

УДК 629.5.016

**ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА МЕЖДУ ГРЕБНЫМ ВИНТОМ
И КОРПУСОМ СУДНА – НОРМИРОВАНИЕ И ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

А.Г. Егоров
мл. научн. сотрудник

Морское инженерное бюро, г. Одеса

***Аннотация.** В статье проанализированы действующие Правила членов Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) в области нормирования величины зазора между гребным винтом и корпусом судна. Выполнен обзор справочной и профессиональной литературы, приведены рекомендации производителей. Показан опыт проектирования и эксплуатации судов с классическим пропульсивным комплексом с разными зазорами.*

На основании глубокого всестороннего анализа сделаны выводы о нормировании зазора между гребным винтом и корпусом судна.

***Ключевые слова:** проектирование, зазор, пропульсивный комплекс, пропульсивный КПД, упор, вибрация, безопасность.*

**ВИБІР ВЕЛИЧИНИ ПРОЗОРУ МІЖ ГРЕБНИМ ГВИНТОМ
І КОРПУСОМ СУДНА – НОРМУВАННЯ ТА ПРАКТИКА ПРОЕКТУВАННЯ**

О.Г. Єгоров
мл. наук. співпрацівник

Морське інженерне бюро, м. Одеса

***Анотація.** У статті проаналізовано чинні Правила членів Міжнародної асоціації класифікаційних суспільств (МАКС) в області нормування величини прозору між гребним гвинтом і корпусом судна. Виконано огляд довідкової й професійної літератури, наведено рекомендації виробників. Показано досвід проектування й експлуатації суден із класичним пропульсивним комплексом із різними прозорами.*

На підставі глибокого всебічного аналізу зроблені висновки щодо нормування прозору між гребним гвинтом і корпусом судна.

***Ключові слова:** проектування, прозір, пропульсивний комплекс, пропульсивний ККД, упор, вібрація, безпека.*

**SELECTION OF A CLEARANCE SIZE BETWEEN THE PROPELLER
AND SHIP CASING – NORMALIZATION AND DESIGNING PRACTICE**

A.G. Egorov
ml. scientific associate

Maritime Engineering Bureau, Odessa

© Єгоров О.Г., 2018

In paper existing Rules of members of International Association of Classification Societies (IACS) in the area of regulation of clearance between vessel's hull and propeller are analyzed. Overview of support and professional books is executed, recommendations of suppliers are provided. Experience of design and operation of vessels with classical propulsive complex with different clearances is shown.

On the basis of in-depth complete analysis conclusions about regulation of clearance between vessel's hull and propeller are made.

Keywords: *design, clearance, propulsive complex, propulsive performance coefficient, thrust, vibration, safety.*

Постановка проблемы. Эффективной работе гребных винтов и их взаимодействию с корпусом судна всегда уделяли много внимания на различных этапах строительства судна, так как правильно спроектированный и установленный пропульсивный комплекс позволяет сократить расходы на топливо, выйти на заданную в судостроительном контракте эксплуатационную скорость, обеспечивает безопасную эксплуатацию и комфортное пребывание на борту.

Особенно важным является корректный выбор величины зазора между гребным винтом и корпусом судна c (см. рис. 1).

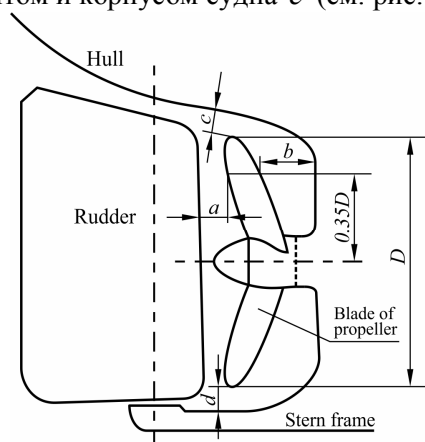


Рис. 1. Определение зазора c согласно CCS
Источник: [4. С. 2-126, п. 2.14.4]

Чрезмерно большой зазор приводит к уменьшению пропульсивного коэффициента, маленький же зазор увеличивает нагрузки, действующие на винт, а также создаёт избыточную вибрацию.

Для каждого типа судна и винта необходимо определять эффективный диапазон величины зазора c , который будет обоснован для тех или иных эксплуатационных режимов.

Целью статьи является выработка предложений по определению зазора между гребным винтом и корпусом судна c на основе анализа

требуваний Правил членов МАКО и опыта проектирования и эксплуатации.

Изложение основного материала. В первую очередь, должны быть проанализированы действующие Правила членов МАКО в области нормирования величины зазора между гребным винтом и корпусом судна (на сегодняшний день в МАКО входит 12 классификационных обществ (КО), которые обслуживают более 90% всего торгового флота [1]).

American Bureau of Shipping (ABS). Для общих случаев зазоры не регламентируются.

В пункте 6.1.6/23 [2. С. 142] сказано, что для избегания больших нагрузок на лопасти винта, зазоры c должны быть не меньше толщины льда h_o , указанного в [2. С. 132, п. 6.1.6/11.5], для различных балтийских ледовых классов (далее просто ледовых) (см. таблицу 1).

Таблица 1

*Величина минимального зазора c
для различных балтийских ледовых классов*

Ледовый класс	h_o , мм
IAA (IAS) (PC6 полярный класс [2])	1000
IA (PC7 полярный класс [2])	800
IB	600
IC, ID	400

Источник: [2. С. 132]

Bureau Veritas (BV). Для общих случаев зазоры не регламентируются, для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами ABS [3. С. 219, п. 5.3.1, таблица 9] (см. таблицу 1).

China Classification Society (CCS). Определение величины зазора между гребным винтом и корпусом судна c носит рекомендационный характер [4. С. 2-125, пункт 2.14.4]. Рекомендуются, чтобы зазор c должен был быть не менее 14 % от диаметра винта для всех типов и расположений винтов для всех судов (см. рисунок 1) $c \geq 0,14D$, где D – диаметр винта, м.

Croatian Register of Shipping (CRS). Помимо общих фраз о необходимости минимизаций усилий, действующих на винт [5. С. 114, п. 12.3.1.2], CRS даёт рекомендацию о зазоре $d_{0,9}$ относительно $0,9R$ (см. рисунок 2) (для определения зазора c нужно вычесть $0,1R$)

$$d_{0,9} \geq 0,004nD^3 \cdot \sqrt{\frac{v \cdot [1 - \sin(0,75\gamma)] \cdot \left(0,5 + \frac{Z_B}{x_F}\right)}{\Delta}}, \text{ м,}$$

где

R – радиус гребного винта, м;

v – эксплуатационная скорость судна, узл.;

n – частота вращения гребного винта, об/мин.;

Δ – наибольшее водоизмещение судна, т;

γ – угол откидки лопасти гребного винта, градусы (см. рисунок 3);

Z_B – расстояние между палубой рулевой рубки и верхней палубой, м;

x_F – расстояние между концевой кромкой кормы и носовой переборкой надстройки, м.

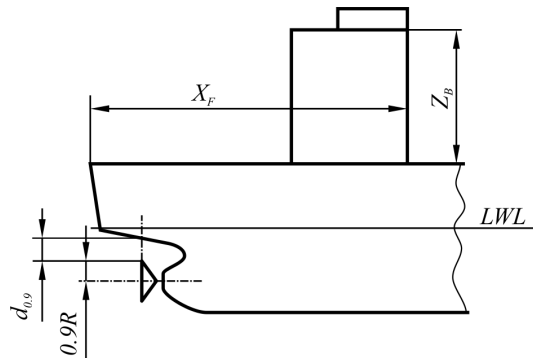


Рис. 2. Определение зазора $d_{0,9}$ согласно CRS

Источник: [5. С. 114, п. 12.3.1.2]

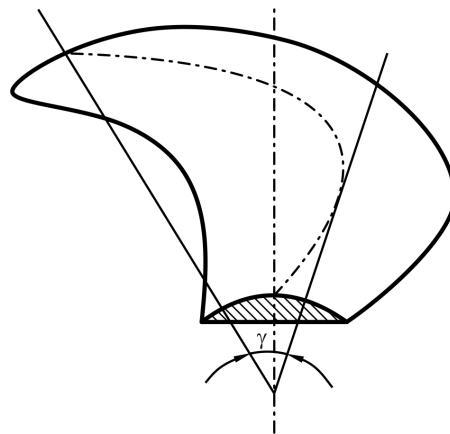


Рис. 3. Определение угла откидки лопасти гребного винта согласно CRS

Источник: [5. С. 114, п. 12.3.1.2]

Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd (DNV GL). Для общих случаев зазоры не регламентируются. Для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами ABS и BV [6. С. 34, пункт 7.2.1, таблица 8] (см. таблицу 1).

Были проанализированы также отдельно ранее действовавшие Правила DNV и GL.

DNV. В Правилах 2000 года (часть 3, глава 3, раздел 2, стр. 9, пункт 105) рекомендовалось, чтобы величина зазора между гребным винтом и корпусом судна c была не менее (см. рисунок 4):

$$c \geq (0,48 - 0,02Z_p) \cdot R \text{ (для одновинтовых судов) и}$$

$$c \geq (0,6 - 0,02Z_p) \cdot R \text{ (для двухвинтовых судов),}$$

где Z_p – количество лопастей.

GL. В Правилах 2016 года (С. 13-3, пункт С.1.2) давалась рекомендация о зазоре $d_{0,9}$ относительно $0,9R$, по аналогии с действующими Правилами CRS (см. CRS).

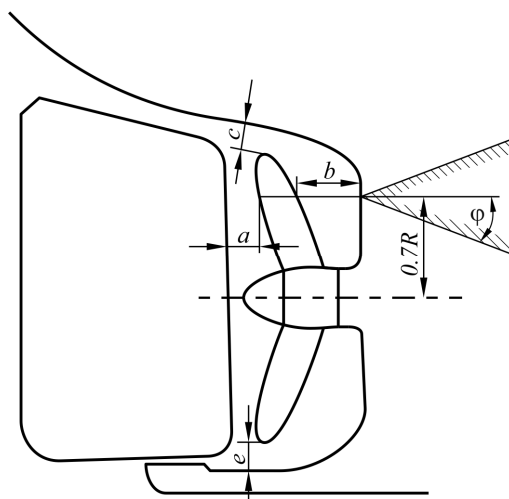


Рис. 4. Определение зазора c согласно Правилам DNV 2000 года

Indian Register of Shipping (IRS). Зазор c определяется по аналогии с Правилами DNV 2000 года [7. Часть 6, раздел 4, пункт 4.1.5] (см. рисунок 5).

Korean Register (KR). Для общих случаев зазоры не регламентируются. Для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами ABS, BV и DNV GL [8. пункт 310.1; 8. С. 3, пункт 204.4, таблица 1.1] (см. таблицу 1).

Для ледоколов отдельно регламентируется следующий минимальный зазор c (см. рисунок 6 и таблицу 2).

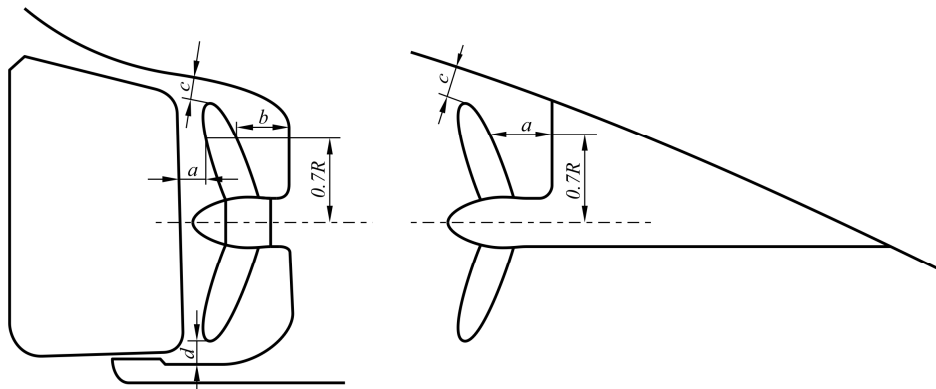


Рис. 5. Определение зазора c согласно IRS

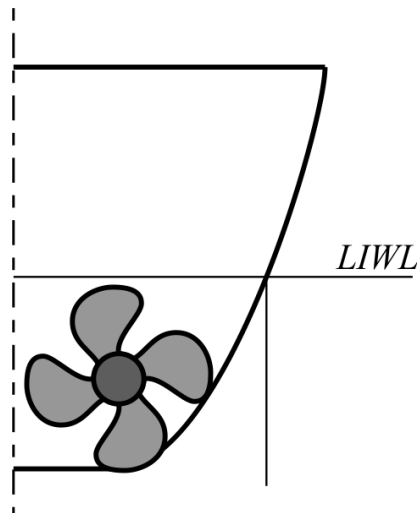


Рис. 6. Зазор c согласно KR для ледоколов
(расстояние от кромки винта
до нижней ледовой ватерлинии – lower ice waterline)
Источник: [8]

Таблица 2

Величина минимального зазора c по KR для ледоколов

Параметр	Класс ледокола			
	Icebreaker6	Icebreaker5	Icebreaker4	Icebreaker3
Зазор c , мм	1500	1250	750	500

Источник: [8]

Lloyd's Register (LR). Величина зазора между гребным винтом и корпусом судна a (одновинтовое судно), e (двухвинтовое судно) определяется в соответствии с таблицей 3 и рисунком 7 [9. С. 299, таблица 6.7.8].

Коэффициент K определяется как

$$K = \left(0,1 + \frac{L}{3050} \right) \cdot \left(\frac{3,48C_b P}{L^2} + 0,3 \right),$$

где L – длина по КВЛ, м; C_b – коэффициент общей полноты на осадку в грузу; P – мощность на один вал, кВт.

Таблица 3

Величина минимального зазора a , e по LR

Количество лопастей	Зазор a для одновинтового судна, м	Зазор e для двухвинтового судна, м
3	$1,20 \cdot K \cdot D$	$1,20 \cdot K \cdot D$
4	$1,00 \cdot K \cdot D$	$1,00 \cdot K \cdot D$
5	$0,85 \cdot K \cdot D$	$0,85 \cdot K \cdot D$
6	$0,75 \cdot K \cdot D$	$0,75 \cdot K \cdot D$
Минимальное значение	0,10D	0,20D – 3 и 4 лопасти
		0,16D – 5 и 6 лопастей

Источник: [9. С. 299, таблица 6.7.8]

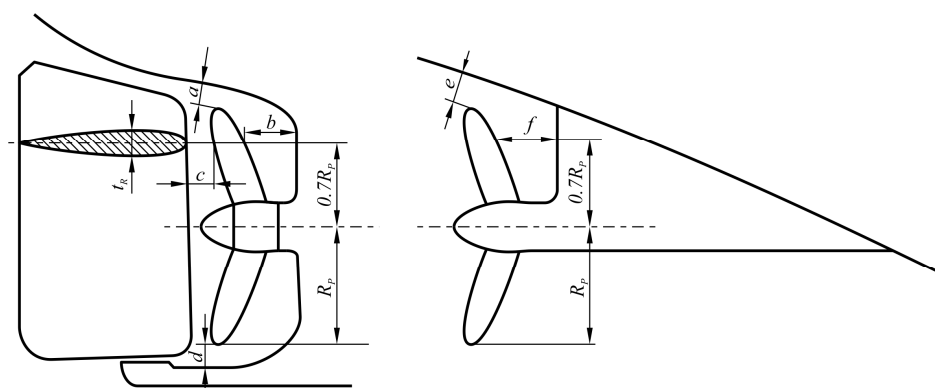


Рис. 7. Определение зазора a , e согласно LR
Источник: [9. С. 306, рис. 6.7.12]

Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK). Для общих случаев зазоры не регламентируются. Для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами ABS, BV, DNV GL и KR [10, пункт 8.3.9; 10. С. 16, пункт 8.1.2.6] (см. таблицу 1). При этом в поправках 2017 года [10. С. 130, пункт 18.3.9] уже отмечается, что зазор c должен быть не менее 500 мм для судов с ледовым классом и расстояние между кромкой винта и нижней границей ледяного поля должно быть положительным (винт не должен касаться сплошного льда).

Polski Rejestr Statków (PRS). Зазор c определяется по аналогии со «старыми» Правилами DNV и действующими Правилами IRS [11. С. 94, пункт 11.4.2].

Registro Italiano Navale (RINA). Для общих случаев зазоры не регламентируются. Для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами ABS, BV, DNV GL, KR и ClassNK [12. С. 70, пункт 6.3.1; 12. С. 61, пункт 2.3.1] (см. таблицу 1). При этом для судов с ледовым классом рекомендуется избегать минимальных значений c с целью недопущения возникновения критических нагрузок на винт [12. С. 103, пункт 9.2.1].

Российский Морской Регистр Судоходства (РС). Величина зазора между гребным винтом и корпусом судна c для всех типов и расположений винтов для всех судов (см. рисунок 8) определяется по формуле [13. С. 83, пункт 2.10.2.2] $c \geq 0,36R$, м.

При этом «лапы двухлапных кронштейнов бортовых гребных валов должны располагаться по отношению друг к другу под углом, близким к 90°. Осевые линии лап должны пересекаться на оси гребного вала. Расположение кронштейнов относительно корпуса должно обеспечивать возможно больший зазор между кромкой лопасти гребного винта и корпусом, но не менее 25 % диаметра гребного винта» [13. С. 84, пункт 2.10.2.6].

Для судов с ледовыми классами ситуация аналогична с Правилами других КО – членов МАКО.

Для ледоколов отдельно регламентируется следующий минимальный зазор c (см. таблицу 4).

Таблица 4

Величина минимального зазора c по РС для ледоколов

Параметр	Класс ледокола			
	Icebreaker9	Icebreaker8	Icebreaker7	Icebreaker6
Зазор c , мм	1500	1250	750	500

Источник: [13. С. 142, пункт 3.10.1.2.3]

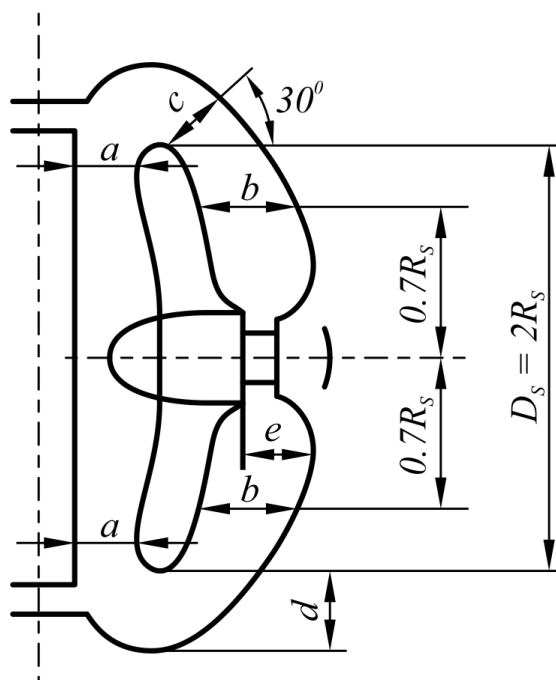


Рис. 8. Определение зазора c согласно РС
Источник: [13. С. 83, пункт 2.10.2.2]

Рекомендации научно-производственной литературы и производителей пропульсии. Помимо Правил членов МАКО были проанализированы рекомендации некоторых производителей пропульсивных комплексов, а также данные справочников по гидродинамике.

Компания MAN рекомендует, чтобы диаметр винта D был возможно большим с целью получения максимального пропульсивного коэффициента. При этом отмечается, что некорректно для всех типов судов рекомендовать одинаковые зазоры c .

Танкеры и балкеры, чаще всего, не имеют обратной загрузки, соответственно часто эксплуатируются в балласте, что обязывает проектанта уменьшать диаметр винта D для обеспечения его полного погружения. У линейных контейнеровозов (и паромов) ситуация иная, они редко совершают балластный переход [15. С. 18]. Оценочные рекомендации MAN следующие:

$$\frac{D}{d} < 0,65 \text{ для балкеров и танкеров;}$$

$$\frac{D}{d} < 0,74 \text{ для контейнеровозов и паромов,}$$

где d – расчетная осадка, м.

С целью недопущения возникновения избыточной вибрации корпуса компания Wärtsilä рекомендует обеспечивать зазор c между корпусом и винтом для классических морских судов не менее:

$c \geq 0,20...0,25D$ для винтов с нулевым (небольшим) углом откидки лопастей γ ;

$c \geq 0,15...0,20D$ для винтов с большим углом откидки лопастей γ .

Для линейных паромов и круизных лайнеров, где важно обеспечить комфорт пассажиров и нет частой смены эксплуатационных режимов, обычно принимают $c = 0,25...0,30D$ [14. С. 485].

Производитель гребных винтов Rice Propulsion рекомендует следующую зависимость $c \geq xD$, где $x = 0,23 - (0,02Z_p)$ [16].

Для трехлопастного винта зазор должен быть не менее $c \geq 0,17D$ [16].

Для рыбопромысловых судов зазор может быть уменьшен до $c \geq 0,08...0,10D$. Возможная сильная вибрация компенсируется большим упором и повышенной эффективностью гребного винта большего диаметра, что важно при работе в различных эксплуатационных режимах для такого типа судов [16].

Clements Engineering рекомендует назначать зазор c не менее $c \geq 0,15D$ [17].

А.М. Басин при определении коэффициента попутного потока классическими считал суда, у которых зазор c находился в пределах $c = 0,12...0,18D$ (подробнее см. рисунок 9) [18].

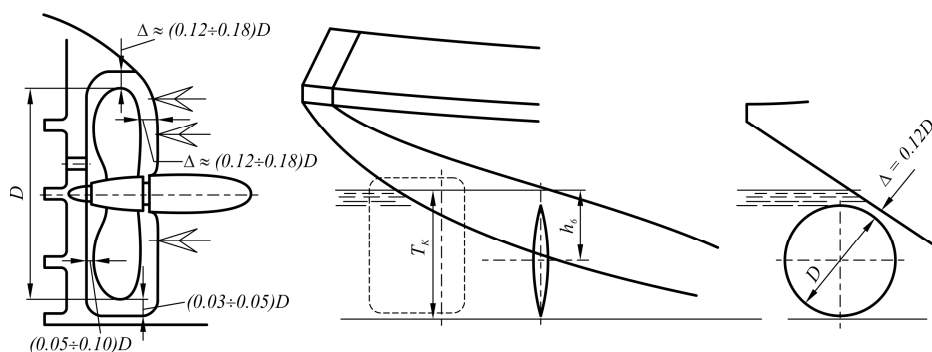


Рис. 9. Зазор c согласно А.М. Басину
Источник: [18. С. 146]

В книге [19] также отмечено, что зазор c должен находиться в пределах $c = 0,12...0,18D$ для морских судов (см. рисунок 10). При выходе из диапазона существует вероятность возникновения вибрации в корме или существенно ухудшаются условия работы винта.

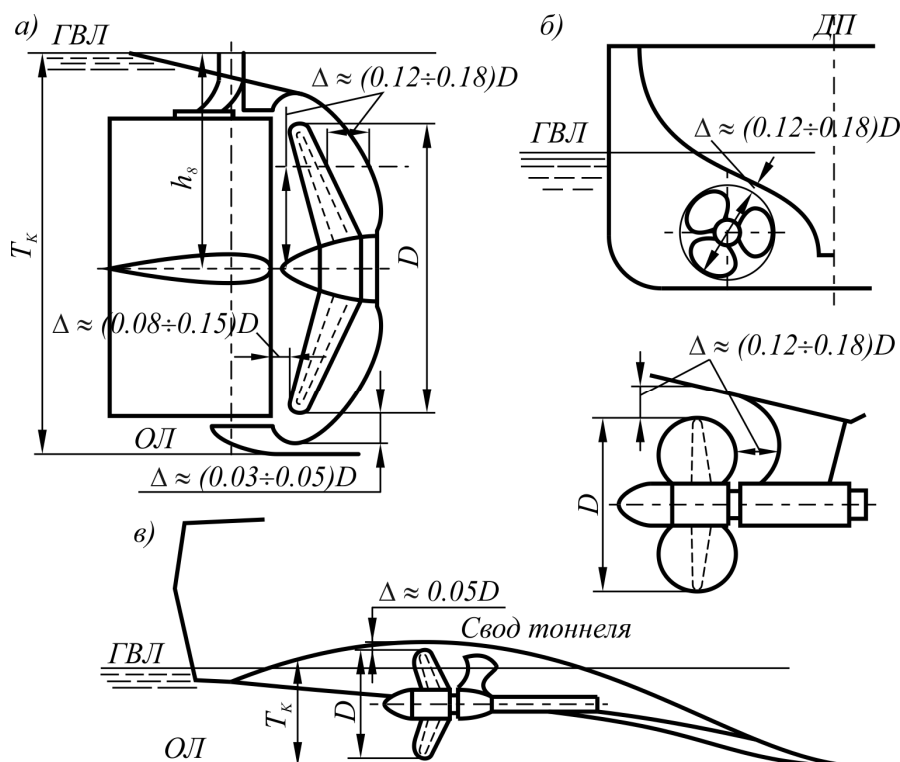


Рис. 10. Зазор c согласно:
а), б) при обычных кормовых обводах, в) в туннеле
Источник: [19. С. 84]

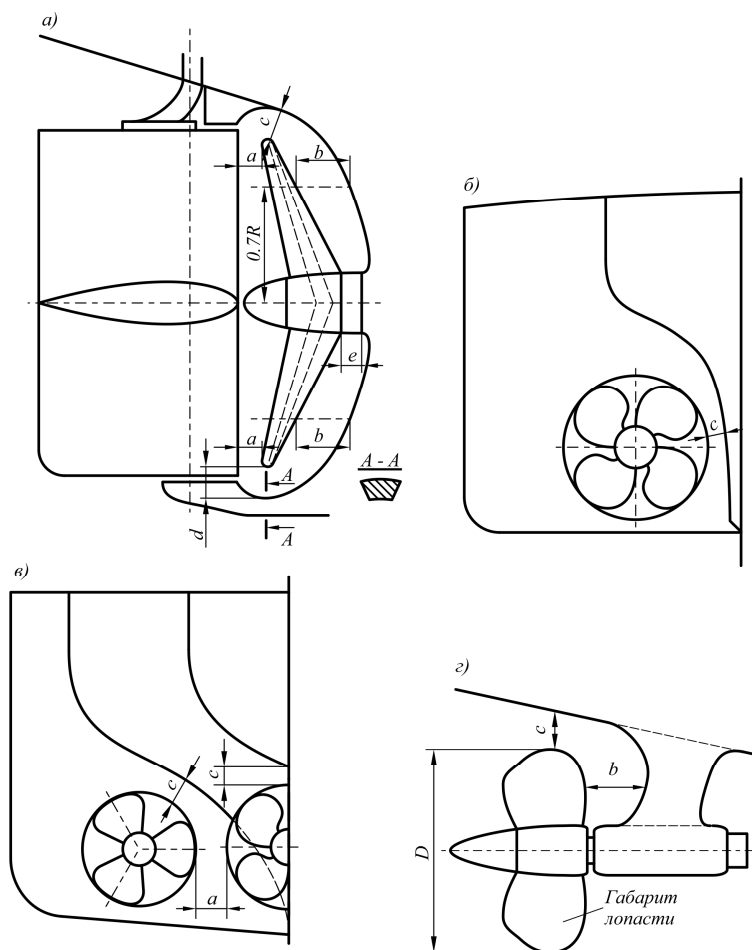
Для винтов, расположенных в туннелях кормовой оконечности, а также на многих буксирах-толкачах зазор может быть равным $c = 0,05D$. Такое расположение характерно для речных судов [19].

М.М. Жученко и В.М. Иванов рекомендовали при правильном расположении гребного винта относительно выступающих частей и корпуса судна диапазоны зазора c отдельно для тихоходных $c = 0,12...0,18D$ и быстроходных $c = 0,18...0,25D$ судов [20].

В справочнике Я.И. Войткунского [21] рекомендуется зазор $c = 0,15...0,17D$ для тихоходных судов и $c = 0,20...0,25D$ для быстроходных судов (см. рисунок 11).

В абсолютных значениях автор рекомендовал принимать зазор для одновинтовых судов $c = 0,3$ м при длине судна 75 м и $c = 0,45$ м при длине судна 150 м.

У тихоходных судов с туннельными образованиями зазор между гребным винтом и корпусом должен составлять не менее $c \geq 0,05...0,06D$. У таких же быстроходных судов $c \geq 0,10...0,15D$ [21].



*Рис. 11. Зазор c согласно:
а) одновинтовое судно; б) двухвинтовое судно;
в) трехвинтовое; г) бортовой винт
Источник: [21. С. 68]*

Для ледоколов величину зазора c следует принимать сопоставимой с максимальной толщиной льда, в котором еще возможно непрерывное движение самого ледокола [21].

Ф.М. Кацман в своей книге [22] отмечал, что среднее значение зазора c , предотвращающее появление повышенной вибрации, должно быть следующее:

$$c \geq 0,15 \dots 0,18D \text{ для одновинтовых судов,}$$

$$c > 0,18D \text{ для двухвинтовых судов.}$$

По данным М.Я. Алферьева [23] зазор между гребным винтом и корпусом судна c может выбираться в следующем диапазоне:

$$c = 0,05 \dots 0,15D.$$

Сводные данные по выполненному анализу. Обобщенная вышеприведенная информация по нормированию зазора между гребным винтом и корпусом судна c представлена в таблице 5.

Таблица 5

Обобщенная информация
по нормированию зазора между гребным винтом и корпусом судна c

Источник	Нормирование зазора c , м		
ABS	Не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным		
BV	Не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным		
CCS	$c \geq 0,14D$ для всех типов и расположений винтов		
CRS	$d_{0,9} \geq 0,004 \cdot n \cdot D^3 \cdot \sqrt{\frac{v \cdot [1 - \sin(0,75\gamma)] \cdot \left(0,5 + \frac{Z_B}{x_F}\right)}{\Delta}}$ (см. в тексте)		
DNV GL	Не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным		
DNV («старые» Правила)	$c \geq (0,48 - 0,02 \cdot Z_p) \cdot R$ (для одновинтовых судов); $c \geq (0,6 - 0,02 Z_p) \cdot R$ (для двухвинтовых судов)		
GL («старые» Правила)	$d_{0,9} \geq 0,004 \cdot n \cdot D^3 \cdot \sqrt{\frac{v \cdot [1 - \sin(0,75\gamma)] \cdot \left(0,5 + \frac{Z_B}{x_F}\right)}{\Delta}}$ (см. в тексте)		
IRS	$c \geq (0,48 - 0,02 Z_p) \cdot R$ (для одновинтовых судов); $c \geq (0,6 - 0,02 Z_p) \cdot R$ (для двухвинтовых судов)		
KR	Не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным		
LR	количество лопастей	одновинтовое судно	двухвинтовое судно
	3	$1,20 \cdot K \cdot D$	$1,20 \cdot K \cdot D$
	4	$1,00 \cdot K \cdot D$	$1,00 \cdot K \cdot D$
	5	$0,85 \cdot K \cdot D$	$0,85 \cdot K \cdot D$
	6	$0,75 \cdot K \cdot D$	$0,75 \cdot K \cdot D$
Минимальное значение	$0,10 D$	$0,20 D$ – 3 и 4 лопасти $0,16 D$ – 5 и 6 лопастей	
$K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \cdot \left(\frac{3,48 C_b P}{L^2} + 0,3\right)$ (см. в тексте)			

Продолжение табл. 5

ClassNK	не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным. При этом в поправках 2017 года зазор c должен быть не менее 500 мм для судов с ледовым классом и расстояние между кромкой винта и нижней границей ледяного поля должно быть положительным (винт не должен касаться сплошного льда)
PRS	$c \geq (0,48 - 0,02Z_p) \cdot R$ (для одновинтовых судов); $c \geq (0,6 - 0,02Z_p) \cdot R$ (для двухвинтовых судов)
RINA	не нормируется; даны рекомендации, что создаваемый пропульсивный комплекс должен быть эффективным. При этом для судов с ледовым классом рекомендуется избегать минимальных значений c с целью недопущения возникновения критических нагрузок на винт
PC	$c \geq 0,36R$ для всех типов и расположений винтов. При этом лапы двухлапных кронштейнов бортовых гребных валов должны располагаться по отношению друг к другу под углом, близким к 90° . Осевые линии лап должны пересекаться на оси гребного вала. Расположение кронштейнов относительно корпуса должно обеспечивать возможно больший зазор между кромкой лопасти гребного винта и корпусом, но не менее 25 % диаметра гребного винта
Wärtsilä	$c \geq 0,20 \dots 0,25D$ (для винтов с нулевым (небольшим) углом откидки лопастей γ); $c \geq 0,15 \dots 0,20D$ (для винтов с большим углом откидки лопастей γ). Для линейных паромов и круизных лайнеров, где важно обеспечить комфорт пассажиров и нет частой смены эксплуатационных режимов $c = 0,25 \dots 0,30D$
MAN Diesel & Turbo	D должен быть возможно большим с целью получения максимального пропульсивного коэффициента. При этом отмечается, что некорректно для всех типов судов рекомендовать одинаковые зазоры c . $\frac{D}{d} < 0,65$ (балкеры и танкеры); $\frac{D}{d} < 0,74$ (паромы и контейнеровозы)

Продолжение табл. 5

Rice Propulsion	$c \geq xD$, где $x = 0,23 - (0,02Z_p)$ (общие случаи); $c \geq 0,17D$ (трехлопастной винт); $c \geq 0,08...0,10D$ (рыбопромысловые суда и суда, работающие в различных эксплуатационных режимах)			
Clements Engineering	$c \geq 0,15D$ для всех типов и расположений винтов			
Басин [18]	$c = 0,12...0,18D$ для всех типов и расположений винтов			
Анфимов, Ваганов, Павленко [19]	$c = 0,12...0,18D$ для всех типов и расположений винтов; $c = 0,05D$ (для винтов, расположенных в туннелях кормовой оконечности, а также на многих буксирах-толкачах и речных судах)			
Жученко, Иванов [20]	$c = 0,12...0,18D$ (тихоходные суда); $c = 0,18...0,25D$ (быстроходные суда)			
Войткунский [21]	$c = 0,15...0,17D$ (тихоходные суда); $c = 0,20...0,25D$ (быстроходные суда). В абсолютных значениях рекомендуется принимать зазор для одновинтовых судов $c = 0,3$ м при длине судна 75 м и $c = 0,45$ м при длине судна 150 м; $c \geq 0,05...0,06D$ (тихоходные суда с туннельными образованиями); $c \geq 0,10...0,15D$ (быстроходные суда с туннельными образованиями); Для ледоколов c следует принимать сопоставимой с максимальной толщиной льда, в котором еще возможно непрерывное движение самого ледокола			
Кацман [22]	$c \geq 0,15...0,18D$ (одновинтовые суда); $c > 0,18D$ (двухвинтовые суда)			
Алферьев [23]	$c = 0,05...0,15D$			
Ограничения по ледовому классу (абсолютные значения)	IAA (IAS)	IA	IB	IC, ID
	$c \geq 1,00$	$c \geq 0,80$	$c \geq 0,60$	$c \geq 0,40$
Ограничения для ледоколов (KR)	Icebreaker6	Icebreaker5	Icebreaker4	Icebreaker3
	$c \geq 1,50$	$c \geq 1,25$	$c \geq 0,75$	$c \geq 0,5$
Ограничения для ледоколов (PC)	Icebreaker9	Icebreaker8	Icebreaker7	Icebreaker6
	$c \geq 1,50$	$c \geq 1,25$	$c \geq 0,75$	$c \geq 0,5$

Примеры зазоров между гребным винтом и корпусом на существующих судах. Рассмотрим несколько примеров реализованных проектов Морского Инженерного Бюро – проект RSD49 сухогрузного судна типа «Нева-Лидер» (построено 12 судов [24], см. рисунок 12) и проект PV08 пассажирского круизного судна «Александр Грин» [25] (см. рисунок 14), выполненного с применением элементов круизного судна проекта Q-065.

На судне проекта RSD49 зазор $c = 0,123D$ (в абсолютном значении $c = 0,32$ м, $D = 2,6$ м). Зазор обеспечивает эффективную работу пропульсивного комплекса, вибрация и чрезмерные нагрузки на бортовые винты отсутствуют.

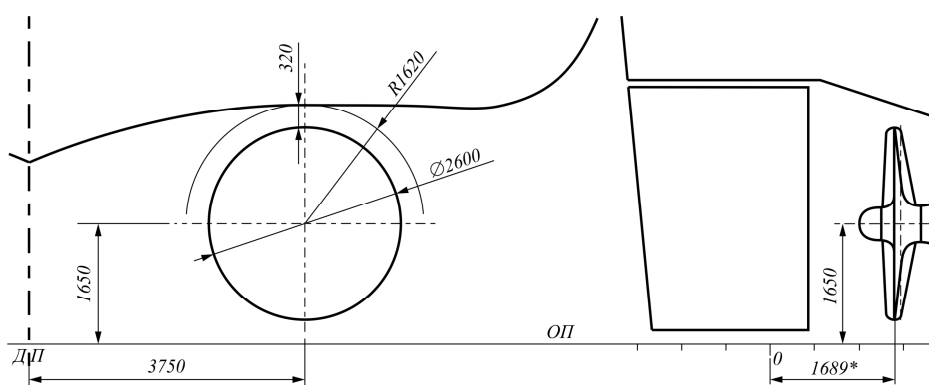


Рис. 12. Зазоры на сухогрузном судне проекта RSD49

В кормовой части судна проекта RSD49 установлены 2 винта фиксированного шага (левого и правого вращения) и 2 обтекаемых подвесных балансируемых руля, обеспечивающие судну сертификационную скорость и управляемость (см. рисунок 13).

На судне проекта PV08 зазор $c = 0,066D$ (в абсолютном значении $c = 0,082$ м, $D = 1,25$ м).

Заключение. Результаты исследования показали, что нормирование величины зазора между гребным винтом и корпусом судна c значительно различается в Правилах КО – членов МАКО.

ABS, BV, DNV GL, KR, ClassNK, RINA вообще ушли от ограничений, оставив лишь общие упоминания о необходимости создания максимально эффективного пропульсивного комплекса, то есть перенесли вопрос в практическую плоскость на уровень проектантов и судостроителей.

Нормируются зазоры c для судов с балтийскими ледовыми классами и отдельно для ледоколов в некоторых КО (см. KR и PC), что является правильным с точки зрения обеспечения безопасности плавания во льдах и / или выполнения ледокольных операций.



Рис. 13. Вид на винто-рулевой комплекс т/х «Нева-Лидер 6»

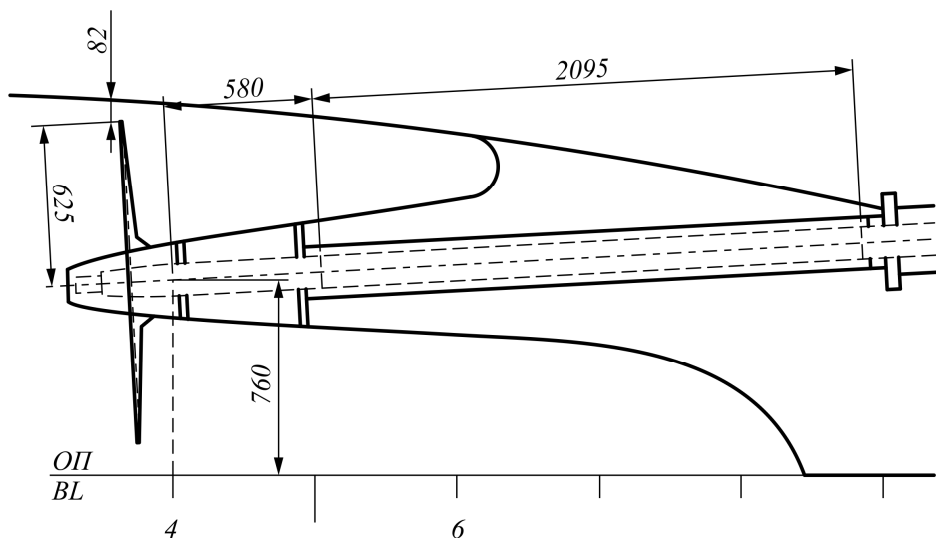


Рис. 14. Зазоры на пассажирском речном судне проекта PV08

Обзор справочной литературы и рекомендаций производителей лишь подтвердил корректность принятого решения некоторыми КО – членами МАКО убрать ограничения по зазору для общих случаев, так как разброс значения зазора c не позволяет сделать вывод о наиболее подходящей обобщающей величине этого самого зазора c .

Для реальных задач (для тех или иных типов судов) крайне желательно определять эффективный диапазон величины зазора c , обоснованный с учетом расположения, количества и типа винтов, эксплуатационных режимов, ограничивающей осадки и кормовых обводов.

В любом случае, необходимо понимать, что больший зазор c улучшает комфортабельность, условия проживания на борту (меньше вибрация) и характерен для линейных морских паромов, круизных и грузовых судов), но в то же время, приводит к снижению КПД пропульсивного комплекса и упора и, соответственно, к ухудшению эксплуатационных характеристик, что критично, к примеру, для судов с ограниченной осадкой или имеющих широкий спектр эксплуатационных режимов (речные и река-море плавания суда, рыбопромысловые суда, суда технического флота, суда обеспечения, паромы на «сложных» линиях – к примеру, паром проекта CNF11CPD для паромной линии Ванино-Холмск [26; 27] и т.п.).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Официальный сайт IACS (МАКО). URL: <http://www.iacs.org.uk>*
2. *Rules for Building and Classing. Steel Vessels 2018: Part 6 Specialized items and systems. Houston, TX, USA: American Bureau of Shipping, 2018. – 266 p.*
3. *Rules for the Classification of Steel Ships. – NR 467. Bureau Veritas, 2018. – 356 p.*
4. *Rules for Classification of Sea-Going Steel Ships.– Vol. 2. – Part 2 Hull (with 2017, 2018 Amendments). Beijing, China: China Classification Society, 2015. – 2-477 p.*
5. *Rules for the Classification of Ships: Part 2 Hull. Split, Croatia: Croatian Register of Shipping, 2018. – 228 p.*
6. *Rules for Classification: Ships - DNVGL-RU-SHIP Part. 6 Additional class notations Chapter. 6 Cold Climate. Edition July 2017, amended January 2018. – 189 p.*
7. *Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships: Indian Register of Shipping, 2016. – 1768 p.*
8. *Guidance for Ships for Navigation in Ice: GC-14-E. Busan, Korea: Korean Register, 2017. – 182 p.*

9. *Rules and Regulations for the Classification of Ships: London, United Kingdom: Lloyd's Register, 2017. – 1703 p.*
10. *Rules for the Survey and Construction of Steel Ships: Part 1 Ships Operating in Polar Waters, Polar Class Ships and Ice class ships (with Amendments): Tokyo, Japan, ClassNK, 2017. – 136 p.*
11. *Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships: Part II Hull. Gdansk, Poland: Polski Rejestr Statkow, 2018. – 290 p.*
12. *Rules for the Classification of Ships: Part F Additional Class Notations. Genova, Italy: RINA, 2018. – 279 p.*
13. *Правила классификации и постройки морских судов: Часть II Корпус. Санкт-Петербург, Российская Федерация: РС, 2018. – 209 с.*
14. *Wärtsilä Encyclopedia of Ship Technology (second edition, by Jan Babicz). Helsinki, Finland, 2015. – 659 p.*
15. *Basic Principles of Ship Propulsion: MAN Diesel & Turbo. Copenhagen, Denmark. – 45 p.*
16. *Сайт производителя гребных винтов Rice Propulsion. URL: <http://www.ricepropulsion.com/TNLS/Clearances.htm>.*
17. *Сайт производителя Clements Engineering. URL: <https://clementsengineering.co.uk/wp-content/uploads/2016/09/TD08.pdf>.*
18. *Басин А.М., Миниович И.Я. Теория и расчет гребных винтов. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 760 с.*
19. *Анфимов В.Н., Ваганов Г.И., Павленко В.Г. Судовые тяговые расчеты / Под ред. В.Г. Павленко. – М.: Транспорт, 1978. – 216 с.*
20. *Жученко М.М., Иванов В.М. Расчеты гребных винтов. – Л.: Машигиз, 1953. – 276 с.*
21. *Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля: судовые движители и управляемость. – Л.: Судостроение, 1973. – 512 с.*
22. *Кацман Ф.М., Дорогостайский Д.В. Теория судна и движители. – Л.: Судостроение, 1979. – 280 с.*
23. *Алферьев М.Я. Судовые движители. – М.: Речиздат, 1947. – 665 с.*
24. *Егоров Г.В., Тонюк В.И. Многоцелевые сухогрузные суда класса «Волго-Дон макс» дефактом 7150 тонн проекта RSD49 типа «Нева-Лидер» // Судостроение. – 2014. – № 2. – С. 9-17.*
25. *Егоров Г.В., Анисимов К.О. Трехпалубное круизное судно «Александр Грин» пр. PV08. Первое в России судно такого класса с 1959 года // Судостроение и судоремонт. – 2012. – № 53. – С. 22-33.*

26. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Обоснование параметров нового железнодорожно-автомобильно-пассажирского парома для линии Ванино-Холмск. – Ч. 1 // *Морской Вестник*. – 2017. – № 1 (61). – С. 15-20.
27. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Обоснование параметров нового железнодорожно-автомобильно-пассажирского парома для линии Ванино-Холмск. – Ч. 2 // *Морской Вестник*. – 2017.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**