



Судовые двигатели

Руководство по применению и монтажу

- **Характеристики двигателей**
- **Характеристики судов**

Материалы и технические характеристики
могут быть изменены без предварительного
уведомления

© 2000 Caterpillar Inc.
Отпечатано в России



Характеристики двигателей

Информация о применении

Режимы работы

Графики характеристик двигателя

Влияние конфигурации двигателя на режимы мощности

Режимы мощности двигателей вспомогательного
оборудования

Информация о применении

Обеспечение оптимального соответствия мощности двигателя, его технических характеристик эксплуатационным требованиям судна имеет существенное значение для получения требуемых рабочих характеристик двигателя. При определении типа двигателя с определенной мощностью для использования на конкретном судне следует учитывать следующие параметры:

1. Время работы в режиме полного хода.
2. Ежегодную общую наработку.
3. Соответствие гребному винту.

Время работы в режиме полного хода

Время работы в режиме полного хода - это то количество времени, в течение которого двигатель работает на полную мощность при номинальной частоте вращения без циклического изменения нагрузки в течение обычного рабочего цикла. Обычно этот параметр указывается в процентах от общего количества рабочих циклов или в минутах.

Ежегодная наработка

Ежегодная наработка двигателя в часах определяется по показаниям счетчика моточасов* за период 12 месяцев.

Соответствие гребному винту

Размер гребного винта должен позволять двигателю работать на судне с частотой вращения, которая несколько превышает номинальную, в условиях наибольшей нагрузки (полные топливные и водяные баки, судовые запасы для длительного плавания, плохие погодные условия).

Режимы работы

Режимы работы двигателя характеризуют его способность развивать требуемую мощность и работать на определенной частоте вращения в условиях конкретной нагрузки. Система классификации режимов работы двигателей фирмы Caterpillar позволяет связать двигатели с определенным видом их применения. Она предусматривает следующие стандартные режимы работы.

Режим А номинальной мощности (непрерывный)

Этот режим для тяжелых условий работы на океанских судах с корпусами водоизмещающего типа (например, на грузовых судах, буксирных судах, траулерах донного траления, речных глубоковод-

ных буксирных судах); в этом режиме двигатель работает с полной нагрузкой и с номинальной частотой вращения в течение практически 100 % рабочего времени без перерывов и циклического изменения нагрузки. Расчетный объем использования составляет 4000 часов и более в год.

Режим В номинальной мощности (промежуточный)

Используется на траулерах средней дальности лова и на креветочных траулерах, сейнерах для лова рыбы кошельковым неводом, разъездных катерах и транспортных судах снабжения, пассажирских катерах с рейсами длительностью не более одного часа, на баржах на реках со шлюзами, песчаными отмелями, изгибами и интенсивностью речного движения, которые требуют постоянного изменения цикла работы двигателя в определенных пределах. Работа в режиме номинальной мощности ограничивается 80 % рабочего времени. Расчетный объем использования составляет до 4000 часов в год.

Режим С номинальной мощности (повторно- кратковременный)

Используется на яхтах с корпусами водоизмещающего типа, а также на пассажирских судах с рейсами длительностью на более одного часа, рыболовных судах с повышенной скоростью перемещения в район лова и обратно (например, на некоторых судах для ловли крабов, креветок и тунца) и на грузовых судах каботажного плавания, где нагрузка и частота вращения двигателя циклически изменяются. Работа в режиме номинальной мощности ограничивается 50 % рабочего времени. Расчетный объем использования составляет до 2000 часов в год.

Режим D номинальной мощности (для патрульных судов)

Продолжительный режим для использования на патрульных, таможенных полицейских катерах и некоторых пожарных судах. Работа в режиме номинальной мощности ограничивается 50 % рабочего времени. Расчетный объем использования составляет до 2000 часов в год.

* Нарботка в часах соответствует показаниям счетчика моточасов на всех двигателях фирмы Caterpillar, использующих электрические счетчики моточасов. На некоторых двигателях фирмы Caterpillar (D399, D398, D379 и ранее выпускавшихся моделях) использовались счетчики, "считавшие" обороты двигателя. Одна единица измерения такого счетчика соответствует одному часу только в том случае, если двигатель работает на номинальной частоте вращения. Соотношение между часами и единицами измерения такого счетчика пропорционально частоте вращения двигателя.

Режим Е номинальной мощности (высокие характеристики)

Для использования на прогулочных катерах с корпусами глиссерного типа, а также на лоцманских, рейдовых патрульных и служебных портовых катерах. Работа в режиме номинальной мощности ограничивается 8 % рабочего времени. Расчетный объем использования составляет до 200 часов в год.

Условия измерения номинальных показателей

Все значения номинальной мощности базируются на стандартных условиях окружающей среды по стандарту SAE J1128/ISO 8665: атмосферное давление 100 кПа (29,61 дюйма ртутного столба), температура 25 °C (77 °F). Номинальные показатели также соответствуют режимам по стандартам AS1501, BS5514, DIN 6271 и ISO 3046/1: атмосферное давление 100 кПа (29,61 дюйма ртутного столба), температура 27 °C (81 °F) и относительная влажность 60 %.

Расчет мощности производился с учетом использования топлива, имеющего температуру 29 °C (85 °F), плотность 35° по API [при температуре 16 °C (60 °F)] с теплотворной способностью 42 780 кДж/кг (18 390 брит. ед. теплоты/фунт) и плотностью 838,9 г/л (7,001 фунта/галлон США).

Номинальные показатели характеризуют полную мощность на выходе двигателей, оснащенных стандартными вспомогательными агрегатами: насосами систем смазки, топлива и охлаждения воды. Для получения значения располагаемой мощности для привода внешней нагрузки (маховика) из значения полной мощности на выходе нужно вычесть значение мощности для привода вспомогательных агрегатов. Типичными вспомогательными агрегатами могут являться вентиляторы, воздушные компрессоры, заряжающие генераторы переменного тока, судовые передачи и насосы для морской воды.

Режимы мощности судовых двигателей по стандартам DIN

Германский промышленный стандарт DIN 6270 устанавливает номинальные выходные параметры для двигателей внутреннего сгорания общего назначения. При необходимости можно давать ссылку на основные тяговые режимы мощности стандарта DIN 6270, учитывая приводимую ниже информацию.

Режим А номинальной мощности на выходе

Это заявленный фирмой Caterpillar "Режим номинальной мощности (непрерывный)" в киловаттах. Никаких дополнительных ссылок давать не нужно.*

Режим В мощности на выходе

Режим В мощности на выходе - это максимальная полезная мощность, которую способен развивать двигатель за определенный ограниченный период времени, соответствующий типу двигателя. Настройка подачи топлива отрегулирована в двигателе таким образом, что мощность на выходе В превышена быть не может, поэтому нет необходимости в демонстрации способности двигателя выдерживать работу с перегрузкой.

Исходя из этого определения, мы можем предложить два режима В мощности на выходе со значениями в киловаттах, которые соответствуют режиму В или С номинальной мощности фирмы Caterpillar.

В любом случае необходимо сделать ссылку на применимое определение режима мощности.

Общие замечания

Условия стандарта DIN 6270 несколько отличаются от условий стандарта SAE, используемого в США. Мы полагаем, что оба стандарта практически эквивалентны для целей практического использования. Нет необходимости корректировать режимы для учета слегка различающихся базовых условий.

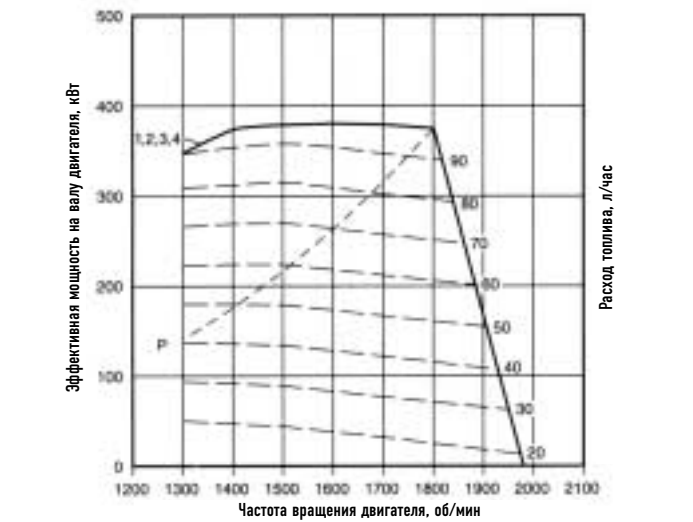
Полезная мощность на выходе по стандарту DIN 6270 определяется как располагаемая мощность на выходе для привода нагрузки после исключения из нее значения мощности, потребной для привода вспомогательных агрегатов. Это эквивалентно чистой мощности. Режимы мощности фирмы Caterpillar базируются на полной мощности. Поскольку потребности в киловаттной мощности таких вспомогательных агрегатов, как заряжающий генератор переменного тока и насос для морской воды, малы и находятся вполне в пределах наших допусков по мощности, нет необходимости вычитать значения нагрузок от приводных вспомогательных агрегатов тягового двигателя.

* Определение продолжительного режима выходной мощности А содержит условие о необходимости настройки устройства ограничения выходной мощности на обеспечение запаса выходной мощности. При необходимости данная способность выдерживать перегрузку может быть продемонстрирована путем увеличения установленного значения настройки подачи топлива от установленного в заводских условиях значения длительной выходной мощности до значения, соответствующего нашему уровню режима мощности В. За несколькими исключениями, эта настройка подачи топлива будет соответствовать способности выдерживать перегрузку около 10 %. Гребной винт должен быть подобран из расчета обеспечения работы на режиме продолжительной мощности с учетом соответствующих резервов установленной мощности, указанных в Technical Marketing Information File (файле технической маркетинговой информации) (ТМІ). После завершения демонстрационных испытаний следует восстановить настройку подачи топлива, указанную на табличке с параметрами двигателя.

Графики характеристик двигателя

Графики характеристик двигателей фирмы Caterpillar:

Технические характеристики двигателя. Режим мощности А 3412С DIT ТМ0013-03



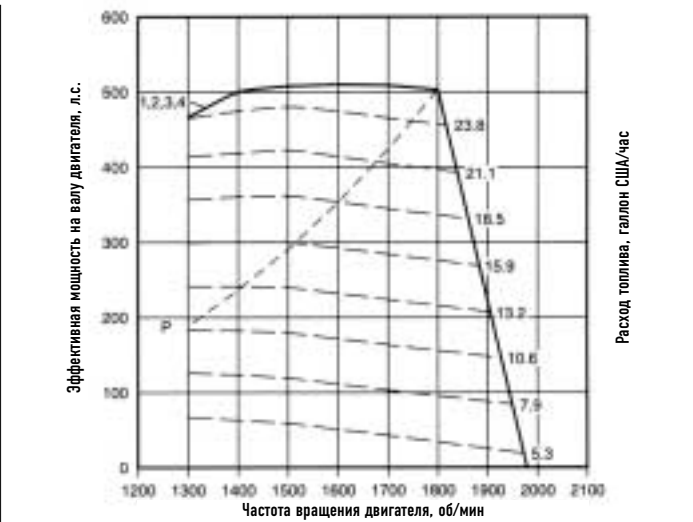
Ограничивающие зону данные

	ЧВД, об/мин	Эффективная мощность на валу, кВт	Расход топлива, г/кВт•ч	Расход топлива, л/ч	Давление наддува, кПа приб.	Расход воздуха, м³/мин	Темпера- тура вып. газов, °C	Расход вып. газов, м³/мин
Кривая 1	1800	375	218	97,6	99,0	37,3	371	80,5
	1700	379	215	97,2	96,3	35,3	381	77,6
	1600	381	212	96,3	91,8	33,1	394	74,3
	1500	379	210	94,9	86,2	30,8	406	70,5
	1400	374	213	95,2	82,7	28,5	433	67,8
	1300	348	217	90,2	71,2	25,1	450	61,6
Кривая 2	1800	375	218	97,6	99,0	37,3	371	80,5
	1700	379	215	97,2	96,3	35,3	381	77,6
	1600	381	212	96,3	91,8	33,1	394	74,3
	1500	379	210	94,9	86,2	30,8	406	70,5
	1400	374	213	95,2	82,7	28,5	433	67,8
	1300	348	217	90,2	71,2	25,1	450	61,6
Кривая 3	1800	375	218	97,6	99,0	37,3	371	80,5
	1700	379	215	97,2	96,3	35,3	381	77,6
	1600	381	212	96,3	91,8	33,1	394	74,3
	1500	379	210	94,9	86,2	30,8	406	70,5
	1400	374	213	95,2	82,7	28,5	433	67,8
	1300	348	217	90,2	71,2	25,1	450	61,6
Кривая 4	1800	375	218	97,6	99,0	37,3	371	80,5
	1700	379	215	97,2	96,3	35,3	381	77,6
	1600	381	212	96,3	91,8	33,1	394	74,3
	1500	379	210	94,9	86,2	30,8	406	70,5
	1400	374	213	95,2	82,7	28,5	433	67,8
	1300	348	217	90,2	71,2	25,1	450	61,6

Данные по потребной мощности гребного винта

	ЧВД, об/мин	Эффективная мощность на валу, кВт	Расход топлива, г/кВт•ч	Расход топлива, л/ч	Давление наддува, кПа приб.	Расход воздуха, м³/мин	Темпера- тура вып. газов, °C	Расход вып. газов, м³/мин
Оптималь- ная нагрузка (кривая Р)	1800	375	218	97,6	99,0	37,3	371	80,5
	1700	316	220	83,0	74,3	32,1	354	67,4
	1600	263	223	70,0	53,5	27,5	336	56,0
	1500	217	226	58,4	36,2	23,6	317	46,5
	1400	176	234	49,2	25,2	20,4	300	39,1
	1300	141	243	40,9	16,1	17,7	280	32,6

Среднее действительное давление торможения 925 кПа
Отвод тепла в охлаждающую жидкость (общий) 352 кВт
Отвод тепла в выпуск (общий) 272 кВт
Отвод тепла в охлаждающую жидкость маслоохладителя 54 кВт
Отвод тепла от двигателя в атмосферу 81 кВт



Ограничивающие зону данные

	ЧВД, об/мин	Эффективная мощность на валу, л.с.	Расход топлива, фунтов/ л.с. •ч	Расход топлива, галлон США/ч	Давление наддува, дюймы рт. ст.	Расход воздуха, куб. фут./ мин	Темпера- тура вып. газов, °F	Расход вып. газов, куб. фут./ мин
Кривая 1	1800	510	0,358	25,8	29,3	1318	699	2844
	1700	515	0,353	25,7	28,5	1247	719	2740
	1600	516	0,349	25,4	27,2	1169	740	2623
	1500	515	0,345	25,1	25,5	1086	763	2488
	1400	509	0,350	25,1	24,5	1005	811	2393
	1300	473	0,357	23,8	21,1	887	842	2175
Кривая 2	1800	510	0,358	25,8	29,3	1318	699	2844
	1700	515	0,353	25,7	28,5	1247	719	2740
	1600	516	0,349	25,4	27,2	1169	740	2623
	1500	515	0,345	25,1	25,5	1086	763	2488
	1400	509	0,350	25,1	24,5	1005	811	2393
	1300	473	0,357	23,8	21,1	887	842	2175
Кривая 3	1800	510	0,358	25,8	29,3	1318	699	2844
	1700	515	0,353	25,7	28,5	1247	719	2740
	1600	516	0,349	25,4	27,2	1169	740	2623
	1500	515	0,345	25,1	25,5	1086	763	2488
	1400	509	0,350	25,1	24,5	1005	811	2393
	1300	473	0,357	23,8	21,1	887	842	2175
Кривая 4	1800	510	0,358	25,8	29,3	1318	699	2844
	1700	515	0,353	25,7	28,5	1247	719	2740
	1600	516	0,349	25,4	27,2	1169	740	2623
	1500	515	0,345	25,1	25,5	1086	763	2488
	1400	509	0,350	25,1	24,5	1005	811	2393
	1300	473	0,357	23,8	21,1	887	842	2175

Данные по потребной мощности гребного винта

	ЧВД, об/мин	Эффективная мощность на валу, л.с.	Расход топлива, фунтов/ л.с. •ч	Расход топлива, галлон США/ч	Давление наддува, дюймы рт. ст.	Расход воздуха, куб. фут./ мин	Темпера- тура вып. газов, °F	Расход вып. газов, куб. фут./ мин
Оптималь- ная нагрузка (кривая Р)	1800	510	0,358	25,8	29,3	1318	699	2844
	1700	430	0,362	21,9	22,0	1133	668	2378
	1600	358	0,367	18,5	15,8	971	636	1978
	1500	295	0,372	15,4	10,7	833	602	1642
	1400	241	0,385	13,0	7,5	721	572	1379
	1300	192	0,399	10,8	4,8	624	536	1152

Среднее действительное давление тормоза 134 фунта на кв. дюйм
Отвод тепла в охлаждающую жидкость (общий) 20 018 брит. ед. теплоты/мин
Отвод тепла в выпуск (общий) 15 469 брит. ед. теплоты/мин
Отвод тепла в охлаждающую жидкость маслоохладителя 3071 брит. ед. теплоты/мин
Отвод тепла от двигателя в атмосферу 4606 брит. ед. теплоты/мин

Разъяснения по графикам:

Вертикальная ось (слева). Градуирована в единицах измерения эффективной мощности на валу (кВт или л.с.).

Горизонтальная ось. Градуирована в единицах измерения частоты вращения двигателя (об/мин).

Кривая Р... Кривая потребной мощности гребного винта описывает потребную мощность гребного винта фиксированного шага.

Линия 1... Непрерывная линия ограничения описывает верхний предел продолжительной работы без перерыва или циклического изменения нагрузки.

Зона 1-2.... Зона, в пределах которой работа разрешена на период до 4 часов с последующим периодом длительностью 1 час, в течение которого допускается изменение мощности и частоты вращения на уровне линии 1 или ниже нее.

Зона 2-3... Зона, в пределах которой работа разрешена на период до 1 часа с последующим периодом длительностью 1 час, в течение которого допускается изменение мощности и частоты вращения на уровне линии 1 или ниже нее.

Зона 3-4... Зона, в пределах которой работа разрешена на период до 5 минут с последующим периодом длительностью 1 час, в течение которого допускается изменение мощности и частоты вращения на уровне линии 1 или ниже нее.

Линии расхода топлива... Параллельные, слегка искривленные пунктирные линии с градуировкой в правой части представляют собой линии постоянного расхода топлива в л/мин или галлонах США/мин.

Наиболее эффективная частота вращения двигателя для выработки любого конкретного количества мощности будет находиться непосредственно под наивысшей точкой наиболее близко расположенной к значению потребной мощности линии расхода топлива. Это будет наиболее полезно в тех случаях, когда нагрузка допускает изменение частоты вращения двигателя, на которой отбирается мощность как, например, гребные винты с фиксированным шагом.

Графическое представление характеристик двигателя сопровождается представлением полной информации в табличной форме. В таблицах указаны значения давления во впускном коллекторе, температуры в выпускной трубе, расхода воздуха для сгорания топлива, расхода выхлопных газов, расхода топлива, мощности и частоты вращения двигателя и его топливной экономичности для всех приведенных графиков.

Каждый стандартный режим мощности двигателя документируется таким образом, как показано выше. Официальный выпуск таких данных может несколько задерживаться в случае ввода новых режимов или конфигураций двигателя.

Влияние конфигурации двигателя на режимы мощности

Для обеспечения эффективного использования большего количества топлива конфигурация двигателя может быть изменена. Для этого нужно увеличить общее количество используемого в двигателе воздуха. Расход воздуха в двигателе обеспечивается засасыванием воздуха извне. В двигателях фирмы Caterpillar используются два следующих метода подачи воздуха в двигатель.

Двигатель с естественным засосом воздуха

В двигателе с естественным засосом воздуха объем засасываемого в каждый цилиндр воздуха невелик, поскольку подача воздуха через впускной клапан двигателя осуществляется только под действием атмосферного давления. В этом случае не предусмотрено никакого внешнего устройства для создания дополнительного давления (наддува) во впускном коллекторе двигателя и в этом коллекторе всегда будет присутствовать некоторое разрежение воздуха.

Двигатели с турбонаддувом

Установка турбокомпрессора позволяет нагнетать в цилиндры двигателя большее количество воздуха. Турбокомпрессоры представляют собой устройства турбинного типа, которые обычно используют выбрасываемые наружу двигателями с естественным засосом воздуха выпускные газы для сжатия на- ружного воздуха и нагнетания его во впускной коллектор. Увеличенное количество воздуха, проходящее через двигатель с турбонаддувом, обеспечивает два преимущества:

1. Увеличенное количество воздуха обеспечивает охлаждение клапанов, головок поршней и стенок цилиндров и повышает их сопротивляемость усилиям, развиваемым газами при сгорании топлива.
2. Увеличенное количество воздуха для сгорания топлива позволяет сжигать топливо более эффективно.

Все это способствует увеличению мощности двигателя. Однако сжатие все же увеличивает температуру впускаемого воздуха. Целесообразно сбросить эту температуру до входа воздуха в камеру сгорания. Охлаждение воздуха перед подачей его в камеру сгорания увеличивает его плотность и способствует охлаждению элементов конструкции камеры сгорания.

Двигатели с турбонаддувом и охлаждением наддувочного воздуха

В двигателях такого типа между турбокомпрессором и камерой сгорания устанавливается теплообменник (охладитель наддувочного воздуха). Охладитель обеспечивает охлаждение поступающего воздуха за счет уноса тепла потоком воды. Вода может поступать из двух источников. Если в охладителе используется вода рубашки охлаждения (та же вода, которая охлаждает головку и блок цилиндров), воздух может охлаждаться только до температуры 93 °C (200 °F). Температура воды рубашки охлаждения регулируется термостатически приблизительно на уровне 82 °C (180 °F). За счет использования в охладителе воды отдельного контура (например, морской воды или иного контура), в котором температура воды ниже, чем в рубашке охлаждения двигателя, можно получить еще более холодный воздух. Чем ниже температура воды в охладителе, тем большей мощности двигателя можно достичь, поскольку более плотный воздух обеспечивает сгорание большего количества топлива.

Длительные периоды работы с малой нагрузкой

При необходимости эксплуатации двигателя с малой нагрузкой в течение длительного периода времени нужно периодически давать ему поработать с более высокой нагрузкой для того, чтобы убрать отложение продуктов сгорания топлива. Под работой с малой нагрузкой понимается работа с нагрузкой ниже 20 % от номинальной. Для удаления отложений нужно периодически давать двигателю поработать с нагрузкой более 40 %. Двигатели фирмы Caterpillar вполне могут эксплуатироваться свыше 24 часов, прежде чем появятся значительные черные потеки. Возможность эксплуатации без потеков в течение дополнительного времени зависит от конфигурации двигателя, температуры воды в охладителе наддувочного воздуха, температуры воздуха на впуске в двигатель и типа используемого топлива.

Режимы мощности двигателей вспомогательного оборудования

Судовые двигатели, используемые для привода вспомогательного оборудования, имеют ту же общую конфигурацию, что и двигатели силовых установок. Их мощность на выходе ограничивается теми же конструкционными параметрами. Мощность на выходе двигателя также ограничивается способом подачи воздуха в двигатель, системой охлаждения наддувочного воздуха и типом двигателя.

Основные режимы мощности двигателей фирмы Caterpillar используются для обеспечения работы судовых генераторных установок, когда они используются как бортовой и аварийный источники питания 60 или 50 Гц. На заводе-изготовителе двигатель отрегулирован на обеспечение мощности на выходе двигателя в размере 110 % от номинальной в соответствии с требованиями организаций по классификации морских судов (MCS).

Обычно требования к энергоснабжению вспомогательного оборудования, такого как насосы гидравлических систем, лебедки, пожарные и грузовые насосы, устанавливаются исходя из режима мощности, учитывающего его рабочий цикл и коэффициент нагрузки.



Характеристики судов

Допуски по корпусу, гребному винту и двигателю

Выбор размера гребного винта

Гребные винты в направляющей насадке (насадка Корта)

Типы корпусов

Формулы для приближенных расчетов

Ходовые характеристики судна являются результатом сложного взаимодействия трех составляющих: двигателя, корпуса и ходового винта.

Допуски по корпусу, гребному винту и двигателю

Для обеспечения большого срока службы и хороших характеристик всей ходовой системы судна очень большое значение имеет правильное определение мощности составных элементов системы. Есть допуски на различные параметры системы обеспечения хода судна. В самых жестких условиях эксплуатации нарушение этих допусков приводит к сокращению срока службы и ухудшению характеристик до неудовлетворительного уровня. Ниже приведен пример влияния таких допусков на характеристики судна.

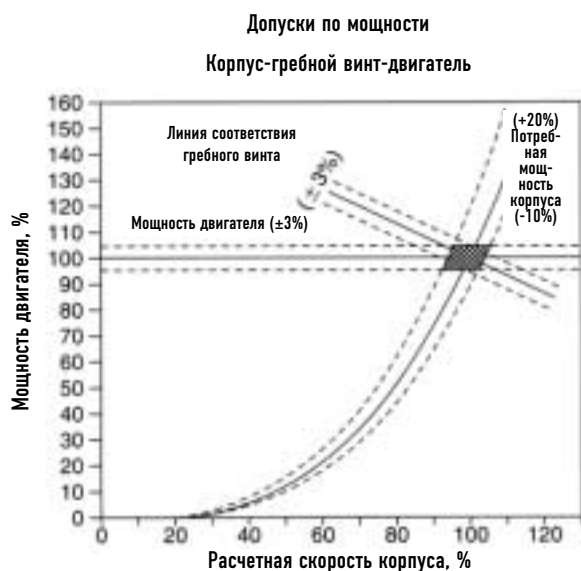


Рис. 2.1

Мощность двигателя может колебаться в пределах $\pm 3\%$ от номинальной.

Поглощение мощности гребным винтом может колебаться в пределах $\pm 5\%$ от расчетного значения. Это может быть связано с допусками завода-изготовителя по шагу, качеством обработки поверхности и профилем лопастей.

Сопротивление корпуса может изменяться в пределах 20 % от расчетных или имевших ранее место на практике значений из-за неизбежных различий в массе и форме.

Рис. 1.2

Выбор размера гребного винта

Для ходовых характеристик судна гребной винт настолько же важен, как корпус судна или двигатель.

Гребной винт оказывает непосредственное влияние на наибольшую скорость, топливную экономичность и срок службы двигателя.

Общая информация

Большинство операторов предпочитают при управлении судном переходить на пониженную частоту вращения двигателя путем регулирования подачи горючей смеси, но, когда судно готово к выходу в море, полностью загружено топливом, водой и судовыми запасами, двигатель должен быть способен выходить на номинальную частоту вращения. Для обеспечения максимальных срока службы и экономичности работы двигателя расчетные эксплуатационные частоты вращения двигателя при ходовых испытаниях должны превышать номинальную частоту вращения двигателя при полной нагрузке приблизительно на 1 - 3 %.

Значения частоты вращения двигателя при ходовых испытаниях

Модель двигателя	Номинальная ЧВД, об/мин	Расчетная ЧВД при ходовых испытаниях, об/мин
3116	2400	2425 – 2470
3116, 3126	2800	2830 – 2890
3208	2400	2425 – 2470
	2800	2830 – 2890
3176, 3406B	1800	1820 – 1850
3408B, 3412	2100	2120 – 2160
	2300	2320 – 2360
3508, 3512, 3516	1800	1820 – 1850
	1925	1945 – 1980

Устранение перегрузки двигателя на судах

Когда измеренная в процессе ходовых испытаний судна частота вращения двигателя не достигает установленного значения, причины могут быть следующими:

Слишком грязный корпус судна. Очистить корпус судна и повторить ходовые испытания.

Развиваемая двигателем мощность мала. Измерить и зарегистрировать такие параметры работы двигателя, как температура на впуске, выпуске и расход топлива.

Неверно подобрана трансмиссия или гребной винт. Ниже подробно разъясняется, как решить эту проблему. Для простоты изложения оно будет касаться только гребных винтов с фиксированным шагом.

Регулировка настройки подачи топлива. Многие операторы судов и судоверфи стремятся увеличить установленное значение подачи топлива, когда их двигатель не выходит на номинальную частоту вращения во время ходовых испытаний. На первый взгляд кажется, что это наиболее простой и экономичный способ.

Однако в подобной ситуации такое решение не является верным, даже если частота вращения двигателя при этом увеличивается до желаемого значения. Увеличение установленного значения подачи топлива ведет к сокращению срока службы двигателя, увеличению его износа и, в худшем случае, к преждевременному выходу из строя двигателя. Расходы оператора судна на ремонт и техническое обслуживание двигателя в таком случае вероятнее всего окажутся гораздо больше расходов на замену или доработку установленной трансмиссии или гребного винта.

Регулировка максимальной частоты вращения холостого хода. Другим часто рассматриваемым альтернативным вариантом является увеличение максимальной частоты вращения холостого хода двигателя до определенной свободной частоты вращения. Это не даст желаемых результатов, поскольку ограничитель подачи топлива уже находится в положении максимальной подачи и увеличение частоты вращения холостого хода не приведет к значительному увеличению частоты вращения двигателя.

Правильно подобранный гребной винт и (или) передаточное соотношение. Правильным, но более дорогостоящим способом обеспечения работы двигателя в пределах предписанных режимов мощности будет установка надлежащим образом выбранного гребного винта и (или) обеспечения соответствующего передаточного отношения.

Избежание изменений в карданной передаче. В тех случаях, когда нельзя или нежелательно вносить какие-либо изменения в состав карданной передачи, можно рассмотреть другой возможный вариант. Этот метод заключается в одновременном уменьшении заданного значения подачи топлива и максимальной частоты вращения холостого хода. Конечно, мощность и номинальная частота вращения двигателя при этом снижаются, однако мы пользуемся преимуществом того, что при снижении мощности и номинальной частоты вращения двигателя потребляемая мощность гребных винтов уменьшается гораздо быстрее, чем способность двигателя развивать требуемую мощность.

Рабочая характеристика судового двигателя

3412 ТА, 388 кВт (528 л.с.) при 1800 об/мин



Рис. 2.2

В результате двигатель будет работать в пределах ограничений его вида применения и будет достигнуто оптимальное сочетание двигателя и гребного винта.

Следующая формула в общем виде применима к стандартным гребным винтам с фиксированным шагом:

$$hp1/hp2 = (N1/N2)^3$$

или в преобразованном виде:

$$hp2 = hp1 \times (N2/N1)^3,$$

где

hp1 - мощность, развиваемая двигателем при частоте вращения полного хода, зафиксированная во время ходовых испытаний. Этот уровень мощности определяется по графикам рабочих характеристик судового двигателя, соответствующих исходным режимам мощности двигателя, проданного дилером, и определяется по кривой зафиксированной скорости.

hp2 - расчетная потребляемая мощность гребного винта при новой уменьшенной частоте вращения двигателя, предлагаемого для данного вида применения.

N1 - частота вращения двигателя, зафиксированная во время первоначальных ходовых испытаний до изменения установленных значений подачи топлива или максимальной частоты вращения холостого хода. (Эту частоту всегда нужно измерять точным тахометром.)

N2 - новое уменьшенное значение частоты вращения, которое должно определяться для обеспечения соответствия двигателя, трансмиссии и гребного винта.

Например, рассмотрим двигатель 3408B DITA, проданный с режимом номинальной мощности 365 брит. л.с. при частоте 1800 об/мин. При ходовых испытаниях максимально достижимой оказалась только частота вращения 1620 об/мин. Этот двигатель работал в неприемлемых условиях перегрузки. Кривая рабочих характеристик судового двигателя [для режима номинальной мощности 272 кВт (365 брит. л.с.) при частоте вращения 1800 об/мин] показывает, что двигатель развивал (и гребной винт требовал такой мощности) 344 брит.л.с. при ограниченной частоте вращения 1620 об/мин. Такая потребность в мощности превышает одобренную номинальную мощность 330 брит. л.с. при частоте вращения 1620 об/мин. Эта проблема может быть решена путем дальнейшего уменьшения частоты вращения до тех пор, пока одобренная мощность двигателя, как показано на графике рабочих характеристик двигателя 3408B, не превысит потребную мощность гребного винта.

Рассчитаем для данного примера потребную мощность при снижении номинальной частоты вращения двигателя до 1550 брит. л.с.

$$hp2 = 334 \times (1550/1620)^3 = 301 \text{ брит. л.с.}$$

Уменьшение частоты вращения двигателя на 70 об/мин привело к снижению потребной мощности гребного винта на 43 брит. л.с. Одобренная продолжительная мощность двигателя при частоте вращения 1550 об/мин составляет 314 брит. л.с. и потребная мощность гребного винта уменьшилась до 301 брит. л.с.

При первоначальных испытаниях скорость движения сейнера длиной 21 м составляла 10,2 морских миль в час. Перенастройка двигателя с 344 брит. л.с. при 1620 об/мин до 314 брит. л.с. при 1550 об/мин привела к снижению скорости движения сейнера на 9,7 морских миль в час. Такое снижение скорости можно считать несущественным, особенно принимая во внимание выигрыш в сроке службы двигателя.

Изменение шага гребного винта

Если установлен слишком большой шаг гребного винта, его нужно уменьшить для того, чтобы двигатель выходил на номинальную частоту вращения. Шаг винта должен быть уменьшен на величину, пропорциональную коэффициенту частоты вращения двигателя.

Следующая формула определяет эту зависимость:

$$R_{\text{потр}} = R_{\text{факт}} \times \frac{ЧВД_{\text{перегр}}}{ЧВД_{\text{ном}}}$$

где

$R_{\text{потр}}$ - шаг, который должен иметь гребной винт для того, чтобы двигатель мог работать на номинальной частоте вращения;

$R_{\text{факт}}$ - шаг гребного винта, который не позволяет двигателю выйти на номинальную частоту вращения;

$ЧВД_{\text{перегр}}$ - частота вращения двигателя при номинальных условиях работы, когда установленный шаг гребного винта слишком велик;

$ЧВД_{\text{ном}}$ - соответствующая частота вращения двигателя, указанная в спецификациях применяемого двигателя.

Погрешности и измерение гребного винта

Быстроходные суда нуждаются в более точно изготовленных гребных винтах, чем тихоходные.

Из-за погрешностей в установке шага гребного винта, несущественных для речного катера, скорость которого не превышает 10 узлов, быстроходный патрульный катер или яхта могут терять до 2 - 3 узлов от своей максимальной скорости.

Гребные винты быстроходных судов должны изготавливаться очень точно, если необходимо достичь высших значений всех заложенных в конструкцию характеристик, и для того чтобы эти характеристики не снижались, гребные винты должны сохранять свои технические характеристики почти неизменными. Это особенно касается передних и задних кромок гребных винтов. В области малейших погрешностей в профиле, почти незаметных на ощупь, может начаться процесс кавитации. В наиболее тяжелых случаях это может привести к выходу из строя лопасти или ее потере после всего лишь 24 часов работы на большой частоте вращения.

Специалисты могут вспомнить такие примеры, когда обнаруживалось, что шаг новых гребных винтов не соответствует установленному значению на несколько дюймов. При ремонте или при изменении шага гребных винтов еще более трудно восстановить значение шага, необходимое для быстроходных судов.

Основной проблемой обычно является инструмент. Большинство устройств для измерения шага гребного винта не способны измерять или обнаруживать мелкие погрешности, которые не позволяют судну достичь заданных высоких характеристик. При прочих равных условиях именно квалификация машиниста, занимающегося обработкой гребного винта, является решающим фактором в обеспечении достижения судном таких характеристик.

Приспособления для измерения шага гребных винтов

Существует несколько типов устройств для измерения шага гребных винтов.

Измерительное устройство типа качающегося рычага

Это устройство обычно состоит из следующих частей: стенд для установки гребного винта в вертикальное положение; вертикальная стойка, проходящая через центр втулки гребного винта; поворот-

ная часть, вращающаяся вокруг стойки и вертикальная измерительная штанга, которая может перемещаться вверх и вниз внутри поворотной части.

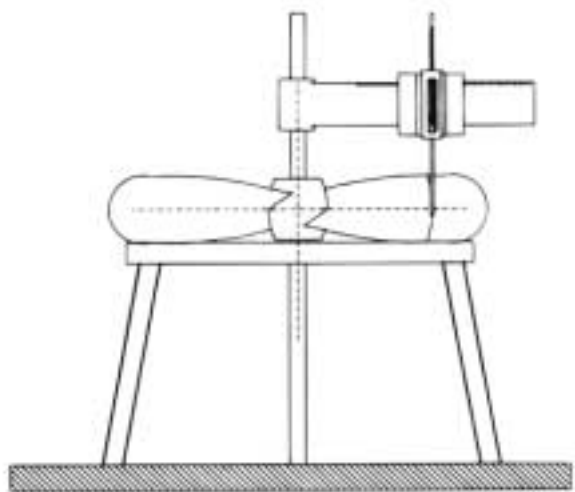


Рис. 2.3

Штанга опускается вниз из горизонтально установленной поворотной части и касается лопасти в нескольких радиальных точках при стандартном приращении угла. Разность по возвышению, радиальное положение и угловое приращение позволяют рассчитать шаг между двумя точками. Точность такого устройства зависит от жесткости рычага и степени свободы движения подшипников. Потенциальная точность измерения гребных винтов будет прямо пропорциональна количеству измерений, производимых на каждой лопасти (точки, в которых штанга касается каждой лопасти). Для гребных винтов коммерческих грузовых судов обычная практика предусматривает от 6 до 9 точек измерения на каждой лопасти. На гребных винтах быстроходных гражданских судов измерения производятся в 25 - 50 точках на каждой лопасти, а на гребных винтах военных кораблей - в нескольких сотнях точек на каждой лопасти. Мастерство машиниста проявляется в способности сглаживать "обтекание" участков между точками измерения.

Шаговые колодки

Шаговые колодки представляют собой блоки точно выдержанной формы, по которым оббиваются молотком отдельные гребные винты или выправляется их форма.

Они могут использоваться для измерения гребных винтов путем сравнения гребного винта неизвестной формы с комплектом колодок постепенно увеличивающихся размеров до тех пор, пока не будет достигнуто совпадение винта с колодкой.

Устройства для измерения угла шага

Устройства для измерения угла шага позволяют соотносить угол наклона кольцевой линии относительно базовой плоскости и рассчитать шаг, исходя из угла и радиального положения. Фирма Caterpillar предлагает устройство для измерения угла шага винта (деталь № 8T-5322).

Гребные винты в направляющей насадке (насадка Корта)

Направляющая насадка гребного винта, известная еще как насадка Корта, представляет собой кольцо, окружающее гребной винт, имеющий обычно лопасти с квадратными законцовками.

Кольцо обычно имеет сечение гидродинамического профиля. Гребной винт в направляющей насадке наиболее целесообразно использовать на таких судах, как траулеры, буксиры и баржи со скоростью движения 3 - 10 узлов. Гребные винты такого типа не следует использовать на относительно быстроходных судах.

Для облегчения выбора гребного винта произведите следующие расчеты. Если полученный результат будет менее 30, не следует рассматривать возможность установки гребного винта в направляющей насадке, поскольку это приведет к ухудшению характеристик судна.

$$B_p = (CB_{вгв}) \frac{(\sqrt{P_b})}{(V_a)^{2.5}},$$

где

B_p - базовая расчетная переменная гребного винта;

$CB_{вгв}$ - частота вращения вала гребного винта, об/мин;

P_b - мощность на валу, л.с.;

V_a - поступь гребного винта, узлы (обычно 0,7 - 0,9 скорости судна).

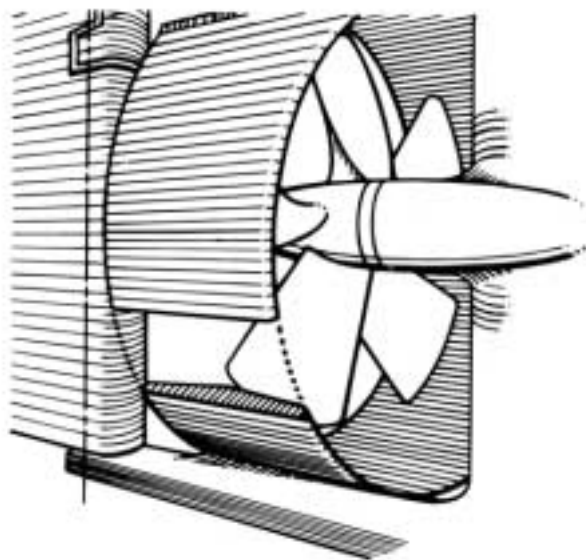


Рис. 2.4

Наиболее часто используется конфигурация или профиль насадки № 19А, хотя имеется также и профиль насадки № 37, который был специально разработан для левого вращения. Насадки изготавливаются из мягкой стали с гильзами из нержавеющей стали для защиты от коррозии. Они могут устанавливаться на стальные, деревянные и стеклопластиковые корпуса.

Ниже приводится сравнение насадок № 19А (при 100 % тягового усилия в направлении вперед) и № 37 и гребных винтов в открытой воде по тяговому усилию на швартовах, направленному вперед и назад.

	Вперед, %	Назад, %
Насадка № 19А	100	59
Насадка № 37	99	82
Гребной винт в открытой воде (тип В4.70)	69	55

Эти цифры получены для установки мощностью 1491 кВт (2000 л.с.) с гребными винтами диаметром 2007 мм (79 дюймов). Гребные винты в открытой воде, имеющие больший диаметр, работают несколько эффективнее, но все же не так хорошо, как гребные винты в направляющей насадке.

Более подробную информацию о системах гребных винтов можно получить у изготовителей винтов, многие из которых делают также и направляющие насадки.

Типы корпусов

Под судовыми корпусами всех типов, о которых речь шла выше, подразумевается только часть корпуса, расположенная ниже ватерлинии. Все, что расположено выше ватерлинии, имеет важное значение лишь с точки зрения мореходности, остойчивости судна, его комфортабельности и внешнего вида, но мало влияет на гребную установку.

Существует два основных типа судовых корпусов: водоизмещающий и глиссирующий. Есть также и

особые типы корпусов. К ним относятся корпус промежуточного типа, катамаран, корпус на подводных крыльях, корпус на воздушной подушке (как с гибким ограждением воздушной подушки, так и с жесткими бортовыми стенками) и корпус типа SWATH.

Корпус водоизмещающего типа

Корпус водоизмещающего типа наиболее общим образом может быть представлен как блок с сужающимися концами.

Базовая форма корпуса водоизмещающего типа

Базовая форма корпуса водоизмещающего типа может быть наглядно представлена в виде четырех основных форм, полученных из пяти базовых блоков и охватывающих практически все виды корпусов такого типа.

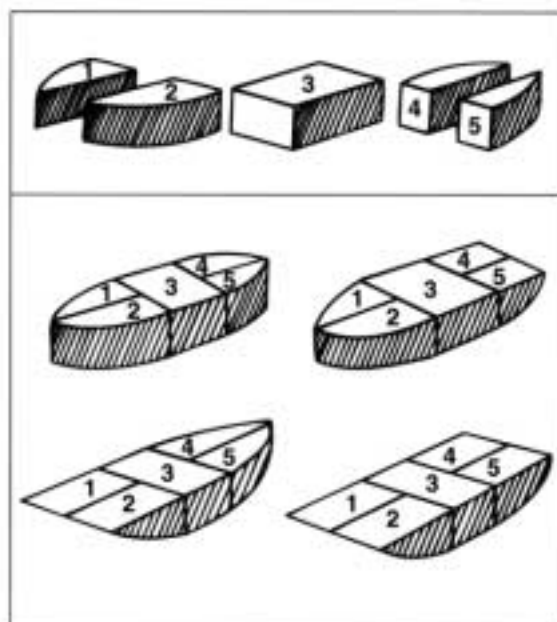


Рис. 2.5

Следует учитывать, что в данной публикации речь идет только о той части корпуса судна, которая находится ниже ватерлинии, и что эти базовые блоки представляют собой также только подводную часть судна.

Движение любого из изображенных на рисунке корпусов в воде создает волны. Нос судна отталкивает воду в сторону, формируя носовую волну. Приобретаемый волной момент движения выносит ее за границы корпуса, оставляя позади впадину. Затем волна устремляется назад в эту впадину. При небольшой скорости движения это вызывает обратный накат волны, которая отталкивается от

корпуса, порождая таким образом обычную картину чередования впадин и гребней, возникающую при движении судна вместе с носовой волной.

Соотношение между длиной корпуса и скоростью движения судна

Длина корпуса водоизмещающего типа определяет наибольшую скорость его движения. Можно в буквальном смысле измерить длину корпуса такого типа и рассчитать наибольшую практическую скорость судна на основе одного этого измерения.

Это возможно благодаря существованию определенной зависимости между скоростью судна, длиной судна и длиной волны.

Длина судна и длина волны

Длина волны и длина судна прямо пропорциональны. Чем больше скорость движения волны, тем она длиннее.

Поскольку движение корпуса судна вызывает появление носовой волны, то чем быстрее движется корпус, тем большую скорость приобретает носовая волна и тем больше будет ее длина.

По мере увеличения скорости движения волны ее длина начинает приближаться к длине корпуса.

Скорость, при которой длина носовой волны становится равной длине корпуса, называется пределом скорости корпуса.

Дальнейшее увеличение скорости движения корпуса свыше предела его скорости будет вызывать проваливание кормы в подошву носовой волны.

Это имеет следующие отрицательные последствия:

- в гребной винт (винты) корпуса водоизмещающего типа может попасть воздух, уменьшая тем самым тягу гребного винта;
- днище корпуса попадает под воздействие набегающих волн, что ведет к увеличению сопротивления корпуса;
- увеличенный наклон вала (валов) гребного винта (винтов) уменьшает тягу вала в направлении движения вперед, поскольку часть направленной вперед составляющей тяги гребного винта расходуется на удержание кормы судна в верхнем положении.

Это очень сильно влияет на зависимость сопротивления корпуса от дальнейшего увеличения скорости. Для ускорения движения корпус водоизмещающего типа должен подняться на гребень собственной носовой волны. Например, на достижение последних 10 % наибольшей скорости корпуса водоизмещающего типа приходится тратить 27 % мощности двигателя (и расхода топлива).

Математическое выражение коэффициента скорости корпуса

Эта зависимость может быть описана математически. Она называется коэффициентом скорости корпуса.

$$\text{Коэффициент скорости корпуса} = \frac{\text{скорость судна}}{\sqrt{\text{длина корпуса}}}$$

Когда длина носовой волны равняется длине корпуса, формула зависимости скорости от длины корпуса может иметь следующий вид:

$$4,5\sqrt{(\text{длина корпуса, м})} = (\text{скорость судна, км/ч})$$

или

$$1,34\sqrt{(\text{длина корпуса, футах})} = (\text{скорость судна, узлы})$$

Корпус глиссирующего типа

Корпус глиссирующего типа скользит над поверхностью воды, создавая относительно небольшое возмущение воды. Основным фактором, сдерживающим увеличение скорости судна с корпусом глиссирующего типа является трение обшивки.

Корпуса такого типа очень чувствительны к качеству поверхности, что придает техническому обслуживанию корпуса особо важное значение в плане обеспечения наивысших характеристик судна. Корпуса глиссирующего типа также очень чувствительны к массе судна.



Рис. 2.6

Корпуса промежуточного типа

Корпус промежуточного типа выглядит также, как и корпус глиссирующего типа, и его часто принимают за таковой. Корпуса промежуточного типа - это такие корпуса, которые сочетают в себе характеристики корпусов и глиссирующего, и водоизмещающего типа, но не принадлежат ни к одному из них. У судов с корпусами водоизмещающего типа возникают трудности из-за формы корпуса, когда соотношение скорости движения и длины волны превышает 4,5 (1,34). У судов с корпусами глисси-

рующего типа возникают трудности из-за прямолинейности носа и кормы, когда соотношение скорости движения и длины волны не превышает 8,4 (2,5).



Рис. 2.7

Корпуса промежуточного типа рассчитаны на работу именно в этом диапазоне скоростей.

Корпуса промежуточного типа характеризуются таким параметром, как батокс квартербимса кормовой части корпуса. Представьте себе пару вертикальных параллельных плоскостей, пересекающих корпус (посередине от продольного центра корпуса) в направлении ватерлинии по борту судна. Пересечение этих плоскостей с днищем корпуса около кормы создает батокс квартербимса кормовой части корпуса (их два, по одному с каждой стороны и оба имеют одинаковую форму). Угол батокса квартербимса формирует сам батокс и линия, параллельная ватерлинии находящегося в покое судна (рис. 2.8).

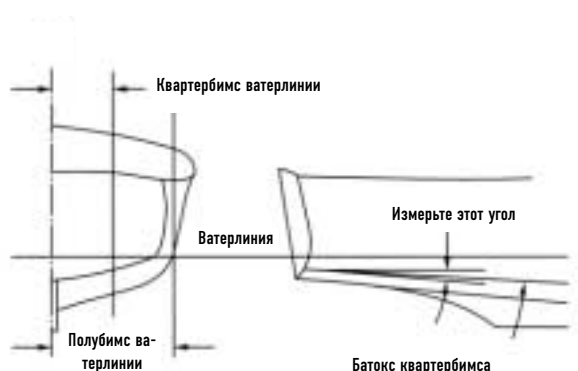


Рис. 2.8

Если этот угол очень мал (менее 2°), корпус может демонстрировать характеристики глиссирования. При угле 4° предельное соотношение скорости и длины будет составлять около 2,0. Угол 7° будет ограничивать скорость соотношением скорости к длине 1,5 или скоростью, которая лишь слегка превышает скорость судна с корпусом водоизмещающего типа. Этот угол следует измерять относительно ватерлинии находящегося в покое судна.

Формулы для приближенных расчетов

Приближенный расчет мощности, необходимой для достижения наибольшей скорости корпуса

Для судов водоизмещением менее 100 т может использоваться следующая формула:

Мощность для достижения наибольшей скорости корпуса = $5 \times$ [количество длинных тонн водоизмещения].

Расход топлива

Для планирования закупок топлива может использоваться следующая формула:

Расход топлива = 1 л/ч на 5 л.с.

