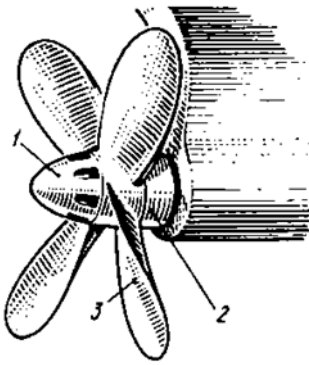


Гребной винт

Гребной винт (рис. 1) состоит из ступицы и двух — шести лопастей, его насаживают на конус гребного вала, и при вращении последние лопасти винта отбрасывают назад массы воды, создавая реактивную силу, называемую упором. Упор через вал и упорный подшипник, прочно соединенный с корпусом, передается судну и движет его.

Для небольших судов винты изготовляют из углеродистой и легированной стали, латуни, бронзы и пластмасс. Для современных судов гребные винты обычно делают из латуни или бронзы, так как они хорошо противостоят коррозии, сравнительно легко обрабатываются и долго сохраняют свою поверхность чистой. Из легированной нержавеющей стали делают винты для ледоколов и судов ледового плавания.



1 - обтекатель, 2 - ступица
3 - лопасть

Рис. 1. Гребной винт

Лопasti гребного винта располагаются на ступице на равных расстояниях. Сторона лопастей, обращенная к направлению движения (в нос судна), называется засасывающей, противоположная — нагнетающей. Обе стороны лопастей представляют собой винтовую поверхность.

Винты могут быть монолитными или со съёмными лопастями. Последние более сложны, их применяют в случаях, когда по условиям плавания возможны частые поломки лопастей (на ледоколах), а по условиям ремонта снимать винт нельзя.

Элементы геометрии гребного винта

Основные геометрические характеристики винта:

Диаметр винта D — диаметр окружности, описываемой наиболее удаленными от оси точками лопастей; у крупнотоннажных судов диаметр доходит до 10 м;

Диаметр ступицы винта d (обычно у монолитных винтов $d=0,2 D$);

Шаг винта H — расстояние, которое прошел бы винт за один оборот в твердой среде;

Шаговое отношение H/D — отношение шага винта к его диаметру, для судовых винтов $H/D = 0,6-2$;

Площадь диска винта A_d — площадь, ометаемая винтом при его вращении:

$$A_d = \pi D^2 / 4; \quad (68)$$

Площадь лопастей винта A —суммарная площадь спрямленной (развернутой па плоскость) поверхности всех лопастей винта;

Дисковое отношение Θ — отношение площади лопастей к площади диска винта:

$$\Theta = \frac{A}{A_d} = 0.3 \div 0.2 \quad (69)$$

Большие значения у быстроходных судов;

Количество лопастей z , как уже говорилось, от двух до шести; чем больше лопастей, тем лучше уравновешен винт;

Профиль сечения может быть сегментным (как правило, у буксиров и ледоколов), авиационным (у транспортных судов) и специальным, похожим на вытянутый криволинейный треугольник - у скоростных судов для предотвращения кавитации.

Кинематические и гидродинамические характеристики гребного винта.

Во время работы гребной винт участвует одновременно в двух движениях: вращается вокруг своей оси и перемещается поступательно вместе с судном вдоль своей оси. Если бы винт работал в твердой среде, то за один оборот он проходил бы расстояние, равное своему шагу. В действительности же винт, работая в воде, являющейся податливой средой, проходит за один оборот расстояние, меньшее шага. Это расстояние называется **абсолютной поступью** винта h :

$$h = v_p / n \quad (70)$$

Где h в метрах; v_p — осевая скорость перемещения винта, м/с; n — частота вращения винта, 1/с.

Отношение абсолютной поступи к диаметру винта называется **относительной поступью** винта λ_p :

$$\lambda_p = h/D = v_p / nD \quad (71)$$

Разность между геометрическим шагом винта и его абсолютной поступью называется абсолютным скольжением винта S :

$$S = H - h = H - (v_p / n). \quad (72)$$

Отношение абсолютного скольжения к шагу винта называется относительным скольжением винта s :

$$s = \frac{S}{H} = 1 - \frac{v_p}{nH} = 1 - \frac{\lambda_p}{H/D}$$

Скольжение и поступь являются характеристиками режима работы гребного винта. При работе винта на месте (на швартовах) поступь винта $\lambda_p = 0$, а скольжение $s = 1$. При начале движения судна поступь увеличивается, а скольжение уменьшается до определенных пределов при полной скорости судна для данной частоты вращения винта.

Как уже говорилось, винт при работе вращается и движется поступательно¹ следовательно, если для простоты принять винт

неподвижным, а воду набегающей на него (принцип обращения), то можно построить план скоростей для элемента лопасти, вырезанного из нее на

радиусе двумя concentрическими сечениями, близкими друг к другу (рис. 2, а).

Скорость вращательного движения элементов лопасти $v_r = 2\pi r n$, а

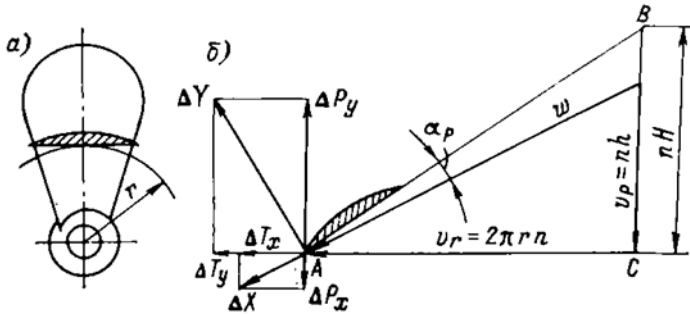


Рис. 2. Элемент лопасти (а) и план скоростей и силы, действующие на элемент лопасти (б).

поступательного $v_p = nh$, причем (поскольку мы приняли обращенные движения) направление v_r противоположно направлению вращения, а направление v_p противоположно направлению движения элемента лопасти винта.

Результирующая скорость ω составляет с поверхностью лопасти угол α_p , называемый углом атаки, который увеличивается с уменьшением поступи v_p (т. е. с увеличением скольжения S).

Рассмотрим силы, действующие на элемент лопасти, как на элемент крыла (рис. 2, б). Силу, действующую на элемент лопасти, можно разложить на подъемную силу ΔY и силу лобового сопротивления ΔX , причем ΔY перпендикулярна к скорости ω , а ΔX параллельна ей. Каждую из этих сил можно разложить на составляющие, параллельные поступательному движению элемента и перпендикулярные к нему. Подъемная сила раскладывается на составляющие ΔP_y и ΔT_y , а сила лобового сопротивления на ΔP_x и ΔT_x .

Разность составляющих ΔP_y и ΔP_x — это упор, создаваемый элементом лопасти:

$$\Delta P = \Delta P_y - \Delta P_x$$

¹ Для простоты пренебрежем так называемым вызванным движением, т. е. движением отбрасываемых винтом масс воды.

Сумма составляющих ΔT_y и ΔT_x дает касательную силу, препятствующую вращению элемента лопасти,

$$\Delta T = \Delta T_y + \Delta T_x.$$

Произведение силы ΔT на радиус сечения r , по которому вырезан элемент, дает момент, противодействующий вращению элемента,

$$\Delta M = \Delta T \cdot r.$$

Суммируя силы упора и моменты, создаваемые каждым элементом, для всех лопастей винта, получаем упор $P = \Sigma \Delta P$ и момент $M = \Sigma \Delta M$ для всего гребного винта.

Упор винта P и есть сила, движущая судно, т. е. сила, преодолевающая сопротивление воды и характеризующая полезную работу, совершаемую винтом. Момент M характеризует усилие, которое должен развивать главный двигатель, чтобы вращать винт с требуемой частотой вращения.

Проектирование гребного винта состоит в определении таких его геометрических элементов, формы и профиля лопастей, которые обеспечивали бы данному судну достижение максимальной скорости или наилучших тяговых качеств.

Расчеты гребного винта достаточно сложны и основаны как на теоретических исследованиях, так и на результатах испытания моделей винтов в специальных бассейнах. Правильно спроектированный винт должен соответствовать судну, в противном случае он не дает возможности полностью использовать мощность двигателя. При оценке работы винта совместно с энергетической установкой иногда говорят: «винт гидродинамически тяжел» или «гидродинамически легкий».

Представим себе, что сопротивление воды движению судна увеличилось. Так как упор остался прежним, то скорость судна v_p естественно уменьшится. Из рис. 2, б видно, что угол атаки лопасти при этом увеличится, в результате чего возрастет составляющая ΔT_x . Это приведет к увеличению момента на винте, т. е. к перегрузке двигателя — винт станет «тяжелым». Естественно, что при уменьшении сопротивления воды винт будет «легким».

Гребной винт обычно проектируют для одного, наиболее типичного для данного судна, режима работы, например для грузового судна — при плавании с полным грузом, а для буксира — при буксировке другого судна. Если режим работы винта отличается от расчетного (грузовое судно в балластном переходе, буксир без буксировки,

волнение, качка), винт будет работать с гораздо меньшим коэффициентом полезного действия, чем при расчетном режиме.

Кавитация.

При работе гребного винта на засасывающей стороне лопасти давление понижается и образуется разрежение; на противоположной же, нагнетающей, поверхности давление повышается.

По мере увеличения частоты вращения винта скорость обтекания его лопастей водой может оказаться настолько большой, что из-за понижения давления на засасывающей поверхности вода закипит, образуя на ней кавитационные каверны, заполненные пузырьками со смесью водяного пара, воздуха и растворенных в воде газов.

В первой стадии кавитации каверна образуется лишь на части поверхности лопасти. При переходе кавитационных пузырьков из области каверны в область повышенного давления происходит «захлопывание» пузырьков в результате конденсации водяного пара и возникают сильные гидравлические удары частиц воды, приводящие к механическому разрушению материала лопасти, так называемой *кавитационной эрозии*. Во второй стадии кавитационная каверна охватывает всю поверхность лопасти, переходя на нагнетающую сторону. Эрозии нет, но снижаются упор и КПД винта.

Борьбу с кавитацией ведут еще при проектировании винта, не допуская высоких окружных скоростей, обеспечивая максимальное погружение винта, что повышает гидростатическое давление воды, а также применяя специальные профили лопастей, что помогает распределению давления по всей поверхности лопасти.

Повышение эффективности работы гребных винтов

Эффективность работы гребных винтов оказывает большое влияние на рентабельность работы судов, на их экономичность. Меры, обеспечивающие повышение эффективности работы винта, относятся как к самому **винту**, так и к комплексу **винт—судно**.

Каждый винт должен соответствовать данному судну на основном его режиме работы, т. е. не быть ни тяжелым, ни легким. Рациональное профилирование лопастей винта и тщательная обработка поверхностей понижают сопротивление трения и формы лопастей. Для повышения КПД лопасти тщательно полируют.

Винт должен быть *статически отбалансирован*, так как биения, возникающие при работе неотбалансированного винта, вызывают биение гребного вала и разрушение вкладышей дейдвудной трубы. Статическую балансировку производят на балансировочном станке,

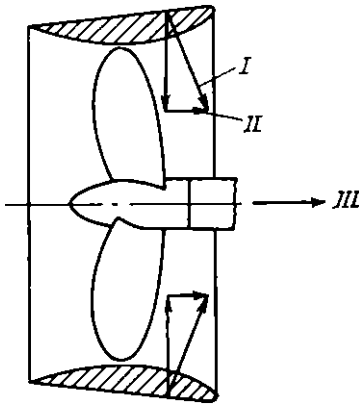


Рис. 3. Схема направляющей насадки.

I — гидродинамическая сила насадки; II — сила упора насадки; III — направление движения судна.

имеющем ножи или ролики, на которые укладывают винт, надетый на балансировочный вал. Снятием металла с тяжелых лопастей в процессе балансировки добиваются, чтобы винт находился в состоянии безразличного равновесия в любом положении. При числе оборотов более 200 винт подвергают динамической балансировке.

Немалое значение имеет также форма обводов кормовой части судна и правильная установка винта, обеспечивающая необходимые зазоры между лопастями винта и корпусом судна. Правильно спроектированные обводы кормы и надлежащие зазоры

обеспечивают также **нормальное подтекание воды к винту с меньшими возмущениями и уменьшают вибрацию.**

Повышению эффективности работы винтов служат и **конструктивные мероприятия.** В единый движительный комплекс наряду с винтами входят и *обтекаемые рули*. Руль частично устраняет закручивание воды, производимое винтом. Значительной эффективностью обладает *грушевидная пропульсивная наделка* на руле, являющаяся как бы продолжением ступицы винта. Она упорядочивает поток за ступицей и устраняет вихреобразование.

Чтобы уменьшить закручивание потока воды, отбрасываемой винтом, впереди или позади винта на корпусе судна иногда устанавливают специально профилированные направляющие неподвижные лопасти, спрямляющие поток воды. Такие устройства называются *контрпропеллерами* или *контрвинтами*. Правильно спроектированные контрпропеллеры могут повысить КПД винта, однако они увеличивают сопротивление воды движению судна, поэтому контрпропеллеры применяют довольно редко и только на судах с небольшими скоростями.

Направляющие насадки.

При работе гребного винта кроме закручивания может происходить сужение потока воды, в результате чего площадь отходящего от винта потока воды становится меньше площади диска винта. Это приводит к некоторому уменьшению КПД вина. Для устранения этого явления применяют кольцевые направляющие насадки.

Насадка представляет собой кольцо (рис. 3), в котором вращается гребной винт. Сечение насадки вдоль оси винта имеет профиль авиационного крыла обращенного выпуклой поверхностью к гребному винту. Площадь кормового отверстия насадки равна или несколько больше площади диска винта, а площадь носового отверстия (входного) значительно больше. Гидродинамическую силу, возникающую на насадке, можно разложить на осевую и перпендикулярную к ней составляющие. Осевые составляющие дают дополнительный упор, что вместе с расширением струи повышает тягу винта на 30—40%.

Направляющая насадка жестко крепится к корпусу судна, однако иногда на судах устанавливают поворотные насадки. На больших скоростях лобовое сопротивление насадки становится очень большим, поэтому целесообразность применения насадок в каждом отдельном случае устанавливается расчетом.

Винты регулируемого шага (ВРШ).

Обычные гребные винты или винты фиксируемого шага (ВФШ) проектируют с таким расчетом, чтобы наилучшим образом обеспечить один, наиболее выгодный, режим работы, например у транспортного судна— режим полного хода с нормальной нагрузкой. На всех других режимах (допустим, в балластном переходе или с перегрузкой) ВФШ будет «тяжелым» или «легким», его КПД упадет, и двигатель не разовьет полной мощности. Особенно ярко это проявляется у судов, которым приходится работать с большим диапазоном нагрузок: у буксиров, траулеров, паромов и т. д. Так, для хода в район лова винт траулера должен развивать большую скорость, а при ходе с тралом — большую тягу.

Винт регулируемого шага позволяет, изменяя шаг, менять характеристики винта в зависимости от режима работы судна. ВРШ имеют полую ступицу несколько большего диаметра, чем диаметр

ступицы ВФШ; в ней размещен механизм, с помощью которого можно разворачивать лопасти под любым углом вдоль их продольной оси, и тем самым изменять шаг винта. При этом двигатель всегда будет работать с нормальным числом оборотов, развивая полную мощность. Поворотом лопастей можно также получить задний ход, что позволяет иметь нереверсивный двигатель.

Механизмом поворота управляют с помощью механического, электрического или гидравлического привода. К недостаткам ВРШ следует отнести сложность конструкции, высокую стоимость, трудности при эксплуатации, уходе и ремонте. Однако эти недостатки не умаляют преимущества ВРШ, которые находят все более широкое распространение на судах морского флота.

Горячев А.М. Устройство и основы теории морских судов. / А. М. Горячев, Е. М. Подругин - Судостроение, 1983.- 224 с., Стр 209-216