

Комплексный метод проектирования ледоколов на основе модельных исследований



К. В. Курчуков,
руководитель
проектов отделения
гидроаэродинамики
ФГУП «Крыловский
государственный
научный центр»



А. А. Добродеев,
начальник сектора
исследований ледотехники
ФГУП «Крыловский
государственный
научный центр»



М. В. Ренни,
ведущий инженер-
конструктор ЦКБ
«Балтсудопроект»



Д. В. Фомичев,
руководитель
проектов отделения
гидроаэродинамики
ФГУП «Крыловский
государственный
научный центр»



Е. А. Морозова,
руководитель
проектов отделения
гидроаэродинамики
ФГУП «Крыловский
государственный
научный центр»

Освоение нефтяных и газовых месторождений на арктическом шельфе и шельфе замерзающих морей сопряжено с необходимостью повышения эффективности ледокольного обеспечения транспортного флота и с дальнейшим наращиванием мощности ледоколов. В статье рассмотрен комплексный метод проектирования и оптимизации формы обводов корпуса на примере ледокола проекта 21900М.

Ледокол проекта 21900М можно рассматривать как продолжение развития класса линейных ледоколов, разрабатываемых ЦКБ «Балтсудопроект» на базе ледоколов проекта 21900 типа «Москва» с учетом опыта его проектирования, постройки и эксплуатации. При сохранении водоизмещения и главных характеристик судна расширение функциональных способностей ледокола проекта 21900М и серьезные изменения в общей компоновке и архитектуре надстроек вызвали необходимость провести расчетно-экспериментальные исследовательские работы.

Рассмотрим комплексный подход, который используют при проектировании ледоколов в мировой практике. Он включает следующие стадии проектирования: разработку эскизного чертежа, предварительное расчетное определение маневренных, мореходных, аэродинамических характеристик и ледовых качеств судна, уточнение полученных характеристик и оптимизацию обводов после модельных испытаний в волновом, маневренном и ледовом бассейне, а также в аэродинамической трубе. При использовании расчетного и экспериментального методов ветро-волновые и ледовые условия максимально приближены к предполагаемым условиям эксплуатации ледокола.

Аэродинамические исследования

Результаты исследований в аэродинамической трубе способствуют выявлению на ранних стадиях проектирования судов неблагоприятных условий обтекания корпуса судна воздушным потоком. У проектировщиков появляется возможность привести обтекание

судна воздушным потоком к требуемым условиям вследствие деформирования архитектуры корпуса и надстроек.

Остановимся на экспериментальных методах определения полей скоростей над взлетно-посадочной площадкой (ВПП) с использованием визуализации картины обтекания надводной части ледокола проекта 21900М, а также визуализации задымляемости. Данные исследования направлены на обеспечение безопасности взлетно-посадочных операций.

В результате обтекания воздушным потоком надводной части судна возникает достаточно сложная картина течения, элементы которой зависят от размеров и форм многочисленных надстроек и сооружений на палубе верхнего строения (рис. 1). Вертолет – неотъемлемая часть современных кораблей различного назначения, повышающая их эффективность и производительность, что влечет за собой необходимость размещения на палубе ВПП, выделения объемов судна для ангаров, помещений для экипажа, средств обслуживания.

В морских условиях корпус ледокола, архитектура его надстроек оказывают неблагоприятное влияние на воздушный поток вблизи ВПП. Сильный ветер, существенные поперечные и вертикальные составляющие скорости ветра, вызванные обтеканием надстроек, усложняют взлет и посадку вертолета, а также вызывают раскручивание и остановку лопастей несущих винтов. Вертикальные поверхности надстроек ледокола создают области пониженного давления, рециркуляционного течения, где воздушное судно может притянуться к надстройке.

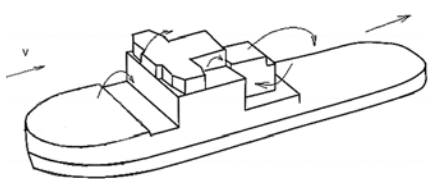


Рис. 1. Структура вихревой зоны обтекания модели ледокола воздушным потоком

Основные характеристики ледокола

№	Характеристика	Единица измерения	Величина
1	Водоизмещение	м ³	14132,1
2	Длина	м	119,4
3	Ширина	м	26,2
4	Осадка	м	8,50

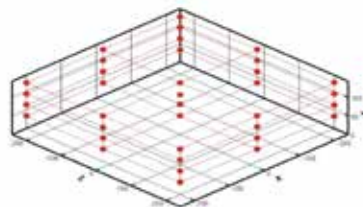
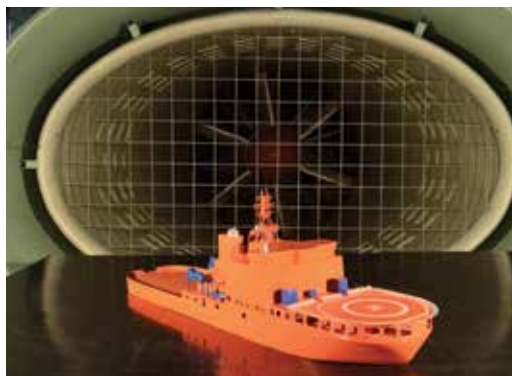


Рис. 2. Общий вид модели ледокола в аэродинамической трубе; справа – схема расположения контрольных точек

Скорость, направление, турбулентность результирующего воздушного потока над ВПП выступают существенными факторами ограничения эксплуатации вертолета. Величина и направление результирующего вектора скорости для каждого типа вертолета ограничены. Наша задача – расширить диапазон (по направлению и скорости кажущегося ветра) использования вертолетной техники, разработав рекомендации по выравниванию параметров воздушного потока над ВПП. К особенностям корабельной эксплуатации вертолета относится возможность его попадания в зоны воздуха, загрязненного дымом из труб. В этих зонах с повышенной температурой воздуха содержатся продукты сгорания топлива. Определение границ потенциально опасных зон крайне важно, так как пилотирование воздушного судна в облаке отработанных газов может привести к аварийным ситуациям в работе силовой установки вертолета.

Траекторию движения выхлопных газов из труб необходимо определить

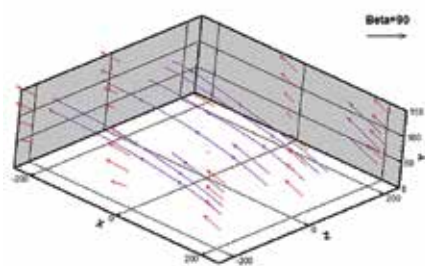


Рис. 3. Скосы воздушного потока над вертолетной площадкой

на стадии проектирования судна. При этом проверяются все соответствующие направления и значения скорости воздушного потока, а также рассеивание газовой струи.

**Структура потока
вблизи надводной части судна**

Для проведения эксперимента в аэродинамической трубе (АДТ) по замерам скосов потока над вертолетной площадкой ледокола проекта 21900М была изготовлена модель надводной части судна в масштабе 1:50. Главные характеристики ледокола приведены в таблице.

При проведении испытаний модель ледокола размещалась на имитирующем границе раздела сред плоском экране (3,5 × 3,5 м), расположенном в среднем по высоте сечения рабочего участка АДТ (рис. 2).

Структуру потока исследуют, выполняя замеры пространственных векторов местной скорости. Скосы потока над вертолетной площадкой измеряли при скорости набегающего воздушного потока $V_0 = 30$ м/с. Пятиствольный зонд, с помощью которого выполняли замеры, одновременно фиксировал величину модуля вектора местной скорости потока и углы скоса: α – в вертикальной плоскости, δ – в горизонтальной. Измерения выполняли в четырех горизонтах, расположенных над палубой вертолетной площадки, при следующих курсовых углах относительно ветра: $\beta = 0^\circ$ (ветер с носа ледокола), 45, 90, 135, 180° (ветер с кормы ледокола). Выбранные значения высоты измерений характе-

ристик потока над ВПП перекрывают высоту расположения несущих винтов вертолетов. В результате получено пять пространственных полей вектора местной скорости, каждое из 36 точек. На рис. 3 приводятся измеренные векторы скорости (линии красного цвета), а также пространственные линии тока (линии фиолетового цвета), полученные с помощью интерполяции.

**Визуализация воздушного потока
над взлетно-посадочной
площадкой**

Качественное представление об особенностях обтекания модели воздушным потоком можно получить из результатов опытов по визуализации течения в гидродинамической трубе (ГДТ) Крыловского центра. Для проведения испытаний по визуализации потока и задымляемости в вертикальной ГДТ изготовлена модель надводной части ледокола в масштабе 1:800.

Поперечное сечение рабочего участка трубы с прозрачными стенками 150×150 мм, длина 600 мм. Для визуализации потоков используются методы подкрашенной жидкости, водородных пузырьков и воздушных пузырьков [2, 3]. С помощью подкрашенной жидкости устанавливают распределение дыма и его концентрацию (качественно). Линии тока, образованные водородными пузырьками, показывают структуру потока и обтекание элементов конструкции судна.

Приведем визуализацию потока линиями водородных пузырьков, испускаемых перед моделью, и визуализацию течения дыма подкрашенной жидкостью (рис. 4). На фотографии видны границы внешнего потока и внутренние зоны отрывных течений, крупномасштабный подпорный вихрь, состоящий из нескольких вихрей, который возникает перед надстройкой и частично захватывает площадь ВПП. Сплошная надстройка под мачтой, перед трубой в среднем сечении создает

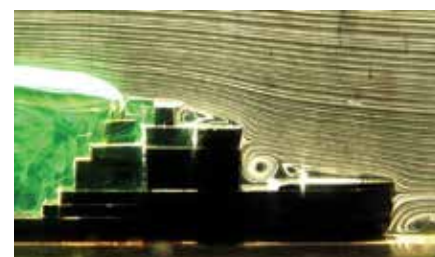


Рис. 4. Задымляемость ледокола при $\beta = 0^\circ$ (вид сбоку)



Рис. 5. Визуализация распространения дыма при $\beta = 35^\circ$ (слева), $\beta = 150^\circ$ (в центре), $\beta = 0^\circ$ (справа) в аэродинамической трубе

зону отрыва потока, в которой формируется возвратное течение, направленное противоположно внешнему потоку. Дым заполняет все пространство в зоне отрыва потока и попадает в пространство на верхнем мостике.

Оказалось, что возникает сильнейшее возмущение потока с образованием обширной зоны возвратного течения по всей высоте надстройки. Это приводит к задымляемости ВПП и воздухозаборных отверстий машинного отделения. После выполненных исследований в аэродинамической трубе (рис. 5) и ГДТ были сформулированы рекомендации [4–6] по изменению архитектуры надводной части судна. Они были приняты в части выхлопных труб и верхней надстройки.

Таким образом, в результате исследований установлено, что при определенных направлениях воздушного потока должны быть введены существенные ограничения для использования вертолета. В некотором диапазоне углов натекания воздушного потока со стороны борта эксплуатация вертолета возможна, но при существенном ограничении допустимой скорости ветра. При ветре со стороны кормы судна действия пилота должны быть «ювелирными», так как вертолет будет ориентирован рулевым винтом в сторону надстройки. Кроме того, нисходящий поток над площадкой потребует ограничения допустимой скорости ветра.

С помощью модельных испытаний по определению обтекания надстро-

ек и параметров поля скоростей над взлетной площадкой вертолета удается получить достаточно надежные материалы, чтобы составить практическое руководство по выполнению взлетно-посадочных операций, определить допустимые значения скорости и направления ветра и выбрать допустимые по условиям безопасности направления маневрирования вертолета, а также обеспечить необходимыми исходными данными тренажерные стенды.

Маневренные исследования

Исследования управляемости ледокола проводили в маневренно-мореходном бассейне с использованием самоходной автономной модели судна (рис. 6), изготовленной в масштабе 1:56. Следует отметить, что испытания проводили в лаборатории динамики, имеющей сертификат германского аккредитационного общества DAP на проведение исследований в области управляемости судов.

Цели исследований в маневренно-мореходном бассейне следующие:

- 1) экспериментально определить характеристики управляемости ледокола на чистой воде;
- 2) разработать в случае необходимости рекомендации по улучшению характеристик управляемости судна и экспериментально проверить рекомендации;
- 3) определить расчетами потребный упор носового подруливающего устрой-

ства с учетом необходимости работы ледокола у очага пожара.

На ледоколе установлены поворотные колонки (ПК) с гребными винтами наружного вращения диаметром 4,5 м, а также носовое подруливающее устройство (ПУ). Максимальная скорость переднего хода на чистой воде составляет 16 узлов (скорость заднего хода на чистой воде при проведении испытаний принималась равной 10 уз.).

Судя по результатам модельных испытаний исходного варианта судна (рис. 7), ему свойственны следующие характеристики управляемости:

- 1) поворотливость ледокола – диаметр установившейся циркуляции при переключке колонок на 30° составляет примерно одну длину корпуса;
- 2) устойчивость ледокола – относительная кривизна траектории при непереложных колонках $v_0 = 0,4$ (относительный диаметр установившейся циркуляции $D_0 = 5$);
- 3) критический угол переключки колонок около 4° .

Приведенные данные свидетельствуют, что поворотливость судна хорошая, но характеристики устойчивости прямолинейного движения, по мнению специалистов центра, неудовлетворительные. При той степени неустойчивости, которая была выявлена в процессе испытаний, управление судном было бы затруднено вследствие необходимости переключки колонок с большой частотой и с амплитудой не менее 5° для поддержания прямого хода.

С учетом накопленного опыта можно утверждать, что для обеспечения удовлетворительных маневренных характеристик судна значение параметра v_0 не должно превышать 0,2–0,25 ($D_0 \geq 8–10$).

В связи с этим было решено улучшить характеристики управляемости судна. Были рассмотрены следующие варианты:

- 1) увеличение размеров ледовых зубьев;
- 2) продление дейдвуда, расположен-



Рис. 6. Модель с увеличенным дейдвудом и шпорами до основной плоскости (слева) и стабилизаторами перед винто-рулевыми колонками (справа)

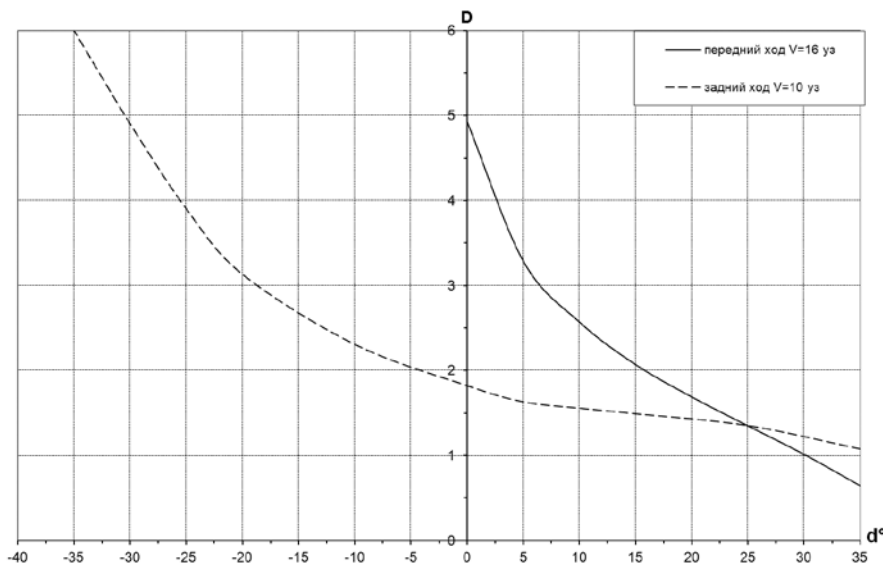


Рис. 7. Зависимость относительного диаметра установившейся циркуляции исходного варианта судна от угла перекалки винто-рулевых колонок

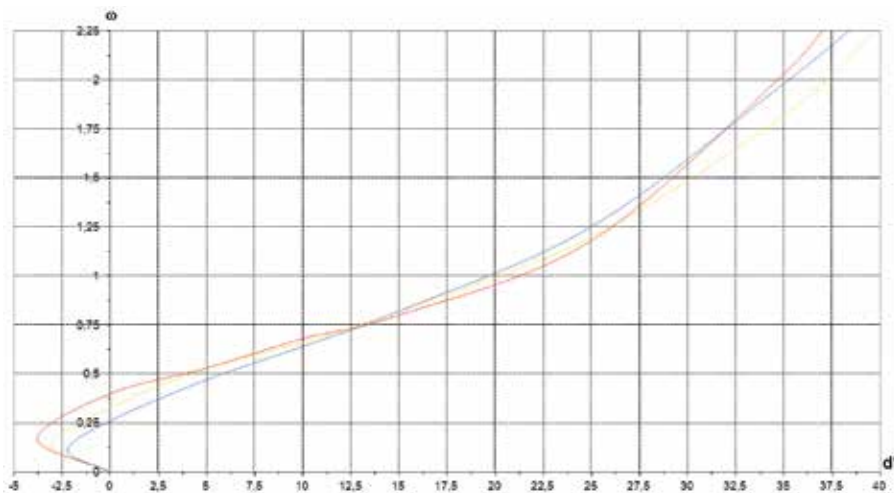


Рис. 8. Диаграмма управляемости судна

ного в диаметральной плоскости ледокола (при сохранении наклона задней кромки);

3) установка под гондолами колонок шпор, а также их комбинации.

Исследования показали, что увеличение размеров ледовых зубьев незначительно влияет на характеристики устойчивости судна.

Обеспечение удовлетворительных характеристик устойчивости прямолинейного движения судна за счет увеличения площади дейдвуда может быть достигнуто при его продлении не менее чем на 4,5 м (увеличении площади дейдвуда примерно на 24 м²). При этом v_0 уменьшается с 0,4 до 0,25.

Наиболее существенное влияние на параметры устойчивости оказывает установка шпор на поворотные колонки. Использование шпор площадью примерно по 4 м² приводит к уменьшению

величины v_0 с 0,4 до 0,19. Установка шпор в совокупности с продлением дейдвуда на 2,25 м уменьшает v_0 до 0,11. При этом сохраняется хорошая поворотливость: диаметр установившейся циркуляции в одну длину корпуса обеспечивается при перекалке колонок на 40°.

Таким образом, согласно результатам исследований, выполненных на первом этапе работ и направленных на улучшение устойчивости прямолинейного движения ледокола, выделено несколько вариантов изменения исходного варианта судна (приведены в порядке увеличения влияния на устойчивость):

- 1) продление дейдвуда на 4,5 м;
- 2) установка шпор на поворотные колонки;
- 3) установка шпор на поворотные колонки с одновременным продлением дейдвуда на 2,25 м.

При использовании любого варианта судно будет иметь хорошую поворотливость: диаметр установившейся циркуляции, не превышающий одну длину корпуса, будет обеспечен при перекалке колонок на 35–40°.

После модельных испытаний по управляемости судна при движении задним ходом на чистой воде установлено, что судно характеризуется хорошей поворотливостью, но степень неустойчивости его прямолинейного движения высока. Однако для движения задним ходом это можно принять допустимым.

Определение характеристик управляемости судна с увеличенным дейдвудом. Поиск дополнительных средств улучшения характеристик управляемости

На основании изложенных рекомендаций было принято решение об увеличении дейдвуда судна. По сравнению с исходным вариантом судна дейдвуд был продлен на 5,7 м (на уровне основной плоскости), а задняя кромка его стала вертикальной. При этом площадь дейдвуда по сравнению с исходным вариантом увеличилась на 21,5 м².

Площадь принятого дейдвуда незначительно отличается от площади наибольшего из рассмотренных на первом этапе дейдвудов (продленного на 4,5 м при сохранении исходного наклона задней кромки). На этом основании для оценки характеристик управляемости судна с увеличенным дейдвудом использовалась полученная ранее для соответствующего варианта диаграмма управляемости (рис. 8).

Приведенные данные свидетельствуют, что судно с увеличенным дейдвудом будут присущи следующие характеристики управляемости:

- 1) поворотливость: диаметр установившейся циркуляции при перекалке колонок на 35° составляет примерно одну длину корпуса;
- 2) устойчивость: относительная кривизна траектории при непереложенных колонках $v_0 = 0,25$ (относительный диаметр установившейся циркуляции $D_0 = 8$);
- 3) критический угол перекалки колонок около 2°.

Полученные характеристики позволяют оценить поворотливость судна как достаточно хорошую, а степень неустойчивости прямолинейного движения проекта как предельно допустимую.

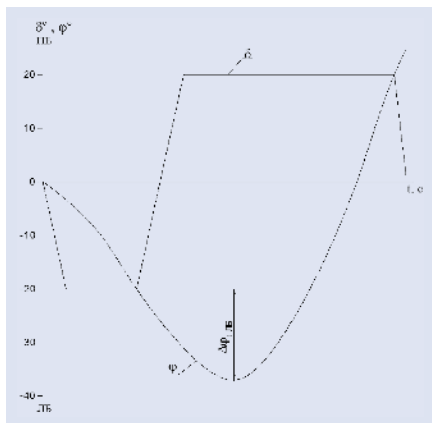


Рис. 9. Схема маневра «зигзаг» 20/20 при первой перекладке руля (рулей) на левый борт

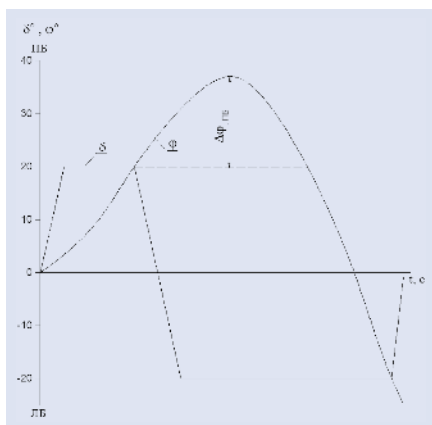


Рис. 10. Схема маневра «зигзаг» 20/20 при первой перекладке винто-рулевых колонок на правый борт

В части обеспечения устойчивости получены предельно допустимые параметры, поэтому был продолжен поиск средств, способных уменьшить степень неустойчивости прямолинейного движения судна. Были исследованы различные варианты улучшения устойчивости прямолинейного движения судна, связанные с установкой шпор на ПК и дополнительных стабилизаторов на корпусе судна, а также с дифференровкой судна на корму.

Оценка эффективности каждого варианта выполнялась по широко используемой в международной практике методике, предусматривающей испытания модели на маневр «зигзаг». При подготовке таких испытаний было обеспечено моделирование инерционных характеристик судна.

В качестве примера приведены схемы маневров «зигзаг» 20/20 показаны на рис. 9, 10. Согласно Резолюции ИМО [7] и Правилам Морского Регистра [8], в качестве критериев устойчивости судна используются значения показанных на схеме углов первого и второго зары-

скивания для зигзага 10/10 и угла первого зарыскивания для зигзага 20/20. При этом более устойчивое судно имеет меньшие значения углов зарыскивания.

Таким образом, по результатам испытаний в маневренном бассейне можно сделать следующее заключение:

1) исходный вариант ледокола обладает хорошей поворотливостью и неудовлетворительными характеристиками устойчивости прямолинейного движения;

2) для улучшения маневренных качеств судна были рассмотрены следующие способы:

- увеличение размеров ледовых зубьев;
- продление дейдвуда, расположенного в ДП ледокола;
- установка под гондолами колонок шпор;
- установка дополнительных стабилизаторов, а также их комбинации;

3) увеличение размеров ледовых зубьев и установка дополнительных стабилизаторов на корпусе судна перед ПК или за ПК при реальных размерах зубьев и стабилизаторов не обеспечивают заметного улучшения устойчивости прямолинейного движения;

4) наиболее эффективный способ улучшения устойчивости прямолинейного движения судна – установка шпор на поворотные колонки;

5) увеличение дейдвуда не так значительно, как установка шпор на ПК, улучшает характеристики устойчивости прямолинейного движения; этот вариант по результатам комплексного анализа и был принят к реализации; диаметр установившейся циркуляции судна с увеличенным дейдвудом при угле перекладки ПК 35° составляет примерно одну длину корпуса, степень неустойчивости может быть оценена как предельно допустимая;

6) помимо способов, приведенных в п. 2, был рассмотрен вариант улучшения устойчивости прямолинейного движения судна с помощью придания ему дифферента на корму на угол не менее 1°, оказавшийся эффективным; придание судну дифферента на корму особенно полезно для движения при осадке 8,5 м, когда характеристики управляемости и маневренности судна будут хуже, чем при осадке 8 м;

7) в случае принятой в исходном варианте мощности носового ПУ позиционирование судна при тушении

пожара под любым углом к ветру возможно:

- при работе лафетных стволов «под ветер» – в условиях одновременного действия ветра 7 баллов и волнения 6 баллов,
- при работе лафетных стволов «на ветер» – в условиях одновременного действия ветра 4 балла и волнения 3 балла;
- позиционирование судна при любом направлении работы лафетных стволов в условиях ветра 7 баллов и волнения 6 баллов, указанных в техническом задании, возможно лишь при увеличении упора носового подруливающего устройства не менее чем в два раза.

Мореходные исследования

Мореходные испытания проводили в условиях нерегулярного волнения в мореходном бассейне с целью определения характеристик качки судна, линейных ускорений корпуса в характерных точках, подверженности его заливанию и слемингу, а также дополнительного сопротивления на встречном волнении.

Наглядное представление о статистических характеристиках килевой качки судна, полученных в разных волновых условиях плавания, дает график на рис. 11.

Килевая качка. На встречном волнении силой 6 баллов со значительной высотой $h_s = 4,5$ м амплитуды килевой качки при скорости хода 12 и 16 узлов различаются незначительно. При шторме с высотой волны $h_s = 5,7$ м значительные амплитуды килевой качки превосходят 3,4°. Амплитуды килевой качки для судна при скорости хода 12 узлов превышают соответствующие амплитуды при скорости 16 узлов приблизительно на 20%. Килевая качка ледокола при плавании на встречном нерегулярном волнении силой 7 баллов наибольшая при движении со скоростью 12 узлов (высота волны $h_s = 5,7$ м). Следует отметить, что амплитуды килевой качки с ростом скорости хода незначительно уменьшаются на всех рассмотренных интенсивностях волнения.

Вертикальная качка. На встречном волнении вертикальная качка ледокола относительно набегающих волн небольшая. Ее значительные амплитуды не превосходят половины соответствующей амплитуды волны.

Ускорения в районе вертолетной площадки. Вертикальные ускорения в

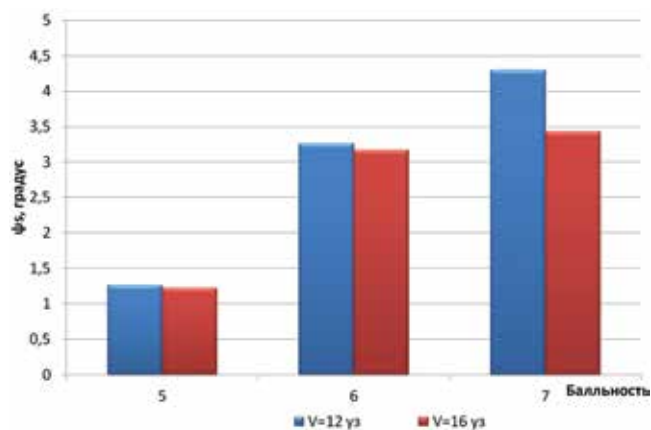


Рис. 11. Зависимость значительной амплитуды килевой качки от скорости хода на волнении различной интенсивности

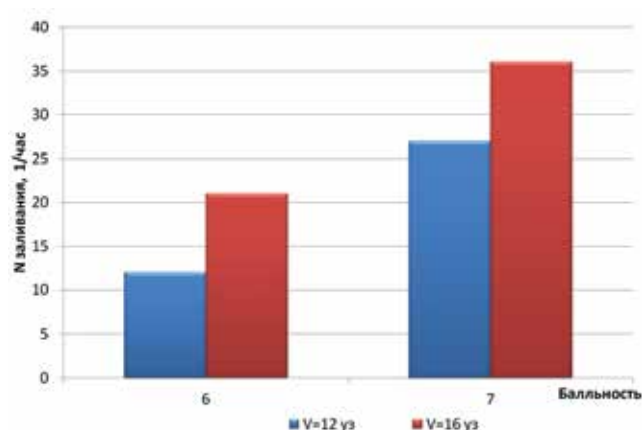


Рис. 12. Частота заливания носовой оконечности в различных условиях

районе вертолетной площадки на волнении силой 5 баллов при $h_s = 2,7$ м увеличиваются от 0,20 g при скорости 12 узлов до 0,24 g, при $V_s = 16$ узлов. Амплитуды вертикальных ускорений в носовой оконечности в условиях шторма, когда высота волны $h_s = 5,7$ м, могут достигать значений 0,5 g.

Заливание. Под заливанием понимается попадание сплошных масс воды на палубу. Заливание ледокола оценивалось визуально; число заливаний палубы модели пересчитывалось на натуре из расчета плавания судна в стационарных условиях в течение одного часа.

При плавании ледокола на встречном волнении силой 5 баллов со скоростью 12 и 16 узлов заливания палубы не наблюдалось. При ходе на волнении силой 6 баллов носовая оконечность заливалась более 20 раз в час при скорости хода выше 12 узлов. На волнении 7 баллов частота и интенсивность заливания ледокола резко увеличиваются. Результаты сопоставления частоты заливания носовой оконечности в различных условиях приведены на рис. 12.

На волнении силой 6 баллов и выше для исключения попадания воды на вертолетную площадку следует избегать движения ледокола встречными курсами к волне.

Допустимое значение частоты заливания при оценке общей мореходности у разных авторов колеблется от 40 до 60 раз в час [9], поэтому можно ожидать, что по условию заливаемости скорость движения ледокола на встречном волнении силой 5 и 6 баллов будет неограниченной, на волнении силой 7 баллов возможны ограничения ориентировочно до 13–14 узлов.

Слеминг. При движении модели ледокола на встречном волнении за возникновение слеминга нами принято появление динамического (ударного) вертикального ускорения в носовой оконечности модели. На рис. 13 представлена фотография модели ледокола на волнении в момент наибольшего оголения днища и соответствующий временной интервал реализации вертикального ускорения. На реализации ускорения четко виден момент удара корпуса модели о волну.

Частота слеминга возрастает с ростом интенсивности волнения. Допустимое значение частоты слеминга составляет 30–40 раз в час [10]. Длительное движение ледокола на встречном волнении силой 6 баллов со скоростью $V_s > 10$ узлов неизбежно вызовет дискомфорт для экипажа. Вызванные частыми ударами волн сотрясения и ви-

брация судна могут приводить к повышенной утомляемости команды. При изменении курса судна от встречного на $30\text{--}40^\circ$ частота и интенсивность слеминга должны существенно снизиться.

Проведенные исследование мореходности ледокола в условиях нерегулярного волнения позволили выработать рекомендации для безопасного плавания в условиях качки, вертикальных ускорений, слеминга и заливания на волнении различной интенсивности.

Ледовые исследования

Комплекс экспериментальных исследований позволил выявить пути улучшения маневренно-мореходных и аэродинамических характеристик, а также оптимизации архитектурного облика ледокола. После исследований на чистой воде были выполнены исследования в условиях льда, результаты которых показали высокую ледопробиваемость ледокола и подтвердили правильность принятых проектных решений.

По данным испытаний, на переднем ходу ледокол способен развивать скорость 10–11 узлов в ровном бесснежном ледяном покрове толщиной 0,8 м и с прочностью на изгиб 500 кПа, при

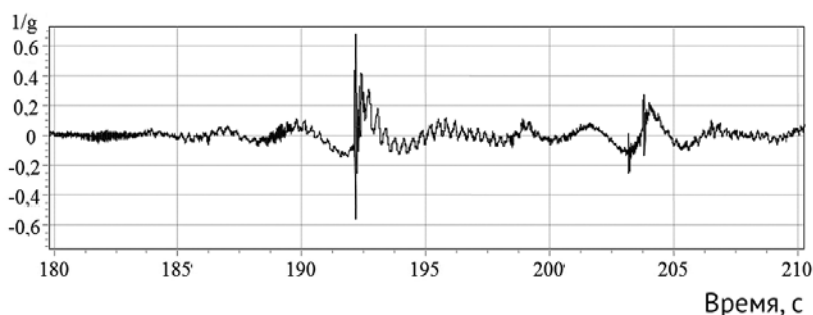


Рис. 13. Момент оголения днища носовой оконечности и соответствующая реализация ударного ускорения



Рис. 14. Ледокол проекта 21900М

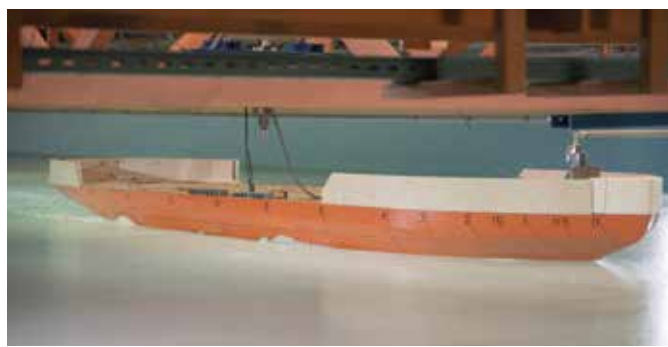


Рис. 15. Испытания модели ледокола в сплошном ровном льду

этом радиус циркуляции в таких условиях не превышает двух длин корпуса. На заднем ходу ледокол способен успешно преодолевать ровный лед толщиной 1,3 м на устойчивой скорости хода два узла. Хорошая управляемость ледокола обеспечивается двумя винто-рулевыми колонками производства финской компании Steerprop мощностью 8 МВт каждая.

Основные изменения в модернизированном ледоколе проекта 21900М коснулись увеличения на несколько метров длины корпуса, мощности пропульсивного комплекса на 1,4 МВ, а также переноса вертолетной площадки в носовую оконечность. Показатели ледовой ходкости ледокола будут определены в ходе натурных испытаний, когда будут измерены скорость движения, частота вращения движителей и/или гребных валов, мощность энергетической установки, расходуемая при движении, и толщина преодолеваемого льда. Затем на основании пересчета экспериментальных данных, методикой которого владеют специалисты ФГУП «Крыловский государственный научный центр», будет получена информация о толщине льда, которую сможет преодолевать ледокол при потреблении полной мощности в случае сохранения постоянной скорости движения. При изучении маневренных качеств ледокола будут измерены те же характеристики, что и при изучении ледовой ходкости, дополнительно будет зарегистрирована информация по углам перекаладки органов управления и траектория движения ледокола при выполнении циркуляции. Все полученные данные корректируются для устранения расхождений между требуемыми и измеренными характеристиками ледяного покрова.

Комплексный метод проектирования с использованием расчетных и экспериментальных исследований дает

возможность определить ограничения при эксплуатации судна в условиях ледообразования, ветра и волнения различной интенсивности, обосновать расположение вертолетной площадки на палубе с учетом безопасности взлетно-посадочных операций, разработать рекомендации по оптимизации архитектурной формы и минимизации задымляемости в зоне расположения выхлопных труб, улучшить характеристики управляемости и ледопроеходимости по сравнению с первоначальным корпусом, в том числе устойчивость прямолинейного движения ледокола, установить потребность упора носового подруливающего устройства при выполнении операций пожаротушения, выяснить структуру воздушного потока.

Следует отметить, что во время натурных испытаний и последующей эксплуатации первые построенные ледоколы проекта 21900 «Москва» и «Санкт-Петербург» успешно продемонстрировали соответствие показателей ледовой ходкости и маневренности спецификационным требованиям. По модернизированному проекту ледокола 21900М были построены еще три ледокола: «Владивосток» (рис. 14), «Новороссийск» и «Мурманск», предназначенные для эксплуатации в неарктических морях России.

В заключение отметим основные преимущества ледоколов проекта 21900М:

- 1) повышенная ледопроеходимость на переднем и заднем ходах благодаря увеличению мощности пропульсивной установки на 1,4 МВт до величины 17,4 МВт, а также увеличению категории ледовых усилений корпуса;
- 2) возможность увеличения группы специального персонала до 22 человек
- 3) увеличение вместимости по грузовым палубным контейнерам более чем на 70 %;

4) увеличение габаритов и массы принимаемых вертолетов;

5) увеличение грузоподъемности судовых грузовых устройств более чем в два раза;

6) обеспечение защиты атмосферного воздуха по снижению содержания оксидов серы в выхлопных газах. ■

Литература

1. Гузев А. С., Короткин А. И. Обтекание единичных элементов шероховатости в пограничном слое // Труды III междунар. конф. по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех-99». СПб., 1999.
2. Бирюк В. С. Борьба с задымлением морских судов. Л.: Судостроение, 1964.
3. Seshadri V., Singh S. N., Cdr Kulkarni P. R. Study of problem of exhaust smoke ingress into GT intakes of a naval ship // J. ShipTechnol. 2006. Vol. 2. № 1. P. 22–35.
4. Руководство по летной эксплуатации Ми-8 Управления надзора за летной деятельностью, соответствующее эталонному экземпляру РЛЭ ГосНИИ ГА (дата сверки 11.07.2005 г.).
5. Руководство Международной организации гражданской авиации (ICAO) в ред. 1995 г.
6. Руководство по летной эксплуатации Ка-32А (введено в действие начальником УЛС ФАС России 12.03.97 г.) (дата сверки 26.07.2007 г.)
7. Резолюция ИМО 137(76) «Стандарты маневренных качеств судов». 2002.
8. Российский Морской Регистр Судостроения «Руководство по определению маневренных характеристик судов». 2004.
9. Boroday I. K., Nezvetayev Y. A. Seakeeping of the ships // L.: Sudostroenie, 1982. P. 5–21; 179–185.
10. ITTC. The final and recommendations to the 27th ITTC // Proc. of 27rd Int. Towing Tank Conf. (ITTC). 2012.