

*А. А. Тюкова, Д. А. Пичугин*

## ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕДОКОЛА ДЛЯ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

*A. A. Tyukova, D. A. Pichugin*

## STUDY OF MAIN FEATURES OF THE ICEBREAKER FOR THE NORTHERN CASPIAN

Представлены расчеты проектирования ледокола, оптимального с экономической и эксплуатационной точек зрения, как решение проблемы обеспеченности ледокольного флота на Северном Каспии. В процессе проектирования ледокола с оптимальными основными характеристиками проведено несколько приближений, в которых затем рассчитаны сопротивление судна в режимах ледового плавания и на тихой воде и оптимальные размеры гребного винта, а также мощность, подаваемая на валы судна. На основе полученных значений выбраны типы энергетических установок и построена паспортная диаграмма. Обоснованы с эксплуатационной и экономической точек зрения главные размерения ледоколов для Северного Каспия, отличающиеся от размерений судов ледокольного флота, эксплуатирующихся в Волго-Каспийском канале. Результаты исследований могут использоваться на начальных этапах проектирования ледоколов.

**Ключевые слова:** ледокол, проектирование, ледокольный флот.

Calculations of an icebreaker designing, optimal with economic and operation points of view are presented as the task solution of provision with the icebreaker fleet on the Northern Caspian. Several approaches are organized in the process of the icebreaker designing with optimal main characteristics. Thus, ship resistance in the mode of arctic voyages and on calm water is calculated, as well as optimal sizes of the screw propeller, and the power, given on ship shafts. Types of energy installations are chosen on the base of received values, and a passport diagram is built. Main measuring of icebreakers for the Northern Caspian is justified with economic and operation points of view. It differs from the icebreaker fleet used in the Volga-Caspian channel. The research results can be applied on initial stages of icebreakers designing.

**Key words:** icebreaker, designing, icebreaker fleet.

### Введение

Ледоколы – это специальные суда, предназначенные для выполнения различных видов ледокольных операций: преодоление ледовых препятствий, прокладка канала, проводка судов, их обколка, буксировка, а также для проведения спасательных работ в ледовых условиях.

Для повышения эффективности ледокольного обеспечения транспортного флота в Каспийском море необходимо дальнейшее наращивание мощности ледоколов. Проектирование ледокольных судов по прототипам не является оптимальным, поскольку ледокольный флот практически не пополняется современными ледоколами. Основываясь, с одной стороны, на опыте проектирования и постройки судов ледового обеспечения, и с другой, на современных методиках расчетов ледоколов, формы обводов корпуса, а также развитии технологий судового машиностроения, мы представляем методику расчета оптимальных основных характеристик ледокола для Северного Каспия на начальных этапах проектирования.

Ледовый режим Каспийского моря, с одной стороны, определяется климатическими условиями, с другой – связан с его мелководностью, вследствие чего большая часть Северного Каспия в зимнее время бывает покрыта сплошным неподвижным льдом. В наиболее холодные зимы максимальная толщина сплошного льда на Северном Каспии может достигать 100 см.

Поскольку Волго-Каспийский канал (ВКК) имеет следующие характеристики: протяженность 188 км (речная часть – 88 км, морская – 100 км); ширина судового хода 90–120 м; глубина судового хода (речная часть – 4,5 м, морская – 4,7 м), то характеристики судов ограничиваются следующими размерениями: длина – до 135,0 м, ширина – до 20,0 м, осадка – до 4,2 м [1].

Работоспособность судна в ледовых условиях во многом зависит и от его возможности маневрировать во льдах, преодолевать торосы, ледовые сжатия и т. п. Как показывает опыт, применение принципиально новых, нетрадиционных форм обводов носовой оконечности с целью повышения ледопроеходимости в ровных льдах приводит, как правило, к ухудшению эффективности работы ледокола в дрейфующих льдах, повышенным ударным волновым нагрузкам на носовую оконечность, увеличению сопротивления движению на чистой воде и т. п. Основываясь на результатах выполненных исследований, в настоящей работе будут рассматриваться ледоколы с усовершенствованной традиционной формой носовой оконечности [2].

На начальном этапе проектирования ледокола рассмотрим три варианта его вероятных характеристик: с максимальными, минимальными и средними значениями главных размерений. Размерения ледокола ограничиваются глубиной и шириной ВКК, а именно минимальной осадкой 4,2 м и максимальной шириной 20 м. Из условий района плавания, согласно требованиям Российского морского регистра судоходства, для Северного Каспия ( $44^{\circ}30'$  с. ш.) соответствует R3-RSN, для которого соотношение  $B/H = 3,0$ . Согласно анализу статистических данных, для современных ледоколов  $L/B = 5,0$  [3]. Таким образом, получены главные размерения проектируемого ледокола (табл. 1).

Таблица 1

Главные размерения проектируемого ледокола

Характеристики ледокола	Максимальные размерения ледокола	Средние размерения ледокола	Минимальные размерения ледокола
Длина $L$ , м	100,00	86,00	72,00
Ширина $B$ , м	20,00	17,20	14,40
Осадка $T$ , м	4,20	4,20	4,20
Высота надводного борта $H_{н.б.}$ , м	1,27	1,00	0,75
Высота борта $H$ , м	5,47	5,20	5,00

При принятой ледопроеходимости  $h_{л} = 1,0$  м, форме корпуса ледокола, а также известных ширине и водоизмещении  $D$  может быть рассчитана потребная тяга гребных винтов. Результаты расчета по определению потребной мощности по методике [3, 4] приведены в табл. 2.

Таблица 2

Определение потребной мощности

Характеристики ледокола	Максимальные размерения ледокола	Средние размерения ледокола	Минимальные размерения ледокола
Длина $L$ , м	100,00	86,00	72,00
Ширина $B$ , м	20,00	17,20	14,40
Осадка $T$ , м	4,20	4,20	4,20
Высота борта $H$ , м	5,47	5,20	5,00
Коэффициент полноты водоизмещения $\delta$	0,48	0,48	0,48
Водоизмещение $V$ , м <sup>3</sup>	4 032,00	2 982,07	2 090,19
Суммарная тяга гребных винтов $P_e$ , кН	34,43	32,74	30,86
Диаметр винтов $d$ , м	2,52	2,52	2,52
Суммарная мощность на гребных валах $N_p$ (1-вальное), кВт	3 575,79	3 316,05	3 034,16
Суммарная мощность на гребных валах $N_p$ (2-вальное), кВт	2 539,07	2 354,64	2 154,47
Суммарная мощность на гребных валах $N_p$ (3-вальное), кВт	2 078,20	1 927,24	1 763,41
Критическое значение мощности $N_{кр}$ , кВт	2 147,24	2 147,24	2 147,24

При выборе количества гребных винтов ледоколов наряду с требованиями к маневренности и надежности оценивается возможность эффективной переработки мощности одним винтом без кавитации и аэрации (прососа воздуха к винту). В этом отношении выгодно принимать по возможности больший диаметр винта. Вместе с тем это условие входит в противоречие с требованием по защите лопастей от воздействия льда. Как показывает практика, допустимый диаметр гребных винтов ледокольных судов составляет около 60 % от осадки по конструктивную ватерлинию. В дальнейших расчетах принимаем диаметр винта равным  $d = 0,6 \cdot T = 2,52$  м [3].

При сравнении расчетных величин с критическим значением мощности видно, что при заданном диаметре винта только двухвальные суда смогут эффективно перерабатывать мощность. У одновальных судов мощность на гребных валах превышает критическую мощность, а у трехвальных происходит перерасход полезной мощности, т. к. мощность на каждом гребном валу значительно меньше критической мощности.

Главной особенностью взаимодействия корпуса со льдом при движении ледокола в сплошных льдах является разрушение ледяного покрова носовой оконечностью, поэтому среди составляющих сил сопротивления при движении ледокола основное значение имеют силы, затрачиваемые на разрушение (ломку) ледяного покрова, а также на раздвигание и притапливание льдин, их уплотнение, трение о корпус и т. п. Составляющая сопротивления воды при движении ледокола во льдах равна сопротивлению его движению по свободной ото льда невзволнованной поверхности моря. Такой подход не приводит к большим погрешностям, т. к. скорость движения ледокола во льдах сравнительно невелика. Расчет сопротивления ледоколов во льдах производился по методике [5], результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Определение сопротивление ледокола во льдах**

Характеристики ледокола	Максимальные размерения ледокола	Средние размерения ледокола	Минимальные размерения ледокола
Предел прочности льда на изгиб $\sigma_p$ , кН/м <sup>2</sup>		1 250	
Толщина льда $h$ , м		1	
Коэффициент, характеризующий форму носовой оконечности корпуса $\mu_0$		1,6	
Коэффициент, характеризующий форму носовой оконечности корпуса $\eta_2$		3,4	
Удельный вес льда, кН/м <sup>3</sup>		9	
Скорость ледокола $V$ , м/с		1,028	
Сопротивление воды $R_w$ , кН	4,03	2,98	2,09
Полное сопротивление ледокола в сплошных льдах $R_{\Sigma}$ , кН	2 651,43	2 278,89	1 906,75

Мощность ледокола, как главная эксплуатационная характеристика, должна быть достаточной для преодоления сопротивления во льдах. Для определения скорости на тихой воде, характеризующейся оптимальной мощностью, в соответствии с методикой [6], рассчитано сопротивление ледокола на чистой воде, результаты расчета в виде графика представлены на рис. 1.

К гребным винтам ледоколов предъявляются следующие основные требования: высокая прочность, обеспечивающая надежную работу в ледовых условиях; достаточная эффективность при движении передним и задним ходом на режимах, близким к швартовному. Винты должны иметь съемные лопасти, которые в случае повреждений можно заменить на плаву силами экипажа. Таким образом, выбираем в качестве основного движителя ледокола открытый винт фиксированного шага, более простой и обладающий большей живучестью, чем винт регулируемого шага. Особые требования предъявляются к профилю сечения лопасти, который при высокой прочности должен обеспечивать хорошие гидродинамические качества на переднем и заднем ходах. В отечественной практике широкое применение получили гребные винты, разработанные М. А. Игнатьевым.

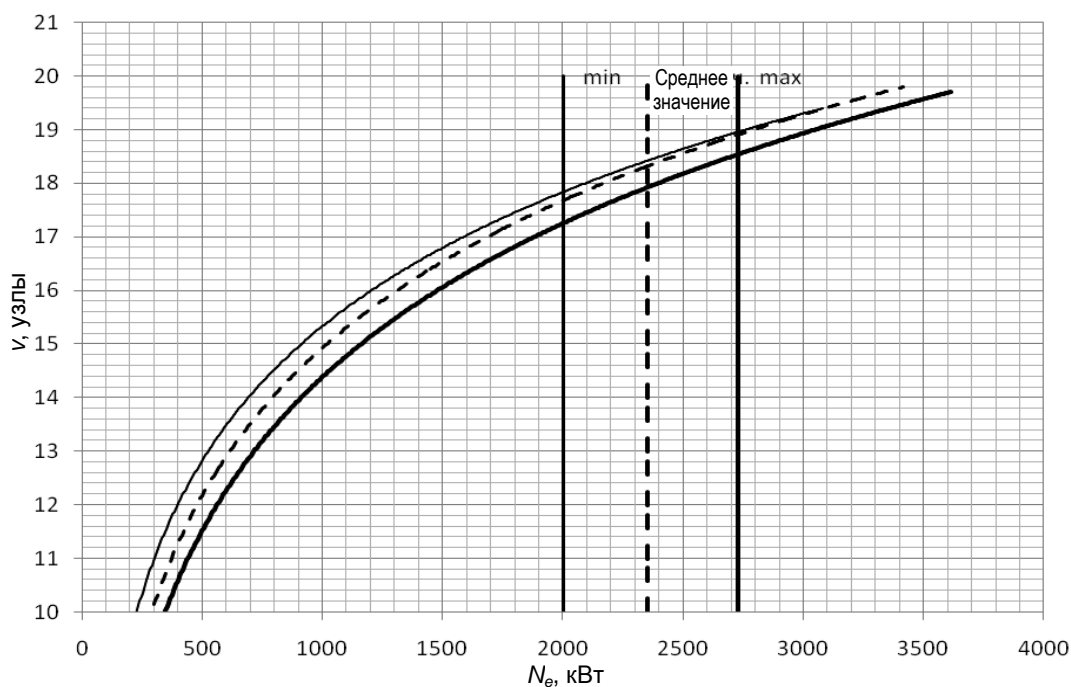


Рис. 1. График зависимости  $v(N_e)$  для определения скорости ледоколов на тихой воде

После определения номинальной мощности энергетических установок ледоколов для ледокола с максимальными значениями главных размерений приняты два дизель-генератора марки 16ЧН 26/26 с номинальной мощностью 2 800 кВт; для ледокола со средними значениями главных размерений – два дизель-генератора марки SDMO-X3300 с номинальной мощностью 2 400 кВт; для ледокола со средними значениями главных размерений – два дизель-генератора марки SDMO-X2800 с номинальной мощностью 2 036 кВт.

На основании расчетов характеристик гребного винта, обеспечивающего судну максимальную скорость, был выбран оптимальный с экономической и эксплуатационной точек зрения. Разница в скорости ледоколов с максимальными главными размерениями и средними значениями невелика – 0,3 узла, при этом ледокол с максимальными главными размерениями затрачивает на 800 кВт больше мощности, что нецелесообразно с экономической точки зрения. В силу больших мощностей для ледокола с максимальными значениями главных размерений дизель-генераторы в 1,5–2 раза дороже, чем для ледоколов со средними и минимальными размерениями. Следовательно, выбор характеристик ледокола по варианту с максимальными главными размерениями является нерациональным.

При большем диаметре гребных винтов ледокол с минимальными размерениями будет иметь скорость на тихой воде меньшую, чем ледокол со средними размерениями. Остальные показатели данных вариантов соизмеримы, и возникает вопрос о рациональном выборе ледокола с эксплуатационной точки зрения. Для Северного Каспия целесообразней пополнение гражданского флота экономически обоснованным ледоколом, чем те, которые уже имеются в составе ледокольного флота. Нерационально проектировать ледоколы, габаритные размеры которых близки к размерам ледоколов, эксплуатируемых в ВКК, но с меньшей мощностью энергетической установки. Такие ледоколы будут иметь меньшую скорость хода, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках. Целесообразней построить ледокол с той же мощностью и, следовательно, с тем же расходом топлива, но с большими габаритными размерами, что способствует проводке в каналах более крупных судов. В связи с вышесказанным расчеты для построения паспортной диаграммы производились для окончательного варианта ледокола со средними главными размерениями. Паспортная диаграмма строилась по методике [6] и представлена на рис. 2.

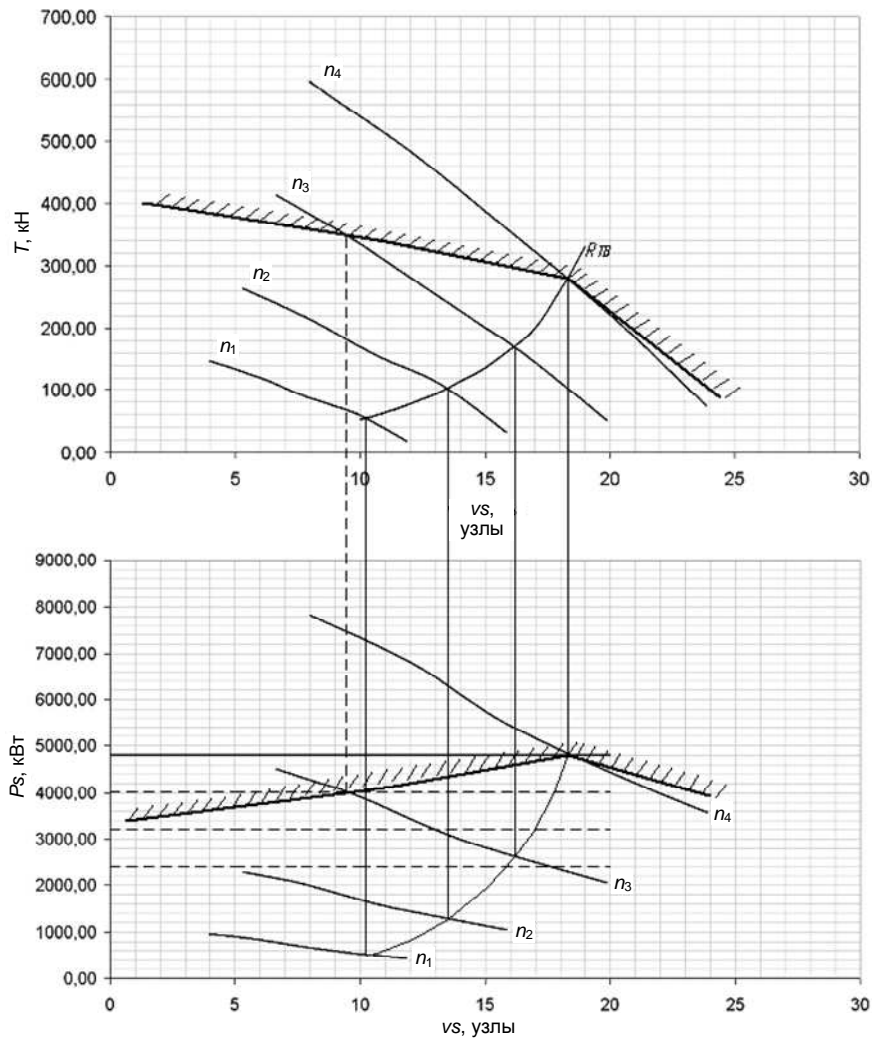


Рис. 2. Построение паспортной диаграммы

Из паспортной диаграммы видно, что для варианта со средними размерениями при наибольшей достижимой скорости хода на чистой воде 18,3 узла мощность, потребляемая винтами, равна 4 800 кВт. В свою очередь, у рассматриваемых судов-прототипов мощность, потребляемая винтами, составляет примерно 4 600 кВт с максимальной скоростью хода 25,7 узлов. Разница в значениях скорости объясняется большими главными размерениями проектируемого ледокола по сравнению с размерениями судов-прототипов. Таким образом, недостаток скорости компенсируется улучшением такой эксплуатационной характеристики, как проходимость судов во льдах.

### Заключение

Таким образом, в процессе проектирования ледокола для Северного Каспия с оптимальными основными характеристиками проведено несколько приближений, в которых был произведен расчет сопротивления судна в режимах ледового плавания и на тихой воде, расчет оптимальных размеров гребного винта, а также мощности, подаваемой на валы судна. На основе полученных значений были выбраны типы энергетических установок и построена паспортная диаграмма. С эксплуатационной и экономической точек зрения обоснованы главные размерения ледоколов для Северного Каспия по сравнению с эксплуатирующимися в ВКК судами ледокольного флота. Результаты исследований могут использоваться на начальных этапах проектирования ледоколов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пичугин Д. А. Особенности формирования комплекса нефтегазопромыслового флота для Северного Каспия // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2009. – № 1. – С. 22–24.
2. Цой Л. Г. Выбор формы корпуса арктических ледоколов универсального назначения // Судостроение. – 1996. – № 5–6. – С. 10–14.
3. Цой Л. Г. Определение потребной мощности ледоколов и ледокольно-транспортных судов по заданной ледопроеходимости: метод. указ. – СПб.: СПбГМТУ, 2003. – 27 с.
4. Титов И. А., Климашевский С. Н., Симонов Ю. А. Приближенное определение основных характеристик ледоколов и судов ледового плавания // Судостроение. – 1996. – № 4. – С. 3–6.
5. Ледоколы / В. И. Каштелян и др. – Л.: Судостроение, 1972. – 287 с.
6. Мирохин Б. В., Жинкин В. Б., Зильман Г. И. Теория корабля: учеб. – Л.: Судостроение, 1989. – 352 с.

Статья поступила в редакцию 12.07.2011

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Тюкова Алёна Александровна** – Астраханский государственный технический университет; студентка, специальность «Кораблестроение и океанотехника», тел.: 8 (8512) 614-166.

**Tyukova Alyona Aleksandrovna** – Astrakhan State Technical University; Student, Spetiality "Shipbuilding and Ocean Technology"; tel. 8 (8512 ) 614-166.

**Пичугин Дмитрий Алексеевич** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; тел.: 8 (8512) 614-190.

**Pichugin Dmitry Alekseevich** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Science; Assistant Professor of the Department "Shipbuilding and Energetic Complexes of Sea Technological Equipment"; tel. 8 (8512) 614-190.