кольцевое соедине- ние	Диаметр 6,1	—	1,3	0,49	0,1	0,29
28	Х-28 (XIII)	То же	—	То же	То же	—	1,5	0,73	0,2	0,28
29	Х-4 (XIII)	—	—	—	Диаметр 2,8	—	1,3	0,14	0,09	0,5
30	Х-2 (XIII)	—	—	—	Диаметр 2,4	—	1,2	0,14	0,08	0,57
31	„Комбайн“ АВВ (XV)	Комбайн, США	Проект	—	—	—	1800	400	0,25	

Длина водо- провода, м	Мощность К, д. л.	Скорость			Высота вертика- ли	Углубление соедине- ния, м	Приток, литров в секунду $\frac{Q}{3,6}$	Объем заполне- ния	Примечание
		усл.	жидк.	Плотность соедине- ния, %					
128	72	—	—	—	0,15	300	—	—	—
—	—	—	—	—	0,10	—	—	—	—
87	250	47	24	6,2	0,25	71	4,5	Изолированный и закрытый	Постройка за- ключена Имеется гидро- динамическое устройство
20	43	20	10,4	3,7	0,37- 0,40	99	1,4	Дополнительно обеспечивается на клевом на- дворья	—
—	180	—	—	—	0,50	—	—	—	4 различных смысла для сифонных
—	15	17	8,8	—	0,07	—	—	—	Защитная оболочка
18 15	5	8-9	4,1- 3,5	—	0,30	—	—	Дополнительно обеспечивается за- щитная на- дворья	—
130	120000	99	5,1	4,6	3,6-1,5	85	8,2	—	Атомная се- ловина уста- новлена

№ п/п	Наименование судна (авианосца)	Страна (страны)	Тип постройки	Содержание судна (авианосца)	Размеры, м			Вместимость, чел.	Средняя скорость, км/ч	Р/Д
					Длина	Ширина	Высота			
32	„Кларк 10-8“ [XII]	Вальметсбург, США	Проект	Объем гидродинамический клин	4,3	1,8	3,0	0,47	0,18	0,38
33	„Крепиде“ [XIII]	Форт, США	—	Самолет	2,3	1,4	1,5	0,22	0,08	—
34	GERM [XII]	Финландия, Англия	Проект	Самолет джонсидер	4,5	2,4	3,4	0,72	—	—
35	Аэрокар [XIII]	Аэро-Канада, Канада	—	Самолет самолет	Двигатель 2,5	—	1,5	2,50	0,95	0,28
36	„DEM-II“ [XIII]	Аэро-Финляндия, США	Проект	Самолет самолет	10,8	9,1	3,8	7,1	0,45	0,08
37	„Газри-Ката“ [XII]	Анти-Финляндия, Канада, США	—	Объем гидродинамический клин	7,2	2,4	5	2,10	0,45	0,22
38	Модель 3001 [XIII]	Вальметсбург, Англия	Проект	Самолет самолет	14,0	6,1	—	7,1	3,7	0,36

Продолжение									
Длина корпуса, м	Мощность, л. с.	Скорость		Угловая скорость, град/сек	Высота, м	Продольная устойчивость, %	Продольная устойчивость, %	Род двигателя	Примечание
		пол.	акт.						
—	18	34	—	—	—	—	—	—	„Крепиде-гарит“
—	16	13	—	—	0,9004	—	—	—	Высокоскоростной компрессор, диаметр 2,5 дюйма; 3 реза для направления движения
—	95	42	—	—	—	—	—	—	—
—	3000	250	—	—	—	—	—	—	„Летающий бублик“
—	740	50	—	—	0,2	—	—	—	Проектные данные. Не доработан
—	185	38	—	—	—	—	—	—	Вес и жесткость для проектирования
—	1000	60	—	—	0,45	—	—	—	Машинный проект; проектные данные

№ п/п	Наименование судна (авиации)	Страна (страны)	Год постройки	Схема судна (авиации)	Размеры, м			Высота над уровнем моря, м	Продольная ось судна (авиации) по отношению к курсу, град.	L, м	B, м
					длина L	ширина B	высота H				
20	Грузовое судно «ХИ»	Восточная Азия, Алтаи	Проект	Неизвестно	—	—	—	7,00	25 (250 тис. тонн)	0,30	
40	Всперывательная машина «VA-1» [XVI]	То же	1960	Созданная схема	—	—	—	0,70	—	—	
41	Машина для декомпрессии «VA-2» [XVII]	—	Проект	Созданная схема	8,5	4,4	3,3	—	Басс.	—	
42	Всперывательная машина «VA-3» [XVI]	—	1962	—	16,0	7,5	5,4	11,0	1,5; 24 (касс.)	0,14	
43	Всперывательная машина «VA-4» [XVI]	—	Проект	То же	32	18	—	100,0	49	0,40	
64	Войджер «V-1» [XVII]	США, Вильямсбург, США	1959	Копирующая схема	—	—	—	0,69; 0,18	—	—	

Длина корпуса судна (авиации), м	Мощность А, л. с.	Скорость		Продольная ось судна (авиации) по отношению к курсу, град.	Высота парового котла, м	Средняя температура воды, град.	Применяемое вещество (V, г/л)	Размеры, м	Примечание
		пол.	актив.						
—	—	80	41	—	—	—	—	Воздушная машина	Проектная машина. Сведения о конструкции нет
—	—	—	—	—	0,1	—	—	Воздушный насос	Для оценки герметичности индикатора создает воздушную подушку
—	—	40	21	—	0,2	—	—	Воздушный насос	Модель и конструкция. Диаметр: 3 стержневых цилиндрических жетона; 2 работают из воздуха
—	4x125	80	41	—	0,3	—	—	2 воздушных насоса	Диаметр: 6 стержневых турбин
—	—	70	35	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	0,85	—	Воздушный насос (применяется для декомпрессии)	18 л. с.

ЛИТЕРАТУРА

- П. А. АДУХИН, И. И. ВОЙТКУНСКИЙ. Сопротивление воды движению судна. Москва, 1953. [I]
 Ю. ВЕНУРА. Проблема движения судов на воздушной подушке. „Судо-строение“, 1961, № 5. [II]
 П. БЕРМАН. Воздух вместо воды. „Знамя коммуны“, 1950, № 10. [III]
 Л. ГИМНОВСКИЙ. Густой воздух. Журнал «Техника», 1938. [IV]
 В. КОЖОХАН, И. СОЛТЫКОВ. Транспорт будущего. „Природа“, № VII, 1961 г. [V]
 К. Э. ЦИДЛОВСКИЙ. Сопротивление воздуха и скорый ход. Наука, 1927. [VI]
 STEVEN P. R., EGGINGTON W. The Hovercraft—a new concept in maritime transport. Quarterly Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, 1960, v. 102, No 3. [VII]
 PINDER R. W. A power Plant Man's Look to the Ground Effect Machine. „Journal of the American Helicopter Society“, 1959, III, V, 4; № 3, США. [VIII]
 POISSON AUSTIN P., BEVERI A. Principe et Applications des plates-formes volantes a effet de Sol. „Bulletin de l'Association technique Maritime et Aeronautique“, № 60, стр. 64—69, 1960, Франция. [IX]
 STATION JONAS R. Hovercraft—Some Design Problems. „Aerospace Engineering“, февраль 1961, США. [X]
 LUCAS J. A. Ground Effect Projects in the U. S. „Helicopter World“, январь-февраль 1961, США. [XI]
 BOHLER G. D. Basic Principles of Ground Cushion Devices. Preprint № 133A, Society of Automotive Engineers, 1960, США. [XII]
 HENDR—er of GEM „SAE Journal“, Апрель 1961, стр. 35—40, США. [XIII]
 The Dunny Hovercraft demonstrated. „Shipping and Shipping Record“, Июнь 1961, стр. 20, Англия. [XIV]
 Symposium on Ground Effect Phenomena. A Compilation of the Papers Presented, сентябрь, 21—22, 1959. [XV]
 Hovering Craft and Hydrofoil. V. 1, № 1—7, 1961—1962. [XVI]
 ПРОЦЕДУРА французского Казначейства „The Curtin-Wright Air-Cat“. [XVII]

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
От чего зависит скорость судна?	12
Воздушная подушка и способы ее создания	20
Суда с полным отрывом от воды	24
Суда с частичным отрывом от воды	25
Суда без отрыва от воды	—
Суда на воздушной подушке	50
✓ Внешняя архитектура	—
Выход на берег и организация службы	53
✓ Конструкция	54
Мощность	61
Высота полета	67
Брызгообразование	73
Остойчивость	74
Управляемость	77
Прочность	81
✓ Двигатели	84
✓ Двигатели	87
✓ Двигатели	88
Сопротивление движению в скорости хода	89
✓ Некоторые перспективы и пути развития судов на воздушной подушке	100
Примечания	106
Литература	120