

УДК 629.123 + 532.583.4  
EDN QRJDVJ

## ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОВОООРУЖЕННОСТИ ЛЕДОКОЛА НА ВЕЛИЧИНУ РАСЧЕТНЫХ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК (МЕТОДИКА УЧЕТА)

**В.В. Платонов**, канд. физ.-мат. наук, Крыловский государственный научный центр, 196158 Россия, Санкт-Петербург, Московское ш., 44, e-mail: viktorplatonov@yandex.ru

**В.Н. Тряскин**, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190008 Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., 3, e-mail: vladimir.tryaskin@smtu.ru

В статье изложены основные положения методики учета влияния энерговооруженности ледокола на величину расчетных ледовых нагрузок. В действующих Правилах РС это реализуется посредством корректировки расчетной интенсивности ледовой нагрузки на носовой район ледового пояса путем введения корректирующего коэффициента, который определяется по упрощенной формуле в зависимости от соотношения фактической суммарной мощности на гребных валах и базового значения мощности. Корректирующий коэффициент принимается постоянным в пределах ледового класса и не зависящим от водоизмещения ледокола. Показано, что при проектировании перспективных ледоколов большой мощности, когда фактическая суммарная мощность на гребных валах существенно больше базового значения для ледового класса, подход, предложенный в действующих требованиях Правил РС, приведет к необоснованному увеличению расчетной интенсивности ледовой нагрузки. Предложены методика и алгоритм исключения этого недостатка требований Правил, основанные на учете статистической информации по энерговооруженности российских ледоколов. Показано, что для отдельных проектов, обладающих существенно увеличенной энерговооруженностью для их класса, переход к разработанным рекомендациям решает проблему избыточности расчетных ледовых давлений.

**Ключевые слова:** энерговооруженность ледоколов, расчетные ледовые нагрузки, Правила РС.

**Для цитирования:** Платонов В.В. Влияние энерговооруженности ледокола на величину расчетных ледовых нагрузок (методика учета) / В.В. Платонов, В.Н. Тряскин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 80. — С. 108 — 113. — EDN QRJDVJ.

## THE EFFECT OF ICEBREAKER POWER CAPACITY ON THE CALCULATED ICE LOAD (METHODOLOGY)

**V.V. Platonov**, PhD, Krylov State Research Centre, 196158 Russia, St. Petersburg, Moskovskoe sh., 44, e-mail: viktorplatonov@yandex.ru

**V.N. Tryaskin**, DSc, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, 190008 Russia, St. Petersburg, Lotsmanskaya ul., 3, e-mail: vladimir.tryaskin@smtu.ru

The article outlines the main provisions of the methodology for accounting for the effect of icebreaker power capacity on the calculated ice loads. In the current RS Rules, this is implemented by adjusting the calculated intensity of the ice load on the bow area of the ice belt by introducing a correction factor, which is determined by a simplified formula depending on the ratio of the actual total power on the propeller shafts and the base power value. The correction factor is assumed to be constant within the ice class and independent of the displacement of the icebreaker. It is shown that when designing advanced icebreakers of high capacity, where the actual total power on the propeller shafts significantly exceeds the base value for the ice class, the approach proposed in the current requirements of the RS Rules may lead to an unjustified increase in the estimated intensity of the ice load. A methodology and algorithm for eliminating this disadvantage of the requirements of the Rules are proposed, based on the accounting of statistical information on the energy capacity of Russian icebreakers. It is shown that for individual projects with significantly increased energy capacity for their class, the transition to the developed recommendations solves the problem of excess calculated ice pressures.

**Keywords:** icebreaker's power capacity, calculated ice load, RS Rules.

**For citation:** Platonov V.V., Tryaskin V.N. The effect of icebreaker power capacity on the calculated ice load (Methodology). *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 80. P. 108 — 113. EDN QRJDVJ. (In Russ.)

## ВВЕДЕНИЕ

В требованиях Правил Российского морского регистра судоходства (далее — Правила РС) к ледовым усилениям ледоколов [1] регламентация ледовых нагрузок основана на использовании системы базовых опасных режимов движения и зависимостей гидродинамической модели взаимодействия корпуса судна со льдом (ГДМ) [2]. В носовом районе ледовых усилениях ледовые нагрузки на конструкции корпуса определяются для сценария прямого удара при базовых опасных режимах движения. Такой подход считается обоснованным для ледоколов, опыт эксплуатации которых был в наибольшей степени учтен на момент разработки действующих Правил РС. Для обеспечения проектирования перспективных ледоколов повышенной энерговооруженности<sup>1</sup> принималось во внимание возможное увеличение расчетной скорости движения ледокола в процессе выполнения ледокольных операций, в частности при работе набегам, и, соответственно, увеличение нагрузок на корпус ледокола.

Для учета этого факта в действующих Правилах РС **нормативное** значение расчетной интенсивности ледовой нагрузки на конструкции носового района ледового пояса AI предложено корректировать путем введения коэффициента  $k_p$ , величина которого зависит от соотношения фактической суммарной мощности на гребных валах ледокола  $N_\Sigma$  и базового значения мощности для ледового класса ледокола  $N_0$

$$k_p = \begin{cases} 1, & \text{при } N_\Sigma \leq N_0 \\ (N_\Sigma/N_0)^{0,4}, & \text{при } N_\Sigma > N_0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $N_\Sigma$  — суммарная мощность на гребных валах ледокола, МВт;  
 $N_0$  — нормативное значение мощности, определяется ледовым классом ледокола (табл. 3.10.3.5.1 [1]).

В связи с этим расчетная интенсивность ледовой нагрузки для ледоколов  $p_{AI}$  на конструкции носового района ледового пояса AI определяется по формуле

$$p_{AI} = k_p p_{AI}^0,$$

где  $p_{AI}^0$  — интенсивность ледовой нагрузки в районе AI, определенная согласно п. 3.10.3.2.1 [1] как для судна, номер ледового класса которого совпадает с номером ледового класса ледокола;  
 $k_p$  — коэффициент, определяемый зависимостью (1).

Условие (1) было получено на основании известного соотношения между скоростью  $V$  и мощностью  $N$  ледокола [3]:

$$N \sim V^{2,5},$$

которое, учитывая зависимости параметров ледовой нагрузки от скорости [4], приводит к следующим соотношениям:

$$p \sim V^{0,5}, b \sim V^{0,5}, q \sim V,$$

где  $p$  — интенсивность ледовой нагрузки,  
 $b$  — высота распределения ледовой нагрузки,  
 $q = pb$  — погонная нагрузка.

Поскольку корректировка расчетной высоты распределения ледовой нагрузки при изменении мощности в действующих Правилах РС не предусмотрена, то можно принять

$$N/N_0 \sim (q_{AI}/q_{AI}^0)^{2,5} \sim (p_{AI}/p_{AI}^0)^{2,5} \text{ и, следовательно, } p_{AI} \sim (N/N_0)^{0,4} p_{AI}^0,$$

где  $p_{AI}^0$  и  $q_{AI}^0$  — интенсивность ледовой нагрузки и погонная нагрузка в районе AI ледокола, определенные согласно п. 3.10.3.2.1 [1].

Из этого соотношения вытекает расчетная зависимость (1) для определения параметра  $k_p$ .

Базовое значение мощности для класса ледокола  $N_0$ , принимаемое в Правилах РС по таблице 3.10.3.5.1, было назначено на основании данных по существующим ледоколам на момент разработки правил. Такой подход основывался на предположении, что соотношение между мощностью и водоизмещением (энерговооруженность) в пределах ледового класса может изменяться незначительно. Однако при проектировании перспективного ледокола большой мощности, например ледокола проекта 10510 «Лидер», фактическая суммарная мощность на гребных валах которого в два раза больше базового значения для ледового класса

<sup>1</sup> Под энерговооруженностью здесь понимается характеристика  $N_\Sigma/\Delta$ , где  $N_\Sigma$  — фактическая суммарная мощность на гребных валах;  $\Delta$  — водоизмещение ледокола.

Icebreaker9, этот подход будет приводить к существенному и необоснованному увеличению расчетной интенсивности ледовой нагрузки.

В настоящей статье предлагаются методические рекомендации и алгоритм для решения указанной проблемы, основанные на построении расчетной зависимости для определения базового значения  $N_0$  как функции водоизмещения ледокола, учитывающей данные статистики  $N_0 = f(\Delta)$ .

## 1. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВОГО ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ

Исходной информацией для построения зависимости для определения базового значения мощности ледокола являются статистические данные по существующим российским ледоколам. Результаты обработки указанных статистических данных, представленные в табл. 1, позволяют установить статистическую зависимость, не противоречащую общепроектной связи между мощностью и водоизмещением ледокола (рис. 1).

Таблица 1

Исходная информация по существующим российским ледоколам

Ледовая категория	Проект	Год	Мощность $N$ , МВт	Водоизмещение $\Delta$ , т	Ширина $B$ , м	$N/B$	$N/\Delta$
Icebreaker6	Тип «Москва»	1960	16,2	15 420	24,5	0,661	1,051
Icebreaker6	22740M	—	6	3023	17	0,353	1,985
Icebreaker6	21180	2017	7	4770	20	0,350	1,468
Icebreaker6	21900	2008	16,4	14 300	27,5	0,596	1,147
Icebreaker6	MOSS828	2005	15	9569	19	0,789	1,568
Icebreaker7	1101 «Капитан Сорокин»	1977	16,2	17 281	31,11	0,521	0,937
Icebreaker7	10022	—	15	11 389	22	0,682	1,317
Icebreaker7	ARC-124	2019	12	7613	21,9	0,548	1,576
Icebreaker8	P-1039 «Ермак»	1974	26,46	20 247	26,05	1,016	1,307
Icebreaker8	ARC-130F	2018	22	12 554	25	0,880	1,752
Icebreaker8	10580	1989	35,5	19 000	28	1,268	1,868
Icebreaker8	22600	2016	40	21 900	28,5	1,404	1,826
Icebreaker9	1052 «Арктика»	1972	52,8	23 460	30	1,760	2,251
Icebreaker9	22220	2016	60	33 327	33	1,818	1,800
Icebreaker9	10510 «Лидер»	—	120	68 601	47,7	2,516	1,749

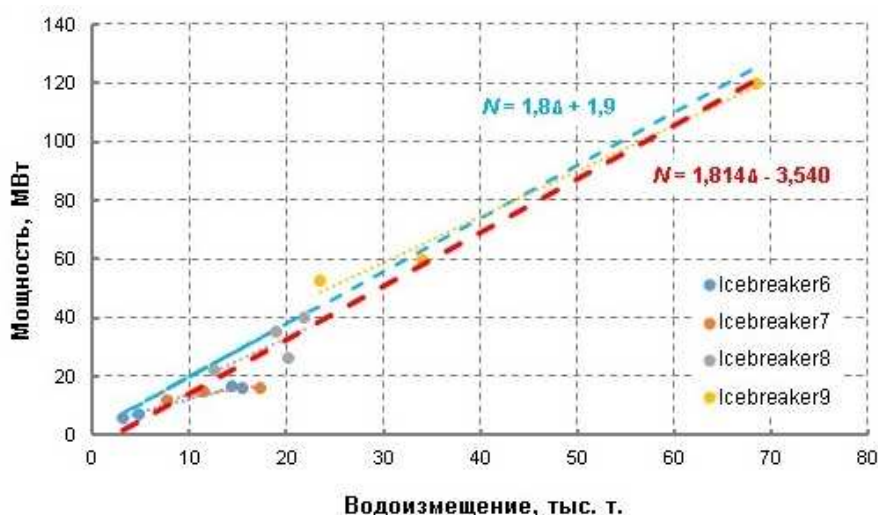


Рис. 1. График зависимости мощности ледоколов от их водоизмещения

Полученные результаты показывают, что может быть принята единая зависимость для ледоколов классов Icebreaker6 и Icebreaker7. Для ледоколов класса Icebreaker8 имеет место существенный разброс точек за счет выпадения из статистики старого ледокола «Ермак», который имеет существенно меньшую энерговооруженность  $N/\Delta$ , чем остальные ледоколы класса Icebreaker8 (табл. 1). Для ледоколов класса Icebreaker9 может быть предложена линейная зависимость.

На первом этапе в целях упрощения требований можно рекомендовать единую линейную зависимость, связывающую суммарную мощность на валах  $N$  с водоизмещением  $\Delta$  ледокола (рис. 1, красная пунктирная линия):

$$N(\Delta) = 1,814(\Delta/1000) - 3,540. \quad (2)$$

Логично ввести предположение, что базовое значение мощности для класса  $N_0$  должно быть согласовано со статистическими данными. Если принять такую зависимость единой для всех ледовых классов, то она может быть представлена в следующем виде (рис. 1, голубая пунктирная линия):

$$N_{0\_new} = N_0(\Delta) = 1,8(\Delta/1000) + 1,9. \quad (3)$$

Такая зависимость получена подбором некоторого значения  $\delta N(\Delta)$  таким образом, чтобы эта зависимость перекрывала практически все статистические значения суммарной мощности на валах для ледоколов всех классов и была представлена в виде простой линейной функции. Видно, что только старый ледокол «Арктика-1972» лежит выше этой линии. Энерговооруженность  $N/\Delta$  этого ледокола существенно (приблизительно на 35 %) выше остальных ледоколов класса Icebreaker9 (табл. 1).

## 2. ОЦЕНКА И СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ $k_p$ ДЛЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛЕДОКОЛОВ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ ТРЕБОВАНИЯМ ПРАВИЛ И ПО ПРЕДЛАГАЕМЫМ РЕКОМЕНДАЦИЯМ

Базовые значения минимальной мощности для класса по требованиям к ледовым усилениям Правил РС  $N_0$  приведены в табл. 2. Там же указаны значения минимальной мощности по Правилам классификации РС [5]. При этом Правилами классификации минимальная мощность для ледоколов класса Icebreaker6 не регламентируется.

Таблица 2

Требования по минимальной мощности Правил РС

	Icebreaker6	Icebreaker7	Icebreaker8	Icebreaker9
Минимальная мощность для класса по требованиям Правил РС	10	20	40	60
Минимальная мощность по требованиям Правил классификации	—	11	22	48

Значения коэффициентов  $k_p$  по требованиям действующих Правил и по предлагаемым рекомендациям приведены в табл. 3.

Анализ значений коэффициентов  $k_p$ , полученных по предлагаемым рекомендациям, показывает, что они не приведут к существенному изменению расчетных давлений по сравнению с действующими требованиями Правил. Несколько выделяются требования для ледоколов типа «Капитан Сорокин» и «Ермак», имеющих заниженную энерговооруженность для их класса.

Пропадает проблема избыточных нагрузок для новых перспективных ледоколов типа «Лидер».

Аналогичный подход можно предложить, если ледоколы класса Icebreaker6, Icebreaker7 выделить в отдельную группу. Такие ледоколы занимают промежуточное положение между линейными ледоколами и ледокольными транспортными судами. В связи с этим статистические зависимости  $N(\Delta)$  для них имеют несколько иной вид (рис. 2).

В табл. 4 приведены результаты расчета коэффициента  $k_p$  по требованиям действующих Правил РС и по предлагаемым рекомендациям для ледоколов категорий Icebreaker6 и Icebreaker7. Анализ приведенных в табл. 4 результатов показывает, что для ледоколов типа «Москва» и пр. 21900, обладающих увеличенной энерговооруженностью  $N/\Delta$  для категории Icebreaker6, снижение значений коэффициента  $k_p$ , полученных по предлагаемым рекомендациям, составит ок. 15 %, а для ледокола проекта MOSS828, изначально спроектированного на класс Правил DNV, снижение коэффициента  $k_p$  составит ок. 16 %. Для остальных рассмотренных проектов ледоколов изменение значений коэффициента  $k_p$ , полученных по предлагаемым рекомендациям, не приведет к существенному изменению расчетных давлений по сравнению с действующими требованиями Правил.

Таблица 3

Коэффициент  $k_p$  по требованиям действующих Правил РС и по предлагаемым рекомендациям

Проект	$N$ , МВт	$\Delta$ , тыс.т	$N/N_0$	$N_{полн.}$	$N_0^{new}$	$N_0^{new}/N_0$	$N_0^{new}/N$	$k_p$	$k_p^{new}(N_0^{new}/N)$	$k_p^{new}/k_p$
Тип «Москва»	16,2	15,4	1,62	24,4	29,6	2,96	1,83	1,213	1,273	1,05
22740М	6	3,0	0,60	1,9	7,3	0,73	1,22	1,000	1,000	1,00
21180	7	4,8	0,70	5,2	10,5	1,05	1,51	1,000	1,000	1,00
21900	16,4	14,3	1,64	22,4	27,6	2,76	1,69	1,219	1,232	1,01
MOSS828	15	9,6	1,50	13,9	19,2	1,92	1,28	1,176	1,103	0,94
1101 «Капитан Сорокин»	16,2	17,3	0,81	27,8	33,0	1,65	2,04	1,000	1,330	1,33
10022	15	11,4	0,75	17,1	22,4	1,12	1,49	1,000	1,174	1,17
ARC-124	12	7,6	0,60	10,2	15,6	0,78	1,30	1,000	1,110	1,11
P-1039 «Ермак»	26,46	20,2	0,66	33,1	38,3	0,96	1,45	1,000	1,159	1,16
ARC-130F	22	12,6	0,55	19,3	24,6	0,61	1,12	1,000	1,045	1,05
10580	35,5	19,0	0,89	30,9	36,1	0,90	1,02	1,000	1,007	1,01
22600	40	21,9	1,00	36,2	41,3	1,03	1,03	1,000	1,013	1,01
1052 «Арктика»	52,8	23,5	0,88	39,1	44,2	0,74	0,84	1,000	0,931	0,93
22220	60	34,0	1,00	58,1	63,1	1,05	1,05	1,000	1,020	1,02
10510 «Лидер»	120	68,6	2,00	120,9	125,4	2,09	1,04	1,320	1,018	0,77

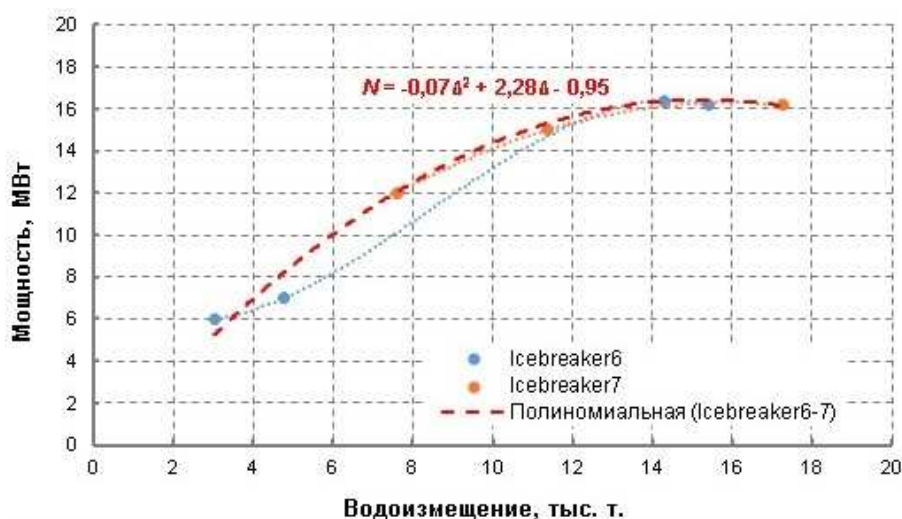


Рис. 2. График зависимости мощности ледоколов категорий Icebreaker6 и Icebreaker7 от их водоизмещения

Таблица 4

Коэффициент  $k_p$  по требованиям действующих Правил РС и по предлагаемым рекомендациям для ледоколов категорий Icebreaker6 и Icebreaker7

Проект	$N$ , МВт	$\Delta$ , тыс.т	$N_0^{new}$	$N_0^{new}/N_0$	$N_0^{new}/N$	$k_p$	$k_p^{new}(N_0^{new}/N)$	$k_p^{new}/k_p$
Тип «Москва»	16,2	15,4	17,6	1,756	1,084	1,207	1,033	0,86
22740М	6	3,0	5,3	0,530	0,884	1,000	1,000	1,00
21180	7	4,8	8,3	0,833	1,190	1,057	1,000	0,95
21900	16,4	14,3	17,3	1,734	1,057	1,207	1,023	0,85
MOSS828	15	9,6	14,5	1,446	0,964	1,176	0,985	0,84
1101 «Капитан Сорокин»	16,2	17,3	17,5	0,877	1,083	1,000	1,032	1,03
10022	15	11,4	15,9	0,797	1,062	1,000	1,025	1,02
ARC-124	12	7,6	12,4	0,618	1,029	1,000	1,012	1,01

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика и приведен алгоритм построения расчетной зависимости для определения базового значения мощности ледокола как функции его водоизмещения, учитывающей данные статистики по существующим российским ледоколам. На основании предложенного алгоритма выполнен расчет значений коэффициента  $k_p$  и выполнено его сопоставление с требованиями действующих Правил РС. Показано, что для большинства рассмотренных ледоколов существенного изменения расчетных ледовых давлений по сравнению с действующими требованиями Правил РС не происходит. Для отдельных проектов, обладающих существенно увеличенной энерговооруженностью для их класса, переход к разработанным рекомендациям решает проблему избыточности расчетных ледовых давлений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00039 «Теоретические основы и прикладные инструменты для создания системы интеллектуального планирования работы флота и поддержки принятия решений в арктическом судоходстве», <https://rscf.ru/project/23-19-00039/>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. 2. Корпус / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025.
2. Апполонов Е.М. Ледовая прочность судов, предназначенных для круглогодичной арктической навигации / Е.М. Апполонов. — СПб.: СПбГМТУ, 2016. — 287 с.
3. Рывлин А.Я. Испытания судов во льдах / А.Я. Рывлин, Д.Е. Хейсин. — Л.: Судостроение, 1980. — 208 с.
4. Курдюмов В.А. Определение ледовой нагрузки и оценка ледовой прочности корпусов транспортных судов / В.А. Курдюмов, В.Н. Тряскин, Д.Е. Хейсин // Ледопроездимость и ледовая прочность морских судов. — Л.: ЛКИ, 1979. — С. 3 — 12. (Труды ЛКИ.)
5. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. 1. Классификация / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025.

## REFERENCES

1. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part II. Hull / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025.
2. Appolonov E.M. Ledovaya prochnost sudov, prednaznachennykh dlya kruglogodichnoy arkticheskoy navigatsii [Ice strength of vessels designed for year-round Arctic navigation]. St. Petersburg: SPbGMTU, 2016. (In Russ.)
3. Ryvlin A.Ya., Kheisin D.E. Ispytaniya sudov vo l'dah [Testing of ships in the ice]. L.: Shipbuilding, 1980. 287 p. (In Russ.)
4. Kurdymov V.A., Tryaskin V.N., Kheisin D.E. Opredelenie ledovoy nagruzki i otsenka ledovoy prochnosti korpusov transportnykh sudov [Determination of ice load and assessment of ice strength of hulls of merchant ships]. *Ice Permeability and Ice Strength of Sea-Going Ships*. L.: LKI, 1979. P. 3 — 12. (Transactions of the Leningrad Shipbuilding Institute.) (In Russ.)
5. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part I. Classification / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025.