

ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова

Теория судна

Модуль 9 часть 1

Судовые движители



Учебные вопросы:

1. Геометрические характеристики гребного винта
2. Кинематические характеристики гребного винта
3. Гидродинамические характеристики гребного винта

Виды движителей

- Лопастные движители:

- гребные винты
- крыльчатые движители
- воздушные винты (для СВП)
- гребные колеса
- парус

- Нелопастные движители:

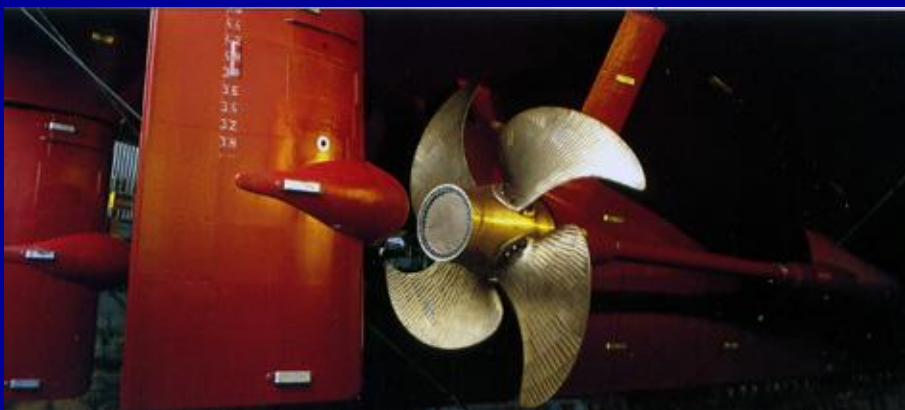
- газоводометные и водометные

Основной тип судовых движителей:
гребные винты

Гребной винт

- Первое применение: начало XIX века
- Начало широкого распространения: середина XIX века
- Современный гребной винт состоит из нескольких лопастей, расположенных радиально на цилиндрической или конической ступице на равных угловых расстояниях

Современный винто-рулевой комплекс



а) два винта и два руля
побортно



б) один винт и один руль
в ДП

Виды гребных винтов:

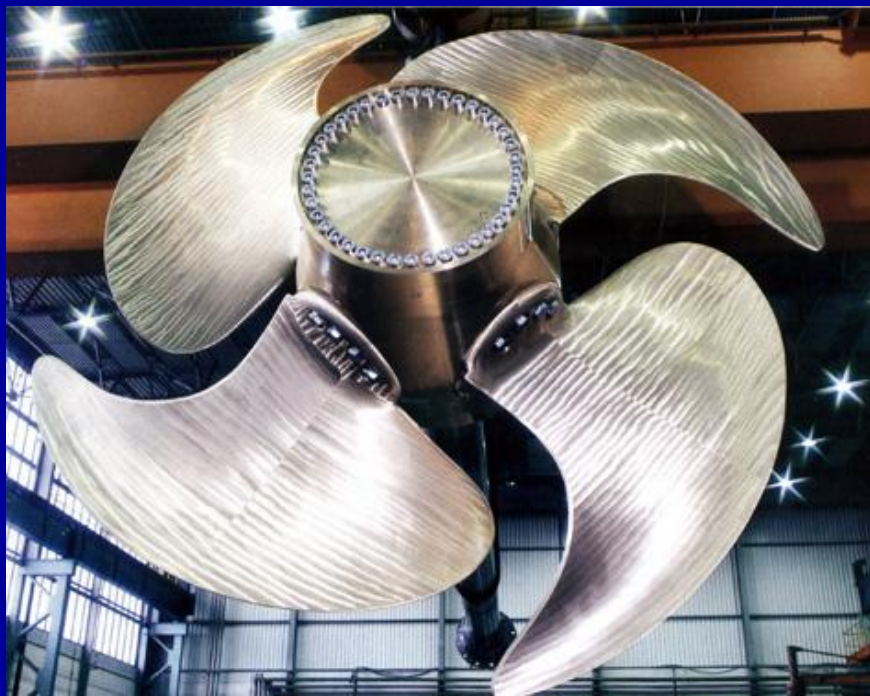
- Цельнолитые
- Сборные со съемными лопастями
- С поворотными лопастями (винты регулируемого шага, ВРШ)
- Винты со съемными лопастями обычно применяют на судах ледового плавания
- Материалы для изготовления винтов:
 - Бронзы и латуни
 - Реже – нержавеющая сталь
 - Небольшие суда - пластмассы

Винт фиксированного шага

$D = 9,6\text{м}$; $M = 131,5\text{т}$



Винт регулируемого шага



Лопаст
с большой откидкой

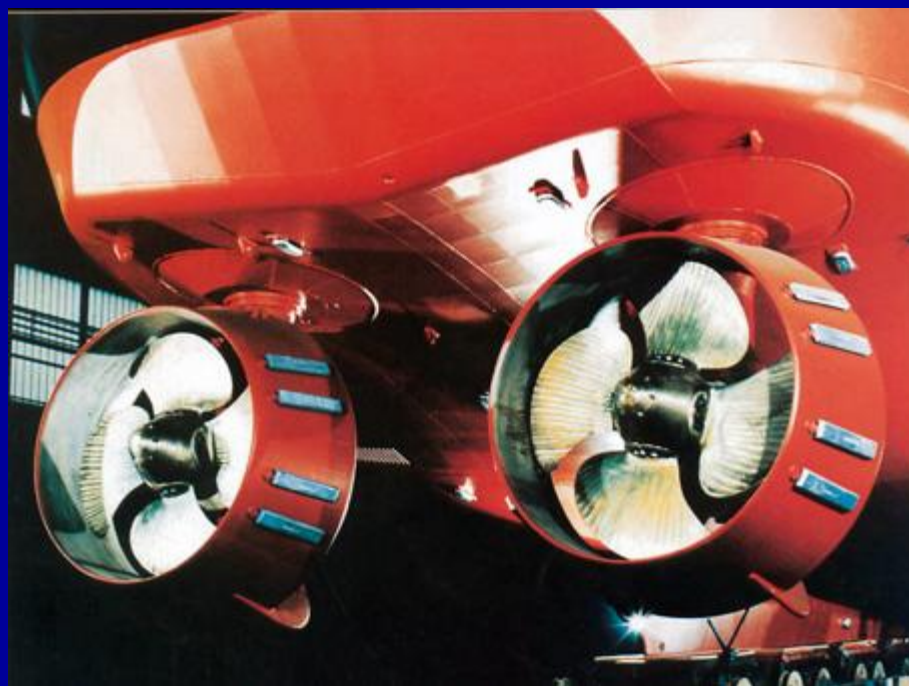


Лопастъ ВРШ

Винты в насадках



Винт в неподвижной
насадке



Винты в поворотных насадках
(Винто-рулевой комплекс)

Полупогружные винты для скоростных судов



Пропульсивный комплекс «Азипод»

Модуль передачи мощности
и рулевого управления

Кабельный барабан или
блок токосъемника

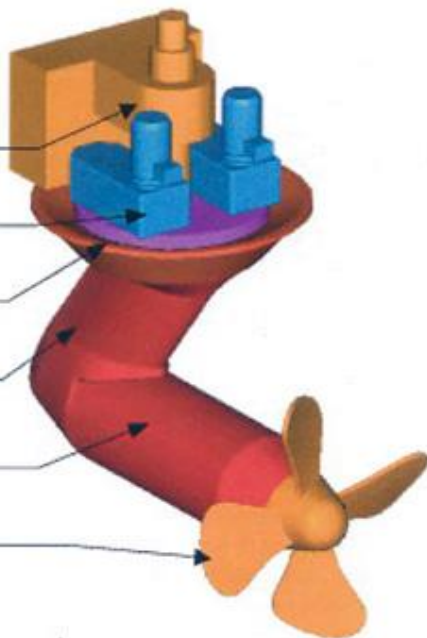
Рулевой привод

Сборочный узел

Модель кронштейна гребного вала

Модуль двигателя

Гребной винт



Крыльчатый движитель



Подруливающие устройства



выдвижное



поворотное фиксированное



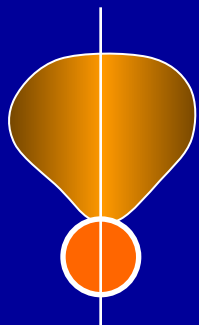
туннельного типа

1. Геометрические характеристики гребного винта

Лопасты гребного винта

- Количество лопастей: от 2 до 7÷9
- Форма лопасти и профиль сечения выбираются в зависимости от назначения судна и условий его эксплуатации
- Поверхности лопасти винта подвергаются тщательной обработке и шлифовке

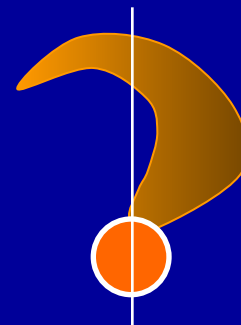
Примеры форм лопасти винта



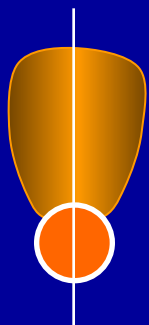
Эллиптическая
симметричная



Саблевидная
с малой
откидной
лопастью



Саблевидная
с большой
откидной
лопастью

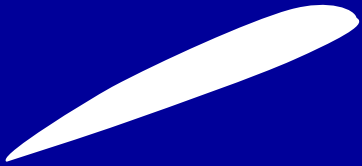


Ледокольная

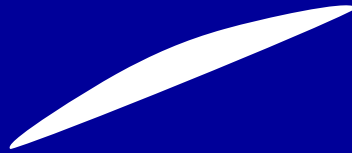


Насадочная

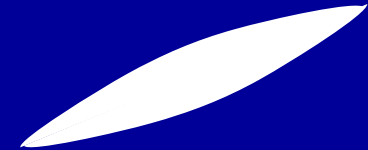
Примеры профилей лопасти винта



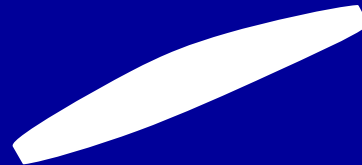
Авиационный



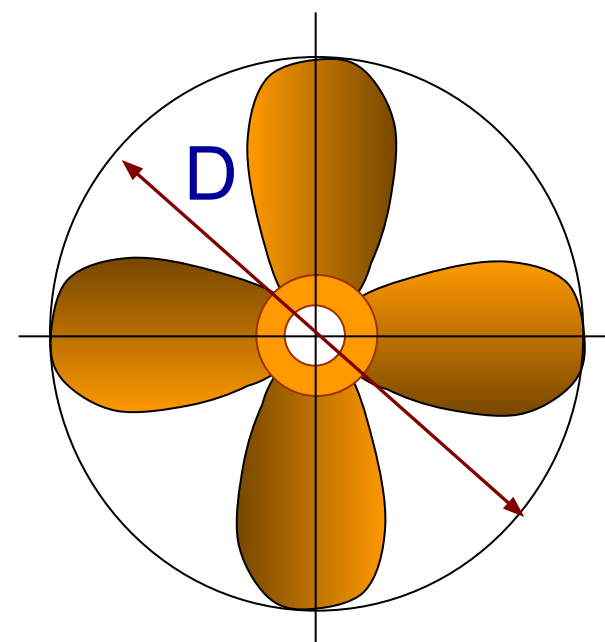
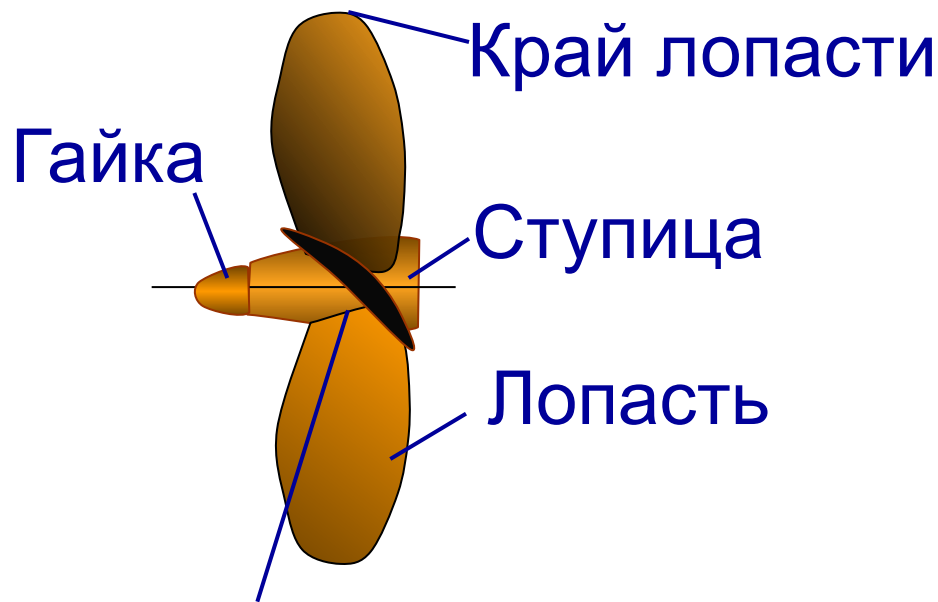
Сегментный



Сегментный
двусторонний



Ледокольный



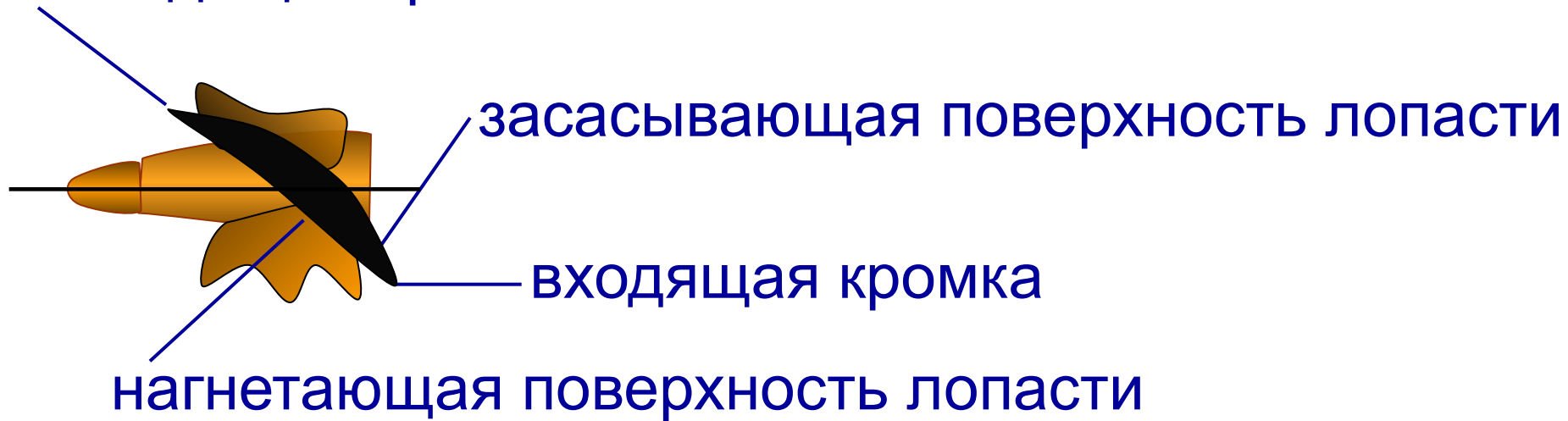
D - диаметр винта

$$A_d = \frac{\pi D^2}{4} - \text{площадь диска винта}$$

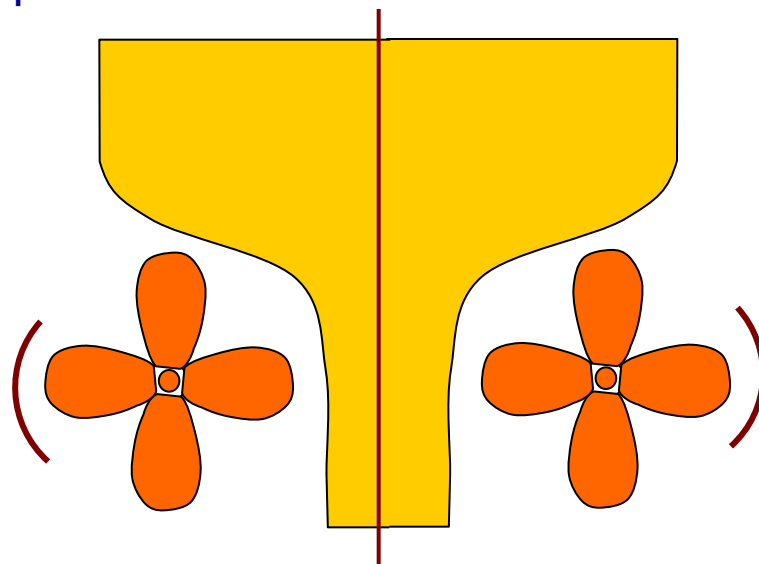
A - суммарная площадь спрямленных поверхностей лопастей

$$\frac{A}{A_d} - \text{дисковое отношение}$$

выходящая кромка



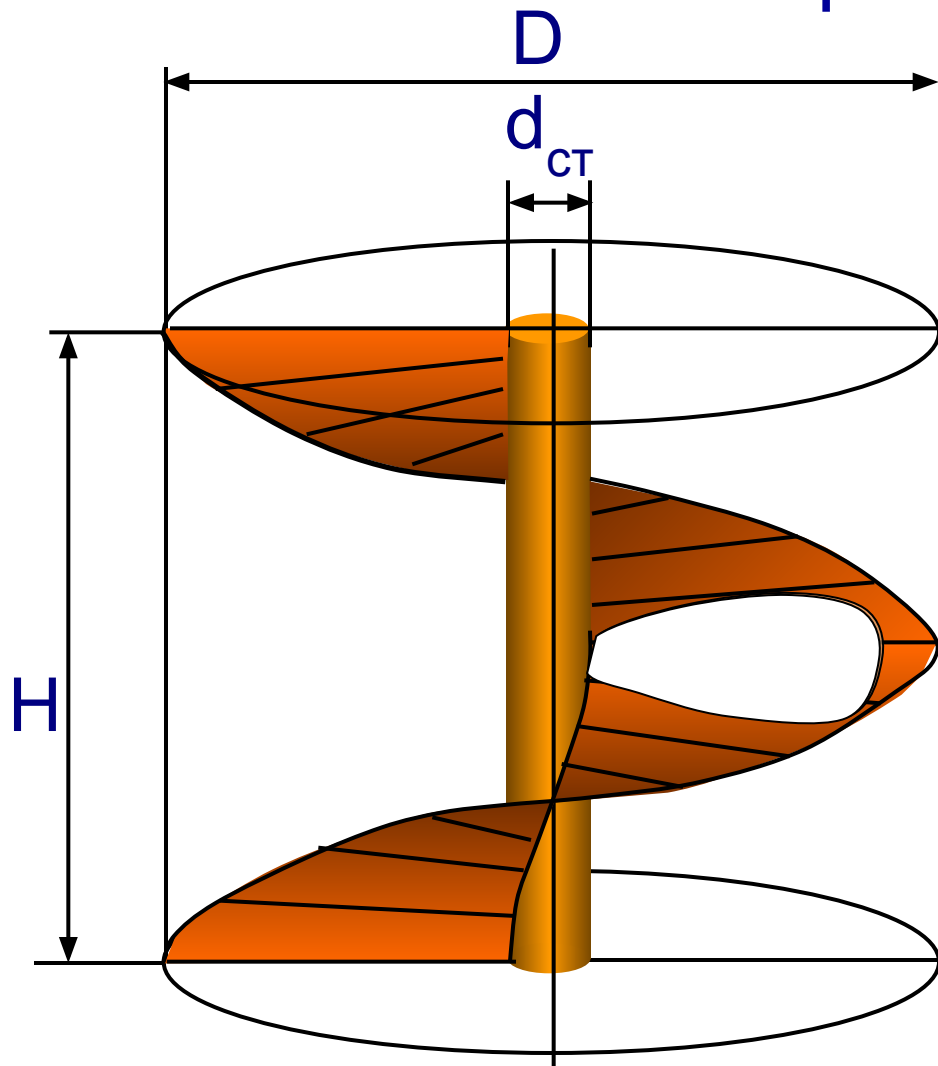
Z_p – количество винтов



винт левого
вращения

винт правого
вращения

Нагнетающая поверхность лопасти
гребного винта образуется винтовой
поверхностью



H – шаг гребного винта

$\frac{H}{D}$ – шаговое отношение

Нагнетающая
поверхность
лопасти

К геометрическим характеристикам винта относятся:

1. Шаг винта H
2. Диаметр винта D
3. Шаговое отношение H/D
4. Количество лопастей z
5. Площадь диска A_d
6. Дисковое отношение A/A_d
7. Количество гребных винтов z_p

Шаг винта

- Шаг винта – это расстояние, которое винт прошел бы в твердой среде за один оборот
- Нагнетающие поверхности лопастей винтов формируются винтовыми поверхностями постоянного или переменного шага
- ВФШ могут иметь постоянный или переменный шаг

Геометрические характеристики современных винтов

- Дисковое отношение: A/A_d от $0.3 \div 0.4$ до 1 и даже более
- Диаметр ступицы винтов фиксированного шага (ВФШ) $d_{ст} \leq (0,18 \div 0,22) D$
- Диаметр ступицы ВРШ больше, чем у ВФШ: до $0,35 D$

2. Кинематические характеристики гребного винта

Поступь гребного винта

- Поступь винта h_p – это расстояние, проходимое винтом за один оборот в воде

$$h_p = \frac{V_p}{n}$$

- V_p (м/с) – скорость винта относительно воды
- n (1/с) – частота его вращения
- Поступь меньше геометрического шага винта

Относительная поступь и скольжение

- Относительная поступь λ_p :

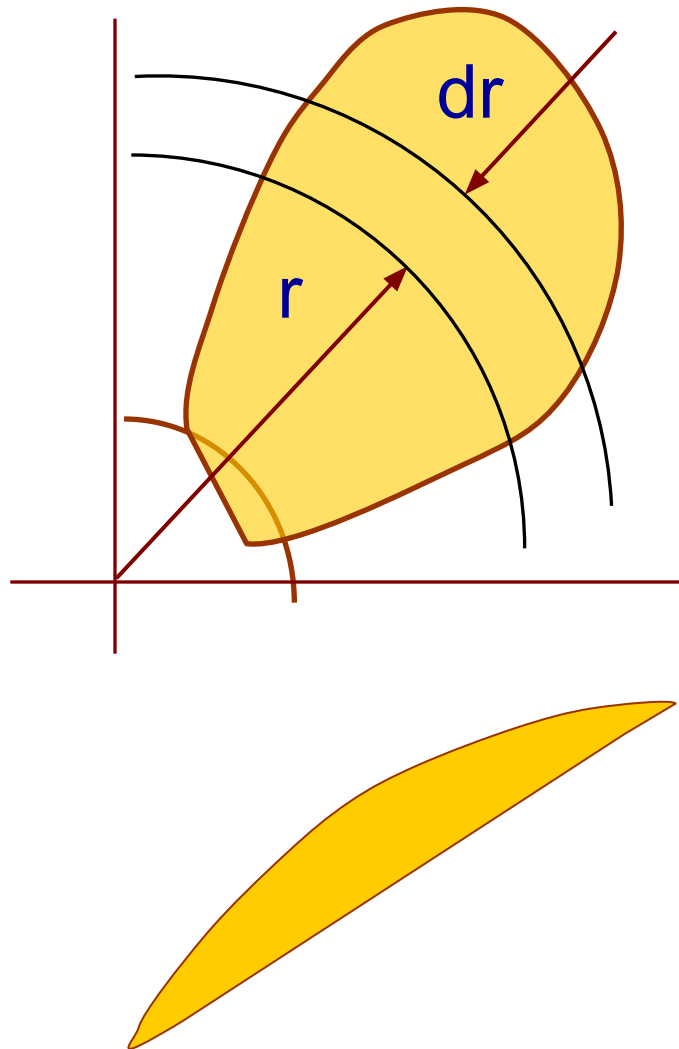
$$\lambda_p = \frac{h_p}{D} = \frac{v_p}{nD}.$$

- Скольжение $S = H - h_p$
- Относительное скольжение :

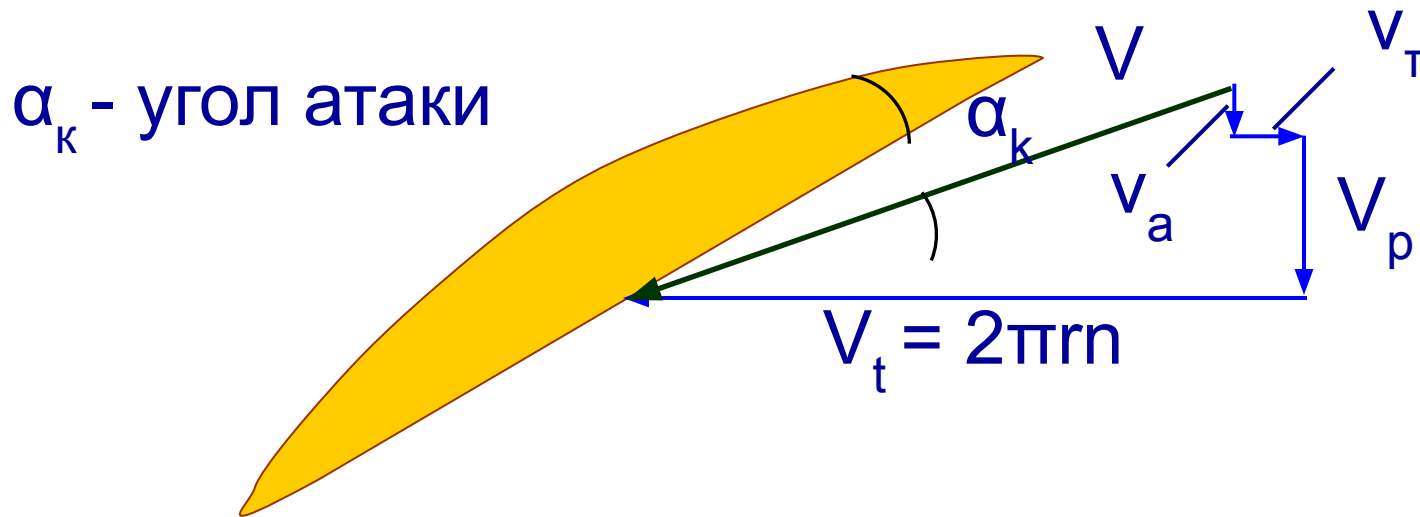
$$s = \frac{H - h_p}{H}$$

3. Гидродинамические характеристики гребного винта

Выделение элемента лопасти



Обтекание элемента лопасти винта набегающим потоком



V_p – осевая составляющая скорости

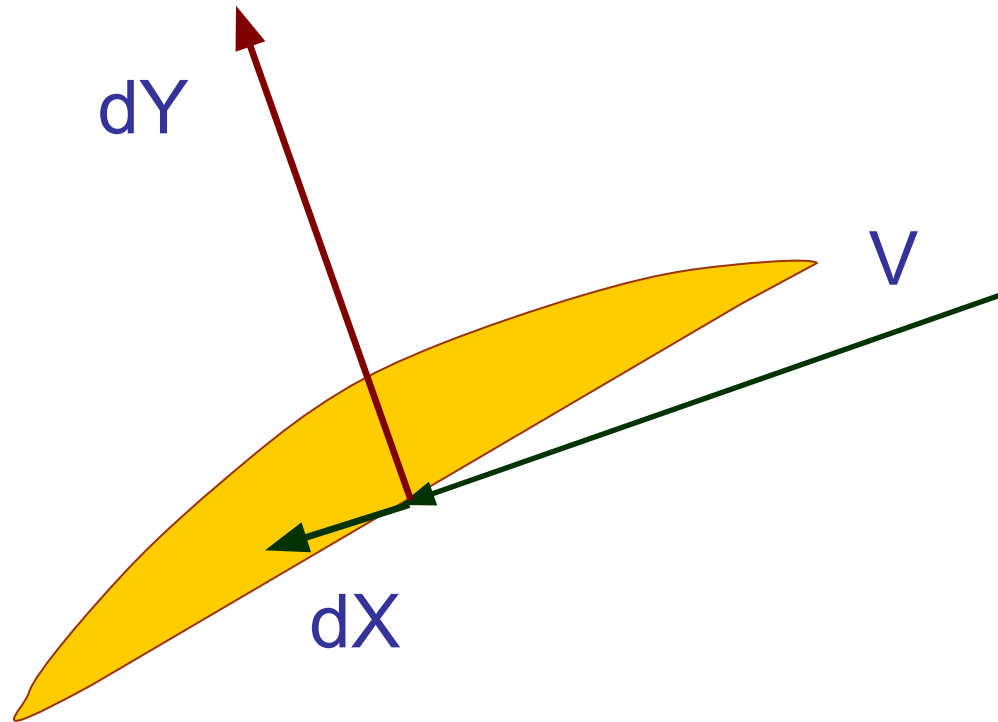
$V_t = 2\pi r n$ – окружная составляющая скорости

n – скорость вращения винта, $1/c$

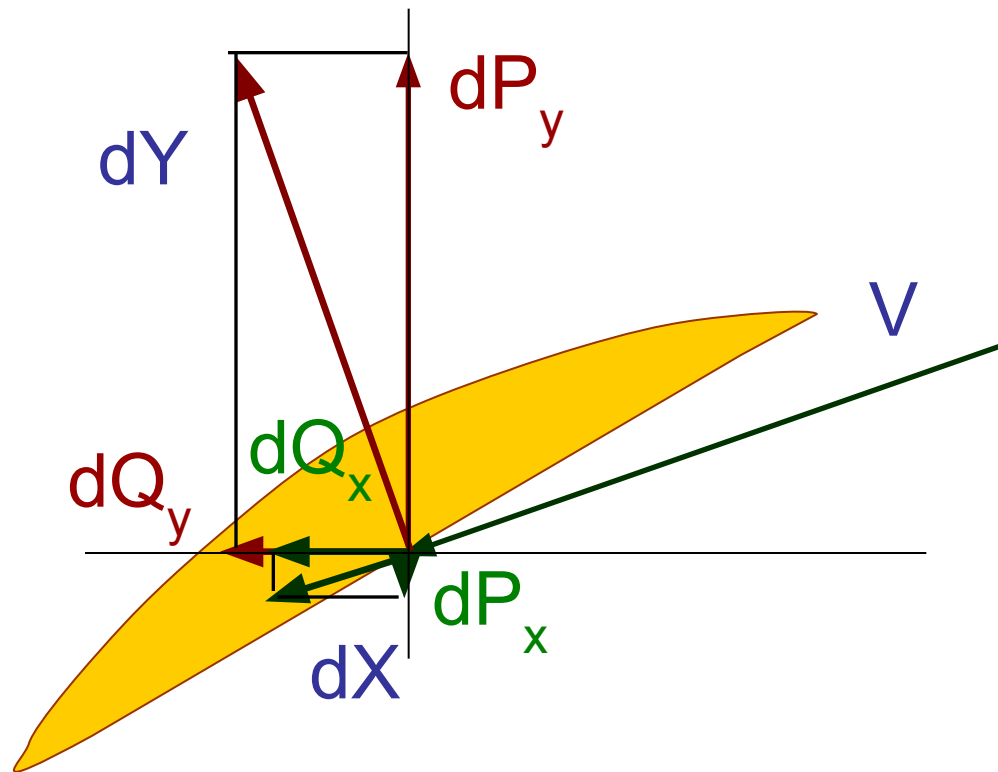
v_t – вызванная окружная скорость

v_a – вызванная осевая скорость

V – скорость натекания на винт



dY - подъемная сила, направленная перпендикулярно вектору скорости
 dX - сила сопротивления, совпадающая по направлению со скоростью потока

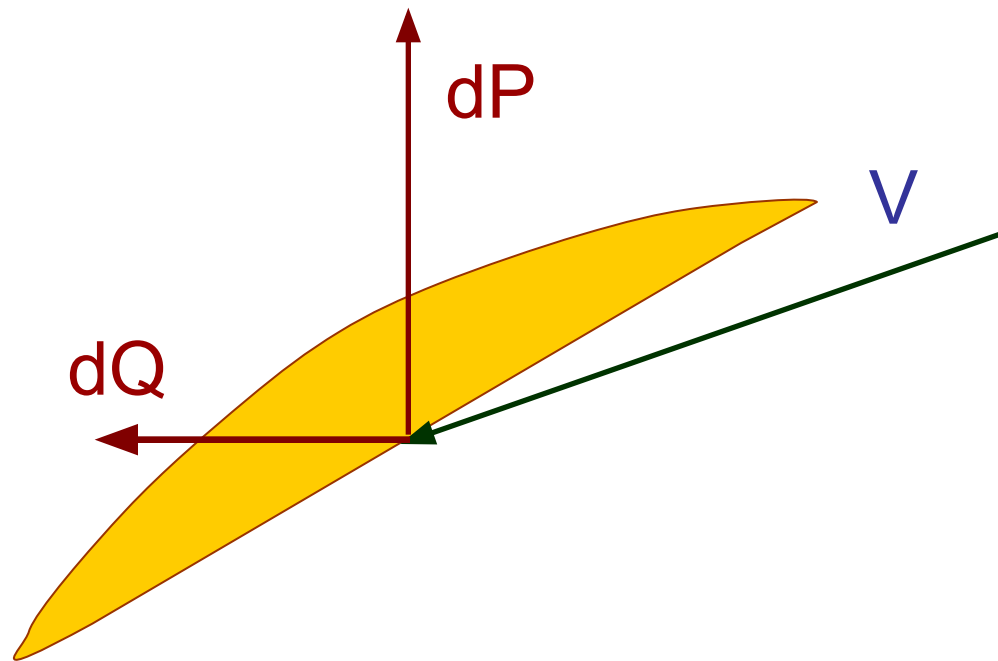


Элемент упора винта:

$$dP = dP_y - dP_x;$$

Элемент силы сопротивления:

$$dQ = dQ_y + dQ_x$$



dP - элемент упора винта

dQ - элемент силы сопротивления

Упор и момент сил сопротивления

- Упор - сила, создаваемая винтом в направлении движения

$$P = z \int_{r_{\text{ст}}}^R dP$$

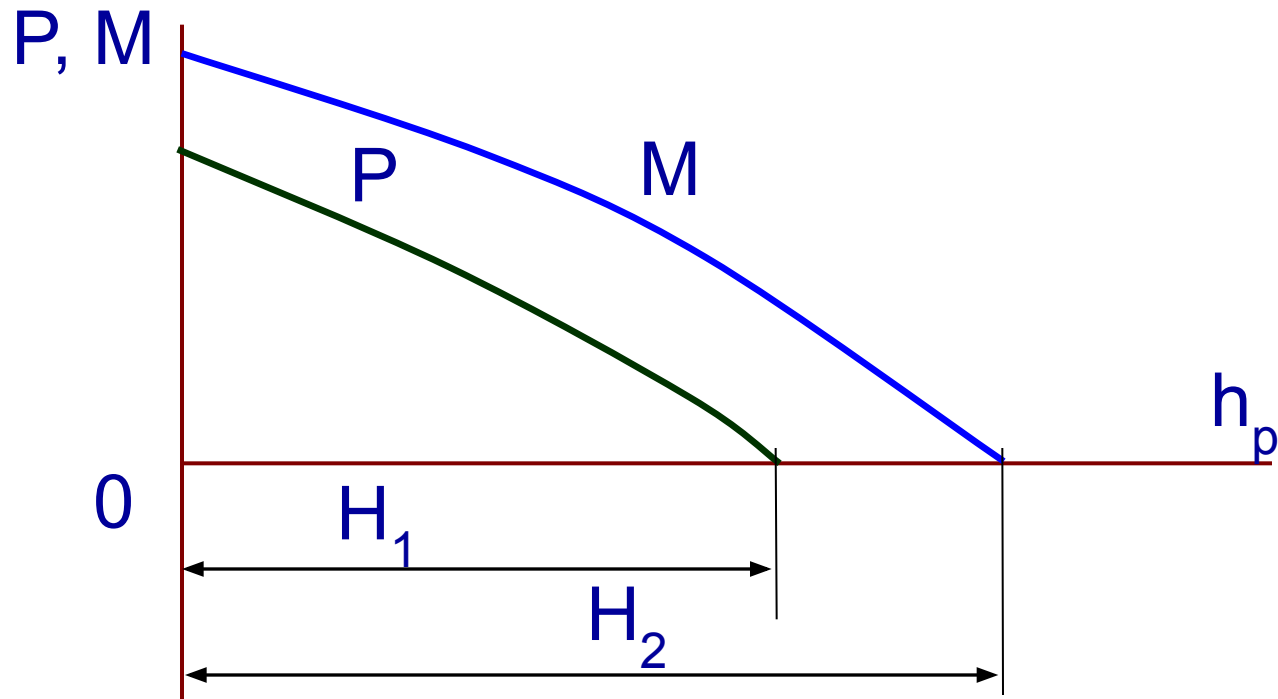
- Момент сил сопротивления:

$$M = z \int_{r_{\text{ст}}}^R r dQ$$

Упор и момент сил сопротивления

- К гребному винту нужно приложить вращающий момент M , равный моменту сил сопротивления
- Винт создаст упор P , - силу, движущую судно.
- Упор и момент винта зависят от поступи винта h_p .

Кривые действия гребного винта в размерном виде



H_1 – шаг (поступь) нулевого упора;

H_2 – шаг (поступь) нулевого момента;

$H=0$ – швартовный режим

(наибольшие упор и момент)

Режимы работы гребного винта

1. $0 < h_p < H_1$ – рабочий режим: винт создает полезный упор
2. $h_p > H_2$ - винт работает как турбина, создавая полезный момент на валу
3. $H_1 \leq h_p \leq H_2$ винт «парализован», не создает ни упора, ни момента
4. $H=0$ - швартовный режим. Упор и момент имеют наибольшие значения

Коэффициенты упора и момента

k_1 – безразмерный коэффициент упора

k_2 – безразмерный коэффициент момента

$$k_1 = \frac{P}{\rho n^2 D^4},$$

$$k_2 = \frac{M}{\rho n^2 D^5}.$$

Коэффициент полезного действия гребного винта

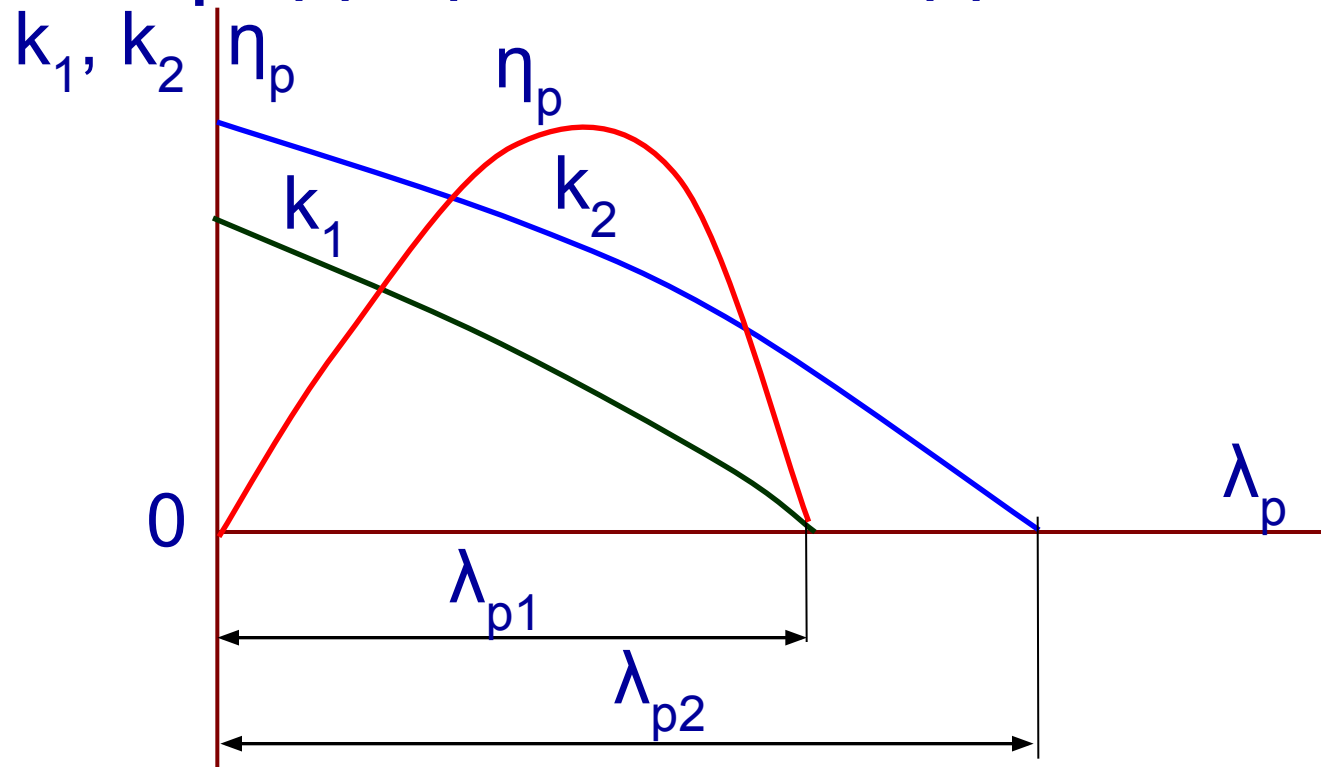
$$\eta_p = \frac{P v_p}{M \omega} = \frac{k_1}{k_2} \frac{\lambda_p}{2\pi}$$

λ_p - относительная поступь

$\omega = 2\pi n$ - угловая скорость вращения винта, 1/с

n – число оборотов гребного вала, 1/с

Кривые действия гребного винта: традиционный вид



$\lambda_p = 0$ – швартовый режим

λ_{p1} – поступь нулевого упора

λ_{p2} – поступь нулевого момента

Швартовный режим

- Судно неподвижно относительно воды при винтах, работающих на передний ход
- Прочность линии вала рассчитана на крутящий момент, обеспечивающий номинальный режим переднего хода
- Превышение этого момента: возможность деформации вала, разрушения муфты или редуктора

Швартовные испытания судна:

- Вновь построенные суда
- Суда после ремонта ГЭУ
- Мощность на валу при швартовных испытаниях ограничивается так, чтобы не был превышен допустимый крутящий момент

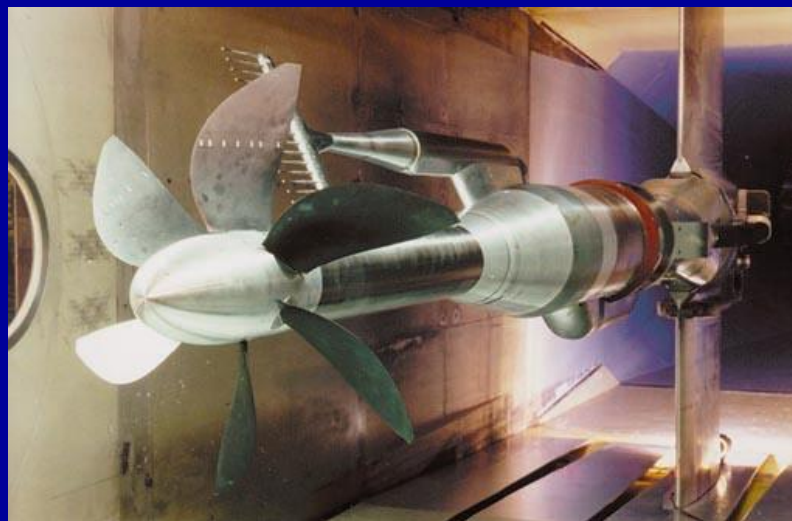
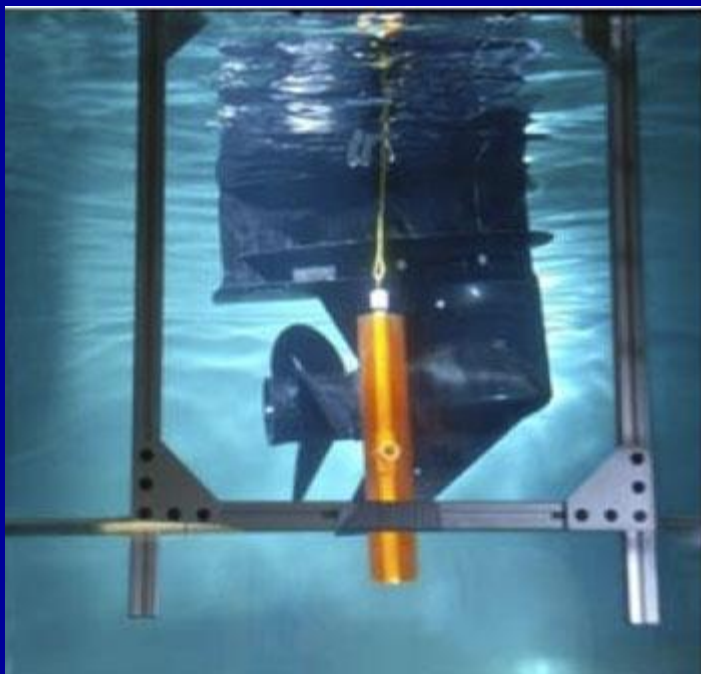
Самостоятельный сход судна с мели:

- Винты будут работать в швартовном режиме, если судно не сдвигается с места
- Самостоятельный сход с мели с помощью работающих винтов может привести к аварии ГЭУ и линии вала

Определение динамических характеристик гребных винтов

- Подбор винтов для судна производится с помощью кривых действия серии ВИНТОВ
- Модели серии винтов буксируют в бассейне с различными скоростями
- Приводной механизм вращает винт, упор измеряется динамометром

Испытания винтов в бассейне и кавитационной трубе



Задание на самостоятельную работу

- Теория и устройство судов. Под ред. Ф. М. Кацмана. 1991
Стр. 155 - 168