Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN614.pdf>

DOI: 10.15862/104TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/104TVN614>)

УДК 659.62

Лобанов Василий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Россия, Нижний Новгород

Доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства

Доктор технических наук

E-mail: lobbas@mail.ru

Совместное маневрирование судов во льдах на малых расстояниях

Аннотация. Настоящая статья развивает серию публикаций автора, посвящённых исследованию ледовых качеств ледокольного и транспортного флота внутреннего и смешанного река-море плавания с использованием возможностей современных САЕ-технологий. На конкретных примерах продемонстрировано, что при невозможности проведения полномасштабных натурных испытаний судов в ледовых условиях надёжной и недорогой альтернативой этих испытаний является виртуальное моделирование процесса. В работе рассмотрен круг актуальных задач движения и совместного маневрирования судов в различных ледовых и навигационных условиях: оценка безопасных условий расхождения в мелкобитых и тёртых льдах; прогноз скорости прокладки и качественного состояния ледового канала в толстых и предельных сплошных льдах при различных тактических приёмах работы нескольких ледоколов; эффективность и безопасность околки ледокольными средствами малоподвижного транспортного судна в сплошных льдах. По анализу результатов многовариантного САЕ-моделирования даны конкретные рекомендации для исследованного грузового флота различных ледовых категорий по выбору безопасных дистанций расхождения, законов регулирования судов, выполнения стандартных маневров. При оценке эффективности и безопасности работы мелкоосидающего речного ледокольного флота на околке транспортных судов и на прокладке каналов предпочтение отдано совместной работе двух ледоколов на минимальных траверзных дистанциях и способом «борт к борту» соответственно.

Ключевые слова: судно; ледокол; ледовые качества; ледовые условия; безопасность ледового судоходства; САЕ-системы; конечноэлементное моделирование.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Лобанов В.А. Совместное маневрирование судов во льдах на малых расстояниях // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/104TVN614

Введение

В настоящее время сохраняется необходимость организации ледовых транспортных операций в ряде судоходных регионов Мира. Сейчас эта необходимость признана как на национальных, так и международном уровнях.

Ледяной покров как среда работы флота является источником повышенной опасности для судоходства по сравнению с периодом физической навигации. Снижение рисков, связанных с ледовой эксплуатацией флота, требует решения комплекса проблем, начиная от проектирования судов и заканчивая подготовкой их специализированных ледовых экипажей. Поэтому с текущего года под эгидой Международной морской организации начинается этап внедрения Полярного Кодекса [8]. Принятие этого документа призвано узаконить общие нормы, требования и правила проектирования, постройки, эксплуатации, обеспечения безопасности плавания судов, охраны человеческой жизни и предотвращения загрязнения в полярных водах, покрытых льдами. Учитывая, что граница полярных областей будет распространяться до 60-й параллели, то значимая часть внутренних водных путей и прибрежных районов России, а также флота, используемого здесь в ледовых транспортных операциях, попадёт под требования Полярного Кодекса.

Для флота внутреннего и смешанного плавания в ряду обозначенных проблем особой актуальностью отличаются задачи оценки ледовых качеств уже эксплуатируемых судов и обоснования допустимых условий их ледового плавания. Для современного судовладельца процедура получения экспертного заключения о ледовых качествах судна на основе натурных или модельных экспериментов, как правило, неприемлема по причинам экономического характера. Использование для этих целей классических автономных полуэмпирических методик ограничено кругом проблем чисто эксплуатационного характера, причём применительно преимущественно к судам с традиционным формообразованием. Расчётные подходы в задачах этого уровня рассматривают воздействие ледовых нагрузок на значительном временном интервале, исчисляемом десятками часов. Поэтому сказывающийся в этом случае «эффект сглаживания» даёт вполне корректный результат для практического использования, несмотря на введение в полуэмпирические зависимости различных оговорок, упрощений, допущений, априорно принимаемых условий [1,2,3,10,11,12,13,14].

Между тем, существует достаточный ряд частных задач безопасности. В основном они связаны с оптимизацией маневрирования судов (в том числе и совместного) в различных ледовых условиях в краткосрочный период времени (в пределах от нескольких минут до нескольких десятков минут). Опыт автора показал, что в таких случаях прогноз безопасных условий с позиций усреднения влияния набора ледовых аргументов (что и предлагают традиционные решения) будет иметь низкую оправдываемость [4,5,6,7]. При решении подобных проблем процесс движения судна следует рассматривать с позиций обязательного учёта пространственно-временной неустойчивости всего комплекса факторов: раздробленности льдов, их сплочённости и толщины, ширины и формы ледового канала, распределения суммарных нагрузок на корпусе со стороны льдов (а, возможно, и навалившегося соманеврирующего судна), скорости движения, закона управления судном и пр. Поэтому при невозможности проведения полномасштабных натурных испытаний альтернативным путём надёжного прогнозирования взаимодействия нескольких судов во льдах представляется реализация численных экспериментов с применением САЕ-технологий (например, в конечноэлементной постановке) [16].

Для иллюстрации этого автором выполнена серия подобных экспериментов на базе моделей, описанных ниже.

Моделирование

Для последующего анализа было просчитано несколько десятков вариантов расхождения, прокладки ледового канала и околки судов в различных ледовых и навигационных условиях. Некоторые примеры реализации конечноэлементных моделей показаны на рис.1 – 4.

Рис. 1. Моделирование расхождения судов в тёртых льдах на минимальных траверзных расстояниях

Рис. 2. Моделирование условий столкновения судов в мелкобитых льдах

Рис. 3. Моделирование околки грузового судна в сплошных льдах двумя ледоколами

Рис. 4. Моделирование прокладки канала в сплошных льдах двумя ледоколами способом «борт к борту»

Прототипами модельных судов в численных экспериментах выступили сухогруз с ледовым классом «Ice-1» («Лёд-40») смешанного река-море плавания типа «Сормовский» проекта 1557 и мелкосидящий речной ледокол типа «Капитан Евдокимов» проекта 1191.

В расчётах варьировалась толщина льда (0,2-0,8 м), его раздробленность (тёртый, мелкобитый и сплошной лёд), начальные расстояния между диаметрными плоскостями судов (5-60 м), общие направления взаимодвижения судов и их скорости (1,0-5,0 м/с), количество одновременно маневрирующих судов в зоне взаимодействия (2-3) и законы управления ими («с одерживанием», «без одерживания»). Относительная длина и ширина ледового канала (поля сплошного льда) во всех вариантах незначительно колебалась в пределах 3,5 длины и 6,0 ширины наибольших судов соответственно.

Действие судовых движительно-рулевых комплексов, гидродинамические нагрузки на корпусах судов и ледяном покрове были описаны узловыми силами в соответствии с рекомендациями работы [4].

Расхождение судов в мелкобитых и тёртых льдах

Любое безопасное расхождение можно рассматривать как встречно-параллельное движение судов в пределах строго установленных полос (зон разделения движения). Во льдах этот маневр выполняется только на прямолинейных участках ледовых трасс (ледовых каналов). Уровень безопасности расхождения в этом случае будет определяться маршрутной (створной) устойчивостью каждого судна в данной ледяной среде и траверзным расстоянием между ними. Первый параметр количественно можно оценить через поперечное смещение судна и поведение угла его рыскания, которые непосредственно связаны с законом управления судном.

В общем случае в ледовых условиях недопустимо автоматическое вождение судна, а человеческий фактор всегда вносит в упомянутый закон индивидуальность. Анализ данных натурных наблюдений по эксплуатационной устойчивости на курсе исследуемых судов [9,15] показал, что для условий мелкобитых и тёртых льдов при некотором отработанном, усреднённом и практически реализуемом законе управления движительно-рулевым комплексом угол рыскания не превосходит величины 3,0 градусов с обеспеченностью 95%. С учётом этого на предварительном этапе моделировалось автономное движение судов во льдах с целью отработки закона управления, обеспечивающего натурно подтверждённые параметры их рыскливости. Пример оценки маршрутной устойчивости теплохода типа «Сормовский» в мелкобитых льдах толщиной 0,5 м при их различной сплочённости и раздробленности для нескольких законов регулирования приведён на рис. 5.

Рис. 5. Поведение угла рыскания теплохода типа «Сормовский» в мелкобитых льдах (A-E – мелкобитый лёд различной раздробленности и сплочённости при законе управления «без одерживания»; F – мелкобитый лёд сплочённостью 2 балла при законе управления «с одерживанием»)

Обработка результатов моделирования показала, что в тонких льдах (толщиной до 0,2 м) при выбранных законах управления судов их ледовое взаимодействие при расхождении пренебрежимо мало. Это можно проиллюстрировать графиками, показанными на рис. 6.

а)

б)

Рис. 6. Поведение угла рыскания (а) и поперечного смещения (б) сухогрузов типа «Сормовский» при расхождении в мелкобитых льдах толщиной 0,2 м (А-С – «нерегулярный» мелкобитый лёд сплочённостью 9-10 баллов при различных скоростях расхождения и законе управления «без одерживания»; D – «регулярный» мелкобитый лёд сплочённостью 9-10 баллов при законе управления «без одерживания»)

Анализ зависимостей рис. 6 продемонстрировал, что в указанных ледовых условиях даже при максимальных значениях угла рыскания и поперечного смещения судов (кривые А и С, рис. 6) ширина полосы, занимаемой судном при расхождении, не превысит величины более 1,33 его собственной ширины.

В поведении расходящихся теплоходов в толстых тёртых льдах (толщиной от 0,5 м и более) также не предвидится опасности столкновения даже на минимальных начальных траверзных дистанциях (до 10 м), хотя количественные характеристики маршрутной устойчивости ощутимо ухудшаются по сравнению с аналогичными параметрами в тонких льдах (Рис. 7).

Рис. 7. Поведение угла рыскания (а) и поперечного смещения (б) сухогрузов типа «Сормовский» при расхождении в тёртых льдах толщиной 0,5 м
(А-Н – варианты движения в тёртых льдах сплочённостью 9-10 баллов при различных скоростях судов, дистанциях расхождения и законе управления «без одерживания»)

Численный прогноз показывает, что непосредственно в процессе расхождения максимальный угол зарыскивания судов и их поперечные смещения находятся в пределах 4,0 градусов и 4,0 м соответственно (линии Е, рис. 7). Эти параметры движения порождают почти двукратную ширину ходовой полосы (24,6 м) по отношению к ширине судна.

Высока вероятность неблагоприятной реакции судна при движении в толстых тёртых льдах (особенно на небольших траверзных расстояниях), заключающаяся в «раскате» его кормы в сторону оси ледового канала непосредственно после расхождения теплоходов (Рис. 8). Объяснить это можно тем, что управляемые в соответствии с установленным законом суда стремятся, по-возможности, скорее вернуться на свою створную (маршрутную) линию, смещение с которой в процессе расхождения неизбежно. В этот период дополнительно возрастают угол зарыскивания и поперечное смещение судов (линии В, рис. 7).

Рис. 8. «Раскат» кормы судов после расхождения в толстых тёртых льдах

Для мелкобитых толстых льдов конечноэлементное моделирование нередко предсказывает устойчивый плавный дрейф судов в локальные зоны наименьшего ледового сопротивления, а также значимые случайные «всплески» характеристик рыскливости (Рис. 9).

а)

б)

Рис. 9. Поведение угла рыскания (а) и поперечного смещения (б) сухогрузов типа «Сормовский» при расхождении в мелкобитых льдах толщиной 0,5 м

(А-Н – варианты движения в мелкобитых льдах сплочённостью 9-10 баллов при различных скоростях судов, дистанциях расхождения и законе управления «без одерживания»)

Так, например, в варианте Е (Рис.9) при амплитуде поперечного смещения 7,5 м и угле зарыскивания 5,5 градусов ширина ходовой полосы судна достигает 31,0 м. Поэтому при малых траверзных расстояниях существует вероятность навала судов при расхождении (Рис. 10). В таких льдах рекомендовано выдерживать траверзную дистанцию не менее 25,0-30,0 м.

ICE CAKE PASS D10 V5
Time= 85

Рис. 10. Навал судов при расхождении в толстых мелкобитых льдах

На стеснённых акваториях, покрытых тёртыми льдами, в экстренных случаях безопасное расхождение может быть обеспечено выполнением маневра взаимного «уклонения» судов. Численные эксперименты не обнаружили каких-либо противопоказаний его реализации в данных условиях. Это проиллюстрировано на рис. 11 рядом «кадров» процесса расхождения судов в толстых сильносплочённых тёртых льдах.

PASS DEVIATION10 V5
 Time = 0

time = 0 c

PASS DEVIATION10 V5
 Time = 20

time = 20 c

PASS DEVIATION10 V5
 Time = 40

time = 40 c

$time = 60\ c$

Рис. 11. Расхождение судов в толстых тёртых льдах выполнением маневра «уклонение»
(Закон регулирования судов – «с одерживанием»)

А вот в толстых сильносплочённых мелкобитых льдах описанный выше маневр вряд ли можно рекомендовать как безопасный. Для этих условий численная модель прогнозирует явно чрезмерное сближение судов (Кадр «time = 60 c», рис. 12).

$time = 0\ c$

$time = 23\ c$

ICE CAKE PASS DEVIAT10 V5
Time = 60

time = 60 c

ICE CAKE PASS DEVIAT10 V5
Time = 132.97

time = 133 c

Рис. 12. Расхождение судов в толстых мелкобитых льдах
выполнением маневра «уклонение»
(Закон регулирования судов – «с одерживанием»)

Изначально *большая* неоднородность ледяной среды из мелкобитых льдов по сравнению с *тёртыми* льдами, дополнительно усугубляемая маневрирующими встречными судами, может значительно сказаться и на их ходкости. В примере, показанном на рис. 13, соотношение в достижимых скоростях движения однотипных теплоходов непосредственно на этапе расхождения колеблется в пределах 1,25 - 5,0. Следует отметить, что подобные явления непродолжительны, но в решении краткосрочных задачах безопасности, при экспертной оценке допустимых условий маневрирования игнорирование их некорректно.

Рис. 13. Скорости расходящихся судов в толстых мелкобитых льдах

Прокладка канала в сплошных льдах двумя ледоколами

Результативность такой работы признана эффективной в толстых, предельных и особенно в запредельных по ледопроеходимости ледоколов сплошных льдах [14]. Разновидности совместной прокладки двумя ледоколами преследуют цели ускоренного создания существенно увеличенного по ширине ледового канала, но в то же время достаточного для безопасной проводки транспортного флота по критерию степени раздробленности полученных битых льдов.

Преобладающая часть отечественного грузового флота внутреннего и смешанного плавания имеет допустимое разрешение классификационных обществ на плавание только в мелкобитых и тёртых льдах толщиной не более 0,5 м. Учитывая это, прокладка ледового канала упомянутым способом связана с вероятным движением ледоколов на малых траверзных дистанциях. Последнее уже с позиций безопасности совместного маневрирования ледоколов порождает проблему обоснования выбора этих дистанций. При этом необходимо отметить, что даже одиночно работающий ледокол проекта 1191 на прокладке канала в толстых льдах не отличается удовлетворительной маршрутной устойчивостью, параметры которой к тому же очень чувствительны к выбранному закону регулирования судна (Рис. 14).

Рис. 14. Поведение угла рыскания (А) и поперечного смещения (В) ледокола проекта 1191 в сплошных льдах толщиной 0,5 м

При случайной асимметрии поперечных ледовых нагрузок «ложкообразные» носовые обводы без явно выраженной линии пологого форштевня и наклонные борта в районе цилиндрической вставки корпуса очень хорошо способствуют соскальзыванию носа ледокола в поперечном направлении. Попытки удержания судна на заданной створной линии в режиме движения, близком к «швартовному», и выбранном законе управления («без одерживания») приводят к ощутимым «заносам» кормы и как следствие – углу рыскания ледокола (Линия А, рис. 14).

Как продемонстрировали численные эксперименты, прокладка канала в толстых и предельных сплошных льдах параллельной работой ледоколов на траверзных расстояниях свыше 40 – 45 м не даёт желаемого эффекта. При этом нет выигрыша ни в скорости формирования канала, ни в его качественном состоянии (Рис. 15, 16).

Рис. 15. *Ходкость ледоколов проекта 1191 при их параллельной работе на прокладке канала в сплошных льдах толщиной 0,5 м на траверзном расстоянии 40-45 м*

Рис. 16. *Качественное состояние канала при параллельной работе двух ледоколов проекта 1191 в сплошных льдах толщиной 0,5 м на траверзном расстоянии 40-45 м*

Так данные рис. 15 показывают, что скорости движения ледоколов к началу периода относительно установившегося движения (линии А и В примерно через 1,5 мин от начала расчёта) близки к ходкости этих судов при автономной работе по данным натурных испытаний (линии С и D). К тому же полученный ледовый канал по критерию раздробленности льдов непригоден для проводок исследуемого транспортного флота с низким уровнем ледовых категорий. Для обеспечения требуемого измельчения льда до состояния мелкобитого нужен дополнительный проход ледокола.

Уменьшение траверзного расстояния между ледоколами до 20-25 м с попытками их удержания в пределах маршрутных полос чревато многократными навалами судов (Рис. 17), что вряд ли терпимо с позиций их безопасности.

Рис. 17. Взаимный «свал» ледоколов при их параллельной работе в сплошных льдах толщиной 0,75 м на траверзном расстоянии 20-25 м

На минимальных начальных расстояниях параллельной работы (менее 15-20 м) ледоколы быстро «взаимосваливаются» и далее продолжают своё движение «борт к борту» (Рис. 17). При этом отмечается приемлемое качественное состояние получаемого канала по ширине и раздробленности льдов для проводок транспортных судов (Рис. 18). А скорость его прокладки (линии А и В, рис. 19) возрастает более чем в 1,5 раза против автономной работы одиночного ледокола (горизонтальные пунктиры С и D, рис. 19).

CHANNEL CREATE D20V3
Time = 110

Рис. 18. Качественное состояние канала при работе двух ледоколов проекта 1191 в сплошных льдах толщиной 0,5 м способом «борт к борту»

a)

б)

Рис. 19. Ходкость ледоколов проекта 1191 на прокладке канала в сплошных льдах способом «борт к борту»

(а – толщина льда 0,5 м; б – толщина льда 0,75 м)

Однако следует отметить, что в ледовой практике апробированы, широко применяются и описаны в литературе [9,14,15] только кильватерные счалы ледокольных средств («тандем» и даже в три корпуса). Теоретически обозначенная привлекательность метода работы «борт к борту» требует, как минимум, дискуссионного обсуждения в среде ледовых экспертов и, в первую очередь, с привлечением опытных капитанов ледоколов.

Во всех вариантах в качестве безопасного на прокладке канала зарекомендовал себя метод «уступ» при удовлетворительных параметрах получаемой ледовой трассы (Рис. 20а). Но скорость её формирования даже на минимальных дистанциях с частичной «подколкой» головного судна (Рис. 20б) лимитируется ледовой ходкостью ведущего ледокола (Линия В, рис.

21), которая в этом случае практически не улучшается в сравнении с его автономным режимом работы (Линии С и D, рис. 21).

Рис. 20. Совместная прокладка канала ледоколами проекта 1191
методом «уступ» в сплошных льдах толщиной 0,5 м
(а – без «подколки» ведущего ледокола; б – с «подколкой» ведущего ледокола)

Рис. 21. Ходкость ледоколов проекта 1191 на прокладке канала в сплошных льдах толщиной 0,5 м способом «уступ»

Околка транспортного судна в сплошных льдах

Околка грузового флота является распространённым видом ледокольных услуг при осуществлении ледовых транспортных операций. Оказание помощи неподвижным теплоходам, устойчиво затёртым льдами (на период от нескольких десятков часов до нескольких суток), связано с выполнением ледокольных работ повышенной сложности. Это обусловлено необходимостью маневрирования ледоколов в непосредственной близости от «пленённых» судов.

Однако значительно большую опасность маневрирующий на околке ледокол представляет для малоподвижного судна, перемещающегося с минимально возможной скоростью (менее 0,5 м/с) по уровню ледопроеходимости в предельных сплошных льдах. При этом лёд в ближайших окрестностях судна находится в напряжённо-деформированном состоянии, что может спровоцировать «свал» ледокола на судно.

Как показывает численный эксперимент, повышение эффективности оковки в таких условиях требует прохода ледокола на минимальном расстоянии от транспортного судна (не более 10 м). Но в большинстве расчётных вариантов при любых режимах управления ледоколом («с одерживанием», «без одерживания») в этом случае прогнозируется столкновение судов (Рис. 22). Поэтому в целях обеспечения безопасности следует избегать переключений рулевых органов ледокола, установив их в положение «прямо» при прохождении вдоль борта окальваемого судна. Кроме того, на встречных направлениях (Рис. 22б) следует снизить скорость ледокола до уровня самого малого хода (1,2 -1,5 м/с).

ASSIST D10 V5 ALONG
Time = 95

a)

ASSISTANCE D5 V5
Time = 155

б)

ASSIST D10V5 TWO ICEBREAK
Time = 62

в)

Рис. 22. Столкновение ледокола с малоподвижным судном при его околке в сплошных льдах толщиной 0,5 м

(а – попутная околка одним ледоколом на начальном траверсном расстоянии 10 м;
б – встречная околка одним ледоколом на начальном траверсном расстоянии 5 м;
в – попутная околка двумя ледоколами на начальном траверсном расстоянии 10 м)

Очевидно, что уровень результативности околки грузового судна будет определяться режимом восстановления скорости его движения по заданной маршрутной полосе. Для исследуемого типа транспортного флота эта полоса как эффективная среда движения допускает наличие льдов только тёртых и мелкобитых фракций при их толщине не более 0,5 м. Не всякая работа ледоколов на околке только за один проход может привести к такому состоянию льда в целевом направлении (Рис. 23).

Рис. 23. Восстановление хода транспортного судна при различных режимах его околки ледоколами проекта 1191 в сплошных льдах толщиной 0,5 м

Анализ зависимостей, приведённых на рис. 23, показывает, что совместная оковка судна ледоколами с обоих бортов, как правило, способствует более быстрому самостоятельному (без буксировки) освобождению и восстановлению его эффективного хода (не менее 0,5 м/с, линии С и Е, рис. 23). Однократный проход ледокола с какого-либо борта транспорта далеко не всегда обеспечивает достижение этой цели (линии А и В, рис. 23).

Выводы

1. Потребность в численном прогнозе последствий совместного маневрирования судов во льдах на малых расстояниях обусловлена неспособностью автономных аналитических методик к описанию динамики развития подобных процессов.
2. Тонкие льды различной степени раздробленности и толстые тёртые льды не представляют опасности для расходящихся судов (в том числе и при экстренном расхождении маневром «уклонение»).
3. В толстых мелкобитых льдах требуется выдерживать межстворную дистанцию расхождения транспортных судов не менее 30 м. Экстренное маневрирование «уклонением» не рекомендовано.
4. Ледокол проекта 1191 имеет неудовлетворительную маршрутную устойчивость в толстых сплошных льдах.
5. Безопасную работу при совместной прокладке канала ледоколами проекта 1191 обеспечивает метод работы «уступ» при удовлетворительных параметрах получаемой ледовой трассы.
6. Теоретическую эффективность прокладки ледового канала в толстых и предельных льдах двумя ледоколами проекта 1191 продемонстрировал приём работы «борт к борту».
7. Наибольшая эффективность и достаточная безопасность оковки малоподвижного транспортного судна в толстых сплошных льдах обеспечивается одновременной работой с его обоих бортов двумя ледоколами на минимальном траверзном расстоянии (до 10 м) при попутном движении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В.А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. Л.: Судостроение. 1986. – 207 с.
2. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
3. Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968. – 238 с.
4. Лобанов В.А. Оценки ледовых качеств судов с применением САЕ-систем: монография / В.А. Лобанов. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 296 с.
5. Лобанов В.А. Применение САЕ-систем для оценки ледовых качеств судна. Ходкость. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 29. – Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – с. 23-39.
6. Лобанов В.А. Разработка с применением САЕ-систем нормативных документов по безопасности ледового плавания судна //Интернет-журнал «Наукоедение». 2013 №4 (17) [Электронный ресурс].-М. 2013. – с. 1-14. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
7. Лобанов В.А. Численная оценка ледовых качеств судна. Управляемость. Вестник научно-технического развития. Электронный журнал, ISSN 2070-6847, № гос. рег. 0421200120, №8, 2012. – с. 18-34. – Режим доступа: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=619>
8. Пересыпкин В., Цой Л., Шурупяк В. Международный Полярный Кодекс: российские предложения. // Морской флот. – 2012. - №4. – с. 15-18.
9. Разработать требования к транспортным судам для обеспечения их работы в ледовых условиях и при устойчивых отрицательных температурах воздуха. Заключительный отчёт о научно-исследовательской работе по теме №XV-2.2/77-396. Научные рук. – Баев А.С., Малый П.А. – Л.: ЛИВТ, 1980. – 209 с.
10. Рывлин А.Я., Хейсин Д.Е. Испытания судов во льдах. – Л.: Судостроение, 1980. – 208 с., ил. – ИСБН.
11. Сазонов К. Е. Управляемость судов во льдах: методы определения ледовых сил, действующих на движущийся по криволинейной траектории корпус, и зависимости показателей поворотливости судов от характеристик корпуса и внешних условий : диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук : Специальность 05.08.01 – теория корабля и строительная механика / Гос. науч. центр РФ.- Санкт-Петербург, 2004.- 285 с.
12. Сандаков Ю.А. Об определении полного ледового сопротивления речных судов в битых льдах // Тр. ГИИВТА. Судовождение на внутренних водных путях. Горький, 1971. Вып. 116. ч. 2. с. 85 – 89.
13. Солдаткин О.Б. Влияние ширины ледового канала на сопротивление движению транспортного судна // Сбор. науч. тр. ГИИВТА. Маневрирование судов в сложных условиях плавания. Горький, 1988. Вып. 254. с. 108 – 114.

14. Тронин В.А. Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с.
15. Эксплуатационно-технические испытания транспортных и ледокольных судов в ледовых условиях с разработкой предложений, обеспечивающих их круглогодичную эксплуатацию. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме №XV-3.2/794147. Научные рук. – Тронин В.А., Богданов Б.В. - Горький.: ГИИВТ, 1981. – 262 с.
16. Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – 498 p.

Рецензент: Клементьев Александр Николаевич, профессор, доктор технических наук, Волжская государственная академия водного транспорта.

Lobanov Vasily Alekseevich
Volga State Academy of Water Transport
Russia, Nizhniy Novgorod
E-mail: lobbas@mail.ru

Vessels joint maneuvering in ices at small distances

Abstract. The present article develops a series of the publications of the author devoted to research of ice performances of icebreaking and transport fleet inland and mixed the river-sea of navigation with use of modern CAE-technologies capabilities. On concrete examples it is shown that at impossibility of carrying out full-scale natural tests of courts in ice conditions reliable and inexpensive alternative of these tests is virtual modeling of process. In work the scope of actual works of the motion and joint maneuvering of vessels in various ice and navigation conditions is considered: an evaluation of safe conditions of a passing in the ice cake and small ice cake; prediction of speed of create and a qualitative condition of the ice channel in thick and limit fast ices at various policy strokes of operation of several icebreakers; efficiency and safety of an ice crushing icebreaking devices of the inactive transport vessel in fast ices. According to the analysis of results of multiple CAE-modeling concrete recommendations for the studied cargo fleet of various ice categories at the choice of safe distances of a passing, laws of regulation of vessels, performance of standard maneuvers are made. At an evaluation of efficiency and safety of work of shallow-draft river icebreaking fleet on an crushing of ice near the transport vessel and on create of channels the preference is given to collaboration of two ice breakers on minimum the distances by four-point bearing and the «aboard» method according to.

Keywords: vessel; icebreaker; ice performances; ice condition; ice navigation safety; CAE-systems; finite element modeling.

REFERENCES

1. Zuyev V.A. Means of extension of navigation on inland waterways. L.: Shipbuilding. 1986. – 207 pages.
2. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ice propulsion ability of vessels. The 2nd edition corrected. – SPb.: Shipbuilding, 2014. – 504 pages, silt.
3. Kashtelyan V. I., Poznyak I.I., Ryvlin A.Ya. Ice resistance to the motion of the vessel. – L.: Shipbuilding, 1968. – 238 pages.
4. Lobanov V. A. Evaluation of ice performances of vessel with use of CAE-systems: monograph/ V. A. Lobanov. – N. Novgorod: Publishing house of FSFEIHE «VSAWT», 2013. – 296 pages.
5. Lobanov V. A. Use of CAE-systems for an evaluation of ice performances of the vessel. Propulsion ability. Bulletin of the Volga state academy of a water transport. Release 29. – N. Novgorod: Publishing house of FSFEIHE «VSAWT», 2011. – page 23-39.
6. Lobanov V. A. Development with use of CAE-systems of normative documents on safety of ice navigation of the vessels// Electronic scientific edition of «Naukovedenie». 2013 No. 4 (17) [An electronic resource]. - M 2013. – page 1-14. – Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>, free – Name from the screen.
7. Lobanov V. A. Numerical evaluation of ice performances of the vessel. Controlability. Messenger of scientific and technical development. Electronic magazine, ISSN 2070-6847, No. state. per. 0421200120, No. 8, 2012. – page 18-34. – Access mode: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=619>
8. Peresyphkin V., Tsoi L., Shurupyak V. International Polar Code: Russian offers.//Navy. – 2012. - No. 4. – page 15-18.
9. To develop requirements to transport vessels for ensuring their work in ice conditions and at steady negative air temperatures. Final report on research work on a subject No. XV-2.2/77-396. Scientific hands. – Bayev A.S., Malyy P. A. – L.: LIVT, 1980. – 209 pages.
10. Ryvlin A.Ya., Heysin D.E. Tests of vessels in ices. – L.: Shipbuilding, 1980. – 208 pages, silt. – ISBN.
11. Sazonov K. E. Controlability of vessels in ices: methods of calculation of the ice forces operating on the case moving on a curvilinear trajectory, and dependence of indicators of maneuverability of vessels on characteristics of the case and external conditions: the thesis on competition of an academic degree of the Doctor of Engineering: Specialty 05.08.01 – the theory of the ship and construction mechanics / State Scientific Russian Federation center. - St. Petersburg, 2004. - 285 pages.
12. Sandakov Yu.A. About determination of full ice resistance of river vessels in ice cake//Work of GIIVT. Navigation on inland waterways. Gorky, 1971. Pb. 116. v. 2. page 85 – 89.
13. Soldatkin O. B. Influence of width of the ice channel on resistance to the movement of the transport vessel//Collecting scientific work of GIIVT. Maneuvering of vessels in difficult conditions of navigation. Gorky, 1988. Pb. 254. page 108 – 114.
14. Tronin V.A. Increase of safety and efficiency of ice navigation of vessels on inland waterways: the thesis on competition of an academic degree of the Doctor of Engineering: specialty 05.22.16 – Navigation / Gorky, 1990. – 414 pages.

15. Operational and technical tests of transport and icebreaking vessels in ice conditions with development of the offers providing their full-time operation. Report on research work on No. XV-3.2/794147 subject. Scientific hands. – Tronin V.A., Bogdanov B. V. - Gorky.: GIIVT, 1981. – 262 pages.
16. Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – 498 p.