

Анализ мировых тенденций развития анаэробных установок для неатомных подводных лодок

Современные отечественные и зарубежные неатомные подводные лодки (НАПЛ) являются боеспособным и высокоэффективным средством вооруженной борьбы на море и представляют собой подвижные платформы, способные нести разнообразное оружие, а также совершать длительное плавание в отрыве от мест базирования. В настоящее время ПЛ российских и иностранных фирм мало отличаются друг от друга или сопоставимы по архитектуре, водоизмещению, оснащению высокоточным оружием, включая ракеты различного класса, способных поражать любые морские и наземные цели, а также по живучести, надежности, радиоэлектронному вооружению и т.д.

Боевая эффективность дизельных подводных лодок (ДПЛ) постоянно зависит от необходимости периодически подзаряжать аккумуляторные батареи с помощью устройства РДП. Для этого ПЛ приходится подвсплывать на перископную глубину, что снижает скрытность их действий и повышает вероятность обнаружения. Как правило, время нахождения современных ДПЛ под РДП на разных этапах выполнения боевой задачи (переход, патрулирование в заданном районе) составляет от 7 до 20% времени плавания в подводном положении в целом, т.е. ежедневно ДПЛ затрачивают 2–5 часов на подзарядку. При несении дежурства в зоне патрулирования со скоростью 2–4 уз они могут находиться в подводном положении до 4 сут. Однако при этом их аккумуляторные батареи разряжаются примерно на 80%, и подзарядка требует фактически значительно большего времени. Кроме того, ограниченность энергетических запасов ДПЛ не позволяет использовать их в арктических районах, покрытых льдами.

Проблема увеличения продолжительности подводного плавания без частого подвсплытия для зарядки аккумуляторных батарей может быть решена за счет применения анаэробных (воздухонезависимых) энергетических установок (ЭУ) мощностью от 100 до 300 кВт. Срок автономности – 720 ч.

Анализируя современный уровень создания анаэробных ЭУ, необходимо отметить отставание России в решении данного вопроса от передовых промышленно развитых стран. За рубежом первые анаэробные ЭУ для ПЛ появились в 80–90-х гг. прошлого века. В настоящее время в Германии, Швеции, Франции, Италии, США созданы, прошли испытания и серийно производятся анаэробные энергоустановки на основе дизелей, двигателей Стирлин-

АНАЭРОБНЫЕ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ДВИГАТЕЛЕЙ СТИРЛИНГА – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНОГО КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ В XXI В.

*Н.Г. Кириллов, д-р техн. наук, заслуженный изобретатель РФ
ООО «Инновационно-исследовательский центр «Стирлинг-технологии»»*

га, парогазовых турбин и электрохимических генераторов.

ВМС Германии с 1998 г. приступили к строительству четырех подводных лодок пр. 212, которым предусмотрено оснащение лодки гибридной энергетической установкой, включающей аккумуляторные батареи и анаэробную установку на базе топливных элементов, разработанных по технологии фирмы «Siemens». Благодаря анаэробной установке ПЛ сможет находиться в подводном положении до 20 сут., что значительно повысит ее скрытность и боевые возможности. Первая ПЛ пр. 212 вошла в состав флота уже в 2005 г.

Группой фирм, входящих в кораблестроительный концерн «DCN», для французской подводной лодки «Agosta-90B» разработана парогенераторная анаэробная ЭУ типа «MESMA» (Module D'Énergie Sous Marine Autonome). Полномасштабный береговой опытный образец анаэробной ЭУ был пущен в эксплуатацию еще в 1998 г. По данным концерна «DCN», выходная мощность «MESMA» составляет 200 кВт, что позволяет увеличить дальность подводного плавания в 3–5 раз при средней скорости 4–5 уз.

Рядом зарубежных компаний (Англия, Италия и др.) в 70-х гг. прошлого века были выполнены исследования по созданию ПЛ с такими установками на основе дизелей замкнутого цикла (ДЗЦ). Полученный опыт позволил итальянской фирме «Мариталиа» создать серии боевых подводных лодок – сверхмалых «3-GST9», малых «LWT-27», средних и больших «20-GST48». На них применялись технология GST и анаэробные установки на основе ди-

зелей замкнутого цикла. Кроме итальянцев, разработка энергоустановок на основе дизеля, работающего по замкнутому циклу, велась фирмой «RDM» (Голландия) совместно с фирмами «CDSS» (Великобритания) и «TNSW» (ФРГ), которые изготовили и испытали установку «Spectre». Ее пытались внедрить в новое семейство ПЛ «Moraу» и предлагали для модернизации ПЛ класса «Walrus». На германской ПЛ «U-1» пр. 205 в 1993 г. проходили морские испытания этой установки. В настоящее время фирма «CDSS» ликвидирована, а установка «Spectre» продана южнокорейской фирме «Hyundai».

Существуют проекты оснащения НАПЛ анаэробными установками на основе малых атомных реакторов. Специалисты канадской фирмы «Эннерджи конверин системз» разработали анаэробную ЭУ для ДПЛ на основе малогабаритного ядерного реактора. За прототип взят маломощный исследовательский реактор на медленных нейтронах «Слоупоук». Его электрическая мощность – до 400 кВт, дальность плавания – до 1000 сут. при работе на полную мощность. Подводные лодки, оснащенные малогабаритными ядерными реакторами, по существу, останутся дизельными. Эти установки предполагается поставлять в виде отдельной секции, полностью подготовленной к врезке в корпуса существующих ПЛ или к сборке строящихся.

Наибольших результатов в разработке установок на основе двигателя Стирлинга достиг шведский концерн «Kockums Submarin Systems», построивший три ПЛ класса «Gotland» типа А19. На ПЛ устанавливается два дви-

гателя «V4-275R» по 75 кВт. Три подводные лодки типа «Gotland» были построены фирмой «Kokums» в 1992–1996 гг. Длина субмарин – 60,4 м, подводное водоизмещение – 1599 т. Экипаж – 27 чел., в том числе пять офицеров. Вооружение: 4×533-мм и 2×400-мм торпедных аппарата. Скорость полного подводного хода – 20 уз. При использовании двигателя Стирлинга лодки могут находиться под водой без подзарядки аккумуляторных батарей до 20 сут.

Модификации этого двигателя используются на французской ПЛ «Saga» и модернизированной шведской ПЛ «Naesken» типа А14. При переоборудовании в прочный корпус ПЛ непосредственно за ограждением рубки была сделана вставка длиной 8 м с двумя двигателями Стирлинга мощностью по 110 кВт, работающими на привод генераторов постоянного тока. Запас жидкого кислорода позволяет находиться ПЛ «Naesken» под водой без всплытия до 14 сут.

Россия пока не имеет реально действующих аналогов данных образцов специальной военной техники, более того еще не выработана четкая концепция создания отечественных анаэробных ЭУ. Это связано прежде всего с тем, что резкое снижение финансирования в 1990–2000 гг. привело к значительному уменьшению активности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по данной тематике, а также с тем, что Минобороны РФ не сделало окончательного выбора типа вспомогательной воздухонезависимой ЭУ.

По мнению ведущих специалистов, уже в ближайшие пять – семь лет НАПЛ без анаэробной установки не сможет в полном объеме выполнять стоящие перед ней боевые задачи в условиях усиливающейся противолодочной борьбы. Соответственно, подводные лодки, представляемые российскими фирмами на экспорт, без анаэробных ЭУ будут не конкурентоспособны на мировом рынке морского вооружения. Все это приводит к необходимости активизации как теоретических, так и экспериментальных работ по созданию перспективных анаэробных ЭУ для отечественных подводных лодок.

СТИРЛИНГ НАЧИНАЕТ И ВЫИГРЫВАЕТ

Проведенный специалистами ООО «ИИЦ «Стирлинг-технологии» анализ перспектив развития различных типов двигателей конца XX – начала XXI вв. показывает, что наибольший интерес представляют собой двигатели, работающие по циклу Стирлинга. Это подтверждает тот факт, что в настоящее время в мире именно на основе двига-

телей Стирлинга проектируется и эксплуатируется наибольшее количество анаэробных ЭУ на ПЛ.

Разработанные специалистами ООО «Стирлинг-технологии» технические решения и опытные образцы двигателей Стирлинга являются основой для создания анаэробных установок и единых двигателей Стирлинга для отечественных ПЛ, что позволит сделать технологический рывок по отношению к основным зарубежным конкурентам на мировом рынке неатомных подводных лодок в XXI в.

Пока командование военно-морских флотов мира относится к ПЛ с анаэробными установками достаточно настороженно. И дело здесь не столько в консерватизме, сколько в отсутствии окончательного выбора типа вспомогательной воздухонезависимой ЭУ. Сегодняшние анаэробные установки по принципу действия значительно отличаются друг от друга. Однако из четырех существующих типов этих установок основными являются двигатели Стирлинга и электрохимические генераторы. Опыт эксплуатации действующих установок и интуиция ведущих ученых позволяют в настоящее время уже твердо сказать, что чаша весов склоняется в пользу анаэробных установок с двигателями Стирлинга. Об этом свидетельствует события во взаимоотношениях основных зарубежных фирм, включившихся в гонку за создание НАПЛ на основе двигателей Стирлинга.

Именно шведы, из-за которых ныне кипят нешуточные страсти, открыли в подводном кораблестроении эру вспомогательных анаэробных ЭУ. В 1988 г. головная субмарина типа «Наккен» была переоборудована под двигатели Стирлинга. С ними она прошла под водой более 10 000 ч без существенных замечаний. И если «Наккен» – первый опытный корабль этого подкласса, то субмарины типа «Готланд» стали первыми в мире серийными ПЛ с анаэробными установками, которые позволяют им находиться под водой 20 сут. Стоимость такой установки – около 40 млн. долл. США, что практически в три раза ниже стоимости анаэробной аналогичной установки с ЭХГ немецкой компании «HDW» для пр. 212 (в среднем – около 120 млн. долл. США).

Так, при модернизации двух ПЛ типа А-17 («Севермендланд» и «Вастерготланд») в лодки были врезаны 10-метровые отсеки с анаэробными установками на основе двигателей Стирлинга типа «Мк-3». Общая стоимость проекта составляла 73 млн. долл. США. При ходовых испытаниях в 2004 г. благодаря наличию анаэробных установок лодки провели в подводном плавании 14 сут. Серийное

производство двигателей Стирлинга типа «Мк-3» налажено в компании «Кокумс» с 2002 г. Согласно зарубежным данным, новая шведская подводная лодка XXI в. «Викинг», создаваемая совместно рядом скандинавских стран, будет оснащена единым двигателем Стирлинга большой мощности.

Первыми после шведов перспективность анаэробных установок на основе двигателей Стирлинга поняли японцы. Еще в середине 90-х гг. прошлого века главными подразделениями министерства обороны Японии по строительству подводных лодок компании «Кавасаки дзюкоге» и «Мицубиси дзюкоге» были закуплены по лицензиям и запущены в серийное производство эти двигатели. Для разработки технологии их применения в 2000–2001 гг. на верфи «Кобе» фирмой «Мицубиси дзюкоге» была оснащена ПЛ «Асасио» ЭУ замкнутого цикла с таким двигателем. Для этого между жилым и двигательным отсеками был врезан 9-метровый блок с анаэробной установкой на основе двигателя Стирлинга. Ходовые испытания прошли «на отлично». Поэтому уже в 2003 г. японские ПЛ типа «Оясисо» начали строиться с такими установками. Первая ПЛ из этой серии «Нарусисо» (№ 595) в 2004 г. была передана ВМС Японии. В настоящее время эти фирмами разработан проект новой ПЛ водоизмещением 3500 т, оснащенной подобной установкой.

Японские компании не только переняли шведские технологии, но пошли дальше – создали единый двигатель Стирлинга. ДПЛ с легкой руки японских специалистов уходит в историю. Именно для новой ПЛ с единым двигателем фирмой «Mitsubishi» создан и прошел успешные стендовые испытания двигатель Стирлинга мощностью более 600 кВт. В качестве рабочего тела двигателя используется азот.

Затем к проектам анаэробных установок на основе двигателя Стирлинга пытались подключиться французы. И, несмотря на агрессивную кампанию «DCN» по рекламированию ЭУ «Месма», французская фирма не рассчитывала на большой успех. Понимая перспективность применения двигателя Стирлинга для современных ПЛ, представители «DCN» в 1998 г. провели переговоры со шведским «Кокумсом» о создании совместного предприятия по проектированию перспективной лодки, которую планировалось предложить на рынок после 2010 г. Однако немцы пресекли это намерение.

В 2004 г. к анаэробным ЭУ на основе двигателей Стирлинга вернулись и немцы, ранее активно продвигавшие ЭХГ компании «Siemens». Напомним, что еще в 1990 г. фирма «MAN» (Гер-

мания) заключила соглашение со шведскими фирмами о техническом сотрудничестве в разработке двигателей Стирлинга для перспективных НАПЛ. Очевидно, после создания анаэробной установки с ЭХС для НАПЛ пр. 212 немецкие инженеры убедились в коммерческой несостоятельности данного проекта. Сейчас немцы срочно меняют ориентацию: ЭХГ на двигатель Стирлинга. Так, в начале 2004 г. Европейская комиссия одобрила слияние шведской кораблестроительной компании «Кокумс нэйвал системз» с германской верфью «Ховальдтсверке Дойче верфт» (HDW). Цель этой сделки – приобретение стирлинг-технологии для немецких подводных лодок.

По некоторым данным, сейчас компания «MAN» для перспективных ПЛ разработала двигатель Стирлинга мощностью 700 кВт, а фирма «Моторен унд турбинен юнион» на конкурсной основе разработала проект энергетической установки для ПЛ с двумя двигателями Стирлинга общей мощностью 2100 кВт.

И, наконец, последними из мировых держав окончательный выбор по типу анаэробной установки сделали американцы. Их решение однозначное – двигатели Стирлинга. Для этого в 2005 г. ВМС США планируют взять в лизинг шведскую ПЛ типа «Gotland», оснащенную вспомогательной воздухо-независимой установкой Стирлинга. Как сообщает журнал «Jane's Defence Weekly», субмарина будет использоваться для отработки противолодочных операций кораблями американского флота. Лодка будет приписана к военно-морской базе в Сан-Диего (штат Калифорния), где находится недавно образованное командование противолодочной войны. ВМС США в последнее время вновь стали проявлять повышенное внимание противолодочной обороне. Это объясняется стремительным ростом военно-морских сил Народно-освободительной армии Китая и прежде всего количественным увеличением и повышением качества подводного флота КНР. Подводная лодка типа «Gotland» нужна США и для освоения современных технологий неатомного подводного судостроения. Дело в том, что администрация США давно обещала Тайваню поставить ПЛ, отвечающие требованиям сегодняшнего дня. Но до сих пор выполнить своего обещания она не смогла, поскольку американские верфи не строят дизель-электрические лодки почти 50 лет и не владеют соответствующими технологиями. В прошлом году американская корпорация «Northrop Grumman» и шведская фирма «Kokums», построившая ПЛ типа «Gotland», подписали соглашение о сотрудничестве. Теперь в рамках это-

го сотрудничества американские специалисты получают возможность в деталях изучить конструкцию новейшей субмарины шведского флота. А помогут им в этом шведские моряки, которые будут нести службу на лодке вместе с американскими коллегами.

Шведские технологии получают широкое распространение не только в развитых странах. Уже говорилось, что по проекту и при участии шведской фирмы «Kokums» в Австралии началось строительство шести лодок типа «Коллинз». Для этого в г. Аделаида специально создана компания «Острэлиан сабмарин корпорейшн» («ASC»). Недавно Таиланд заявил о намерении приобрести три ПЛ типа Т-96 (экспортный вариант «Gotland», адаптированный для тропических условий). Сингапур закупил у шведских ВМС четыре модернизированные ПЛ «Шеормен».

Стремление создания субмарин с АНЭУ на основе двигателей Стирлинга ведущих стран мира имеет простое объяснение. На кону – мировой рынок ПЛ XXI в., а это без малого около 400 лодок до 2030 г. Козырями картами в борьбе за выигрыш, несомненно, станут субмарины с анаэробными установками на основе двигателей Стирлинга. По мнению ведущих специалистов, данные субмарины уже в настоящее время по своим характеристикам не только приблизились к атомоходам, но по некоторым показателям даже превосходят их. Так, в ходе двух учений в Атлантике, прошедших в 2003 г., шведская ПЛ «Халланд» «победила» в дуэльной ситуации испанскую субмарину с обычной дизель-электрической установкой, а затем и французскую АПЛ. Она же в Средиземном море одержала верх в «схватке» с американской АПЛ «Хьюстон». При этом необходимо отметить, что малозумный и высокоэффективный «Халланд» стоит в 4,5 раза дешевле своих атомных соперников.

Безусловно, во всех ведущих странах мира совершенствование анаэробных установок сегодня находится в числе критически важных военно-морских технологий. В России же работы по созданию энергоустановок на основе двигателей Стирлинга не ведутся, а зря! Для всех очевидно, что в обозримом будущем Россия из-за дефицита финансовых ресурсов не будет способна строить и вводить в строй нужное количество атомных субмарин. Их вполне способны заменить значительно более дешевые ПЛ нового типа.

ПОЧЕМУ ВЫИГРЫВАЮТ ДВИГАТЕЛИ СТИРЛИНГА?

При приблизительно одинаковом уровне оружия и радиоэлектронного

вооружения большинства ПЛ западно-европейских стран – основных поставщиков ПЛ на мировом рынке – конкурентоспособность перспективных ПЛ будет во многом определяться типом двигателя, примененного в анаэробной ЭУ.

От всех известных преобразователей энергии прямого цикла (дизелей, паровых и газовых турбин, карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, ЭХГ и др.), которые могут использоваться в составе анаэробных установок, двигатели Стирлинга выгодно отличает целый ряд качеств, которые обуславливают перспективу их применения на НАПЛ:

- практическая бесшумность в работе из-за отсутствия взрывных процессов в цилиндрах двигателя, а также клапанного механизма газораспределения и достаточно плавного протекания рабочего цикла при относительно равномерном крутящем моменте, что напрямую влияет на акустическую скрытность ПЛ – главную составляющую обобщенного показателя;

- высокий КПД (до 40%), что значительно превосходит КПД лучших образцов дизелей и карбюраторных ДВС;

- возможность изготавливать двигатели Стирлинга многотопливными, т.е. использовать в качестве горючего несколько типов углеводородного топлива (соляр, сжиженный природный газ, керосин и др.), что повысит боевую устойчивость НАПЛ;

- возможность использования уже существующей береговой инфраструктуры флота при эксплуатации двигателей Стирлинга, работающих на традиционном топливе, в отличие от ЭХГ; более того, при необходимости возможна организация базирования НАПЛ в недостаточно оборудованных пунктах, т.е. НАПЛ не будет «привязана» к существующим базам ВМФ, что существенно повысит ее мобильность и боевую устойчивость;

- моторесурс современных двигателей Стирлинга составляет от 20 до 50 тыс. часов, что от 3 до 8 раз превышает срок жизни ЭХГ (около 6 тыс. часов);

- применение двигателей Стирлинга позволит при полном сроке эксплуатации ПЛ (25–30 лет) сократить необходимое количество ПЛ на 35–40%, по сравнению с практикой применения анаэробных установок с ЭХГ и т.д.

По мнению специалистов ООО «Исследовательско-инновационного центра «Стирлинг-технологии», двигатель Стирлинга – наиболее конкурентоспособный для анаэробных ЭУ в силу указанных выше преимуществ. Более того, если сегодня рассматриваются установки, увеличивающие подводную автономность до 30–45 сут. на режи-

мах экономического хода, то в недалеком будущем двигатель Стирлинга можно рассматривать как единый всережимный источник энергии, обеспечивающий и подводный, и надводный ход во всем диапазоне нагрузок.

Приведенные здесь преимущества двигателей Стирлинга по сравнению с другими преобразователями энергии прямого цикла позволяют рекомендовать его как универсальный для всех типов НАПЛ – малого, среднего и большого водоизмещения, а также для большинства типов подводных аппаратов, использование которых возможно в интересах геологоразведки, освоения континентального шельфа, экологического мониторинга, ликвидации последствий аварий на море и т.д.

Отечественный ВМФ является одним из значительных потребителей НАПЛ с анаэробными ЭУ для использования их на Балтийском, Черном и дальневосточных морях. Общая потребность ориентировочно составляет 10–20 ед. (по некоторым оценкам, до 20–30 ед.). Весьма крупным рынком сбыта НАПЛ с двигателями Стирлинга будет международный рынок вооружений, где начиная с 2005–2030 гг. ожидается устойчивое повышение спроса на НАПЛ со стороны стран Латинской Америки, Юго-Восточной Азии и Ближнего и Среднего Востока. В целом, ориентировочная рыночная ниша составляет от 300 до 400 ПЛ при средней стоимости ПЛ 400–450 млн. долл. США.

Данный прогноз строится с учетом того, что в 1972–1985 гг. Германией и СССР интенсивно строились и продавались в большом количестве немецкая ДЭПЛ типа «209» и советская класса «фокстрот» (пр. 641), которые поставлялись на экспорт в страны НАТО, Варшавского Договора, Индии, Китая и другие страны «третьего мира». В настоящее время ДЭПЛ входят в состав 30 флотов зарубежных стран. Поскольку срок службы этих ДЭПЛ – около 30 лет, можно ожидать, что с 2005 г. большинство вышеперечисленных стран будут приобретать новые НАПЛ вместо устаревших, исчерпавших свой ресурс.

Перспективы создания отечественных НАПЛ с двигателями Стирлинга.

В настоящее время для России складывается драматическая ситуация на внешнем рынке. По мнению главного редактора австралийского военного журнала «Эйша-Пасифик дифенс репортер» А. Грэзбрука, после поглощения «Ховальдтсверке» шведского

«Kokums» на международном рынке субмарин «HDW» способны реально противостоять только лодки разработки российского КБ «Рубин». Но после 2005 г. немцы, проведя беспрецедентно активную рекламную кампанию по созданию НАПЛ с анаэробными установками и имея «в запасе» подлодки с двигателями Стирлинга, получают фору и начнут теснить российские кораблестроительные компании.

В условиях обострения конкурентной борьбы, очевидно необходимо срочно форсировать работы по созданию российских проектов ПЛ на основе двигателей Стирлинга. Лишь в этом случае страна не утратит своих позиций и не позволит конкуренту стать монополистом на мировом рынке ПЛ.

ООО «ИИЦ «Стирлинг-технологии» – единственная в России в области корабельных энергоустановок организация, обладающая реальным опытом проектирования таких ЭУ двигателей для ПЛ. В настоящее время специалистами разработано и запатентовано более 40 технических решений по созданию анаэробных установок на основе двигателей Стирлинга для ПЛ, специальных фортификационных сооружений и орбитальных космических станций.

В многолетних теоретических работах были сформулированы основные принципы и концепция развития корабельных ЭУ с двигателями Стирлинга, которые обеспечат многомесячное непрерывное подводное плавание ПЛ при безусловной безопасности эксплуатации ЭУ, а также накоплен значительный задел по основным системам и оборудованию энергоустановок с двигателями Стирлинга, включая различные варианты систем производства и хранения горючего и окислителя, в частности, природного газа и кислорода. Были рассмотрены баллонное хранение реагентов в газообразном состоянии под давлением 40 МПа; криогенное хранение СПГ и кислорода. Разработаны новые типы дешевых криогенных баков с пенополиуретановой теплоизоляцией и композитными оболочками. Поскольку ЭУ с двигателями Стирлинга относятся к классу нетрадиционных энергоустановок, использующих при работе такие компоненты, как СПГ и кислород, в ходе разработки особое внимание уделялось пожаровзрывобезопасности (ПВБ), а также базовому (наземному) обеспечению ЭУ горючим и окислителем.

Отличительными особенностями разработанных принципиальных схем анаэробным ЭУ с двигателями Стир-

линга и дизельным топливом, эксплуатируемых на ПЛ шведской фирмы «Kokums», являются применение горючего XXI в. – сжиженного природного газа (СПГ), что облегчает процесс утилизации продуктов сгорания углеводородного топлива и обеспечивает снижение следности ПЛ, температуры теплоносителя контура охлаждения двигателя Стирлинга ниже температуры окружающей среды (заборной воды), а, следовательно, способствует повышению КПД двигателя Стирлинга и др.

Предлагаемые технические решения перспективных анаэробных ЭУ для ПЛ в полной мере отражает современное состояние и тенденции развития мирового научно-технического прогресса в области подводного кораблестроения, топливно-энергетического комплекса РФ и ее промышленности.

Выбор в качестве горючего СПГ определяется его уникальными физико-химическими свойствами, громадными разведанными и разработанными запасами природного газа, развитой сетью доставки газа от месторождений во многие регионы страны по магистральным газопроводам и низкой ценой

При создании и эксплуатации ПЛ с анаэробными установками на основе двигателей Стирлинга, работающих на криогенном топливе, одной из главных проблем является создание береговой инфраструктуры производства, хранения и заправки анаэробных установок компонентами криогенного топлива. Перспективное криогенное топливо состоит из горючего-сжиженного природного газа (СПГ) и окислителя – жидкого кислорода. Если говорить о жидком кислороде, то накопленный в России опыт его производства и транспортировки позволяет без особых трудностей решить проблему его доставки к местам базирования ПЛ. В то же время у нас практически отсутствует промышленное производство СПГ. Поэтому наиболее остро стоит вопрос о создании береговой инфраструктуры производства сжиженного природного газа.

Проведенные специалистами ООО «ИИЦ «Стирлинг-технологии» исследования показали, что данная проблема может быть решена за счет применения криогенных машин Стирлинга (КГМ Стирлинга). В настоящее время создан необходимый научно-технический и патентный задел, позволяющий решение стоящей проблемы в кратчайшие сроки. ■

Обеспечение первичными энергоресурсами играет ключевую роль в мировой энергетике. Для России, одного из основных мировых экспортеров углеводородного сырья, добыча энергоресурсов означает обеспечение уверенного на данном этапе экономического роста и относительного благополучия граждан.

В настоящее время особый акцент делается в сторону освоения шельфовых месторождений, что обусловлено постепенным истощением континентальных запасов сырья при постоянно растущем на него спросе. Но даже значительная капиталоемкость освоения континентального шельфа не снижает его привлекательности для инвесторов и важности для государства.

В России прогнозируемые объемы добычи газа после 2010 г. (рис.1) будут большей частью обеспечены за счет освоения месторождений на шельфе арктических морей, прежде всего Баренцева моря, в акваториях Обской и Тазовской губ Карского моря, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, а также на п-ове Ямал (рис. 1, 2).

КОМПЛЕКСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ШЕЛЬФОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЭК

К.А. Смирнов, генеральный директор
ЗАО «Морские Навигационные Системы»,
А.О. Попко, канд. воен. наук

На шельфе Баренцева моря открыты месторождения с суммарными балансовыми запасами нефти свыше 100 млн. т. Разработаны планы освоения запасов Чукотки (суммарные извлекаемые запасы нефти – 110 млн. т). В Ямало-Ненецком АО и прилегающей акватории Карского моря – 20–30 млрд.

т нефтяных запасов. Потенциальные запасы России на Каспийском шельфе оцениваются в 1 млрд. т, на шельфе Сахалина – около 4 млрд. т (рис. 2).

Опыт последних лет показывает, что инфраструктура топливноэнергетического комплекса (ТЭК) является одним из наиболее уязвимых звеньев в общей структуре безопасности и экономического благополучия государства и его граждан. В последнее время в мире значительно выросла доля потерь добывающих компаний в результате действий международных организованных террористических групп.

В большей степени эта угроза затрагивает политически нестабильные регионы, такие как Ближний Восток, зона Персидского залива, Африка, Индия, страны Южной и Латинской Америки. Противоправные действия в отношении отрасли, не в пример 90-м гг., теперь редко носят организованный и тем более санкционированный кем-то характер.

Возможные угрозы шельфовой и прибрежной инфраструктуры ТЭК можно подразделить на следующие:

- техногенная;
- террористическая;
- военная;
- критическое воздействие природных факторов.

В данной статье внимание будет уделено противодействию террористической угрозе как одному из наиболее актуальных и менее изученных на сегодняшний день аспектов обеспечения безопасности морских объектов ТЭК.

Говоря о возможной террористической угрозе, следует понимать, что теракты на объектах повышенной опасности могут иметь катастрофические последствия, связанные не только с гибелью людей и порчей имущества, но и с нарушением, а то и уничтожением окружающей экосистемы и срывом международных обязательств РФ.

Созданная коллективом ЗАО «Морские навигационные системы»

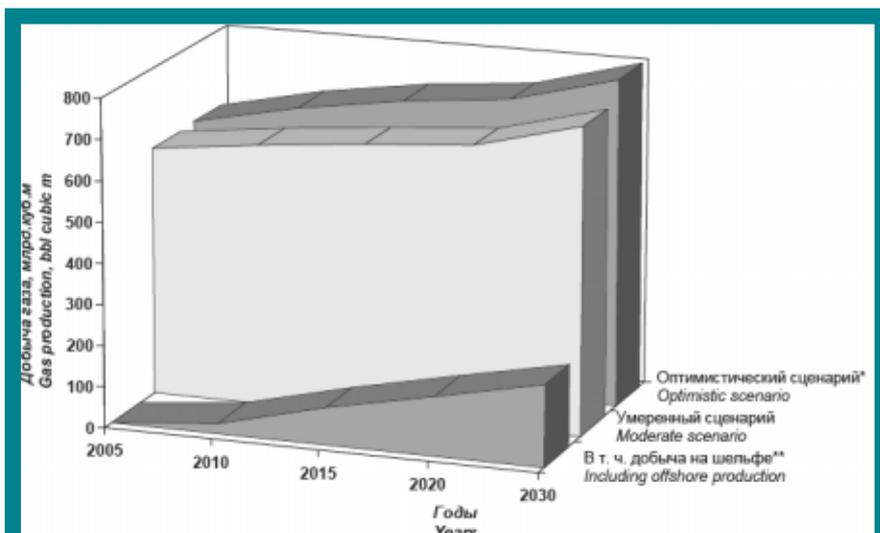


Рис. 1. Объемы добычи газа в целом по РФ, в том числе на шельфе

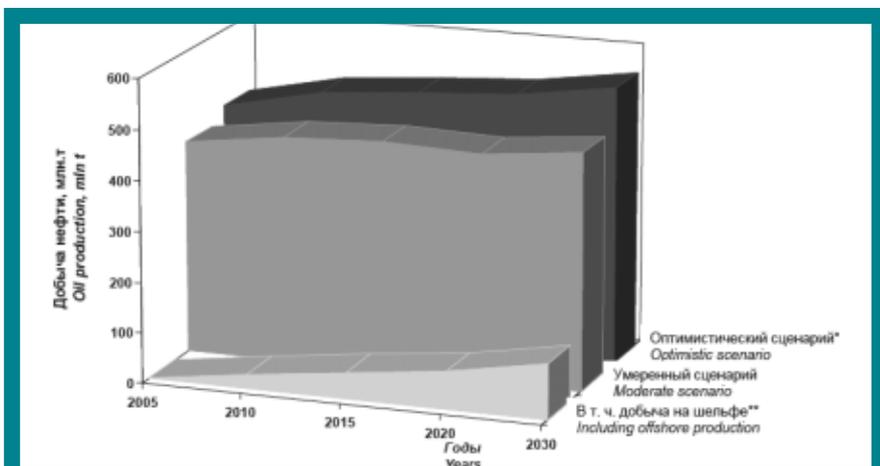


Рис. 2. Добыча нефти в целом по РФ, в том числе и на шельфе

концепция обеспечения безопасности объектов особой важности предлагает минимизировать угрозу как от возможной атаки террористов, так и от угрозы техногенного характера.

По мнению разработчиков концепции, основа безопасности любого объекта базируется на следующих принципах:

- своевременное обнаружение и скорейшая классификация угрозы;
- межведомственное взаимодействие при противодействии угрозе;
- «прозрачность» окружающей обстановки для подразделений охраны и спец. подразделений силовых ведомств.
- дублирование линий управления, источников информации и целеуказания.

Структурной единицей системы безопасности морского месторождения, по мнению авторов, должен стать интегрированный комплекс технических средств безопасности (ИКТСБ), представляющий собой комплексную систему управления ситуационного центра.

Коллектив ЗАО «Морские навигационные системы», имеющий многолетний опыт проектирования и производства интегрированных мостиковых систем, создал во многом похожую систему и для морских стационарных объектов.

ИКТСБ (рис. 3) строится на базе типовых операторских дисплейных модулей (ОДМ) и предназначена для выполнения следующих операций:

- непрерывное наблюдение за воздушной, надводной и подводной обстановкой;
- оперативное управление персоналом в чрезвычайной ситуации;
- непрерывная автоматизированная передача данных о состоянии объекта

в региональный антитеррористический центр;

- анализ радиоактивного фона и газового состава воздуха;
- классификация целей, выработки необходимых данных для принятия оператором решения на реагирование в чрезвычайной ситуации;
- выдача целеуказания в сопрягаемые системы и подразделениям охраны;
- автоматизация контроля и управления доступом;
- управление объектовой сигнализацией;
- организация связи и передачи данных;
- комплексное представление информации оператору ИКТСБ;
- экстренное управление системами жизнеобеспечения объекта;
- борьба за живучесть объекта;
- нелетальное воздействие на нарушителей.

ОДМ – центральная часть интегрированной системы, предназначенная для сбора, обработки и представления гидроакустической, радиолокационной, картографической информации, информации от систем видеонаблюдения и многих других систем на тактическом дисплее, а также управления системами жизнеобеспечения, связи и средствами самообороны. ОДМ построен на базе компьютеров морского исполнения, одобренных военной приемкой. В настоящее время ЗАО «МНС» установило такие интегрированные ОДМ в составе интегрированных систем собственного производства на всех военных кораблях, построенных для ВМФ с 2004 г. по настоящее время (2008 г.).

Область применения ИКТСБ не ограничивается лишь объектами неф-

тегазодобычи, с ее помощью можно обеспечивать безопасность любого особо важного объекта или объекта повышенной опасности.

Принципы построения ИКТСБ:

1. Комплексность – сочетание разных типов и видов систем обнаружения, идентификации и воздействия.

2. Устойчивость и централизованность управления; управление техническими средствами охраны производится с интегрированного пульта ситуационного центра или резервного пульта управления и отображения. ИКТСБ обеспечивает оперативное автоматизированное взаимодействие со специальными подразделениями и региональными частями силовых ведомств.

3. Эшелонированность – строится по эшелонированному принципу, заключающемуся в создании нескольких рубежей охраны.

4. Гибкость конфигурации, т.е. возможность дооснащения системы, ее модернизации.

ИКТСБ ведет непрерывное наблюдение за надводной и подводной обстановкой, при этом математическое обеспечение системы рассчитано с учетом следующих видов нападения:

- быстроходного катера;
- пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов;
- самоходных подводных аппаратов (автономные и телеуправляемые);
- «боевого пловца» в различных типах снаряжения;
- средств доставки «боевых пловцов» (буксировщики, мини ПЛ);
- тренированных морских животных (дельфины, тюлени);
- плавучих мин, взрывных устройств;
- облака сильнодействующих ядовитых (радиоактивных) веществ (табл.).

Наблюдение в *дальней зоне (зоне предупреждения)* протяженностью 2–20 км осуществляется:

- радиолокационными станциями РЛС ОВНЦ – (З, 10 см) с дальностью обнаружения до 20 км;
- доплеровскими РЛС с повышенной разрешающей способностью;
- системой охранного видеонаблюдения морского исполнения;
- патрулированием на катере оснащенном аппаратурой радиационного и газового анализа и многолучевым эхолотом (рис.4).

Данные о цели поступают от источников информации на пульт ИКТСБ, где автоматически выполняется первичная классификация угрозы; все объекты, обнаруженные средствами обнаружения, принимаются за угрозу по умолчанию. После окончательной классификации угрозы оператор может с санкции регионального антитеррористического центра «снять» угрозу. В случае подтверждения угрозы автоматически производится выда-



Рис. 3. Образец ИКТСБ на базе трех ОДМ

МОРСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО



Продукция «МНС» – весь спектр навигационного оборудования. Среди многочисленных заказов, выполненных нашими работниками, более 600 оснащенных кораблей и судов.
ЗАО «МНС» предоставляет услуги:

- проектирование,
- комплексирование изделий,
- разработка программного обеспечения,
- монтаж оборудования,
- пусконаладочные работы,
- проведение швартовых и ходовых испытаний,
- гарантийное и послегарантийное обслуживание.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОСТИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Наряду с использованием современного зарубежного оборудования, ЗАО «МНС» интенсивно ведет разработки собственной продукции, и сегодня таких изделий уже около тридцати. Прежде всего это ИМС – интегрированные мостиковые системы для кораблей и судов. Интеграция оборудования в ИМС не только обеспечивает современный дизайн ходового мостика, но и формирует автоматизированные рабочие места командного состава с представлением информации по состоянию корабля и окружающей обстановке на многофункциональных дисплеях. ИМС повышают безопасность и эффективность управления судном, уменьшают количество персонала. Разработан и активно внедряется эргономичный дизайн – это отделка секций древесины ценных пород, улучшающая как внешний вид, так и способствующая психологической разгрузке персонала.



МОБИЛЬНЫЙ
КОМПЛЕКТ
ФЛАГМАНСКОГО
ШТУРМАНА



САРП И ЭКНИС
ТРЕНАЖЕРНЫЙ
КОМПЛЕКС



ЭКНИС
«АЛЕСКА-Э»

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Важной продукцией ЗАО «МНС» является электронно-картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС). Сочетание многофункциональности с удачным интерфейсом делает систему удобной в обращении. Она сопрягается с аналоговыми и цифровыми датчиками, используется как автономно, так и в составе ИМС. Отличительная особенность наших ЭКНИС – возможность совместной работы в сетевом варианте.

БОЛЕЕ 20-ти НАИМЕНОВАНИЙ ПРИБОРОВ, ТАКИХ КАК:



СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ
ТАХОМЕТРОВ



УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ
СИГНАЛАМИ МАНЕВРУКАЗАНИЯ
И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ



УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ
ПИТАНИЯ



МАШИННЫЙ ТЕЛЕГРАФ
ДЕВЯТИКОМАНДНЫЙ

Изделия судовой автоматики: В первую очередь это микропроцессорные модульные комплексы «MANAGER 10 и 300», локальные и комплексные системы контроля и управления судовыми техническими средствами (КСУ ТС). Предприятие изготавливает системы машинных и рулевых телеграфов на современной элементной базе, обеспечивающие связь между постами по помехоустойчивой цифровой линии и выдачу информации в регистрирующие устройства. Налажено производство компактных блоков питания MNS-302, MNS-303, устройстве контроля питания MNS-202 (MNS-202-1), а также NMEA-размножителей MNS-201M и MNS-201-1M, востребованных современным приборостроением.

За 15 лет работы ЗАО «МНС» приобретен прочный международный авторитет на морском рынке. Мы являемся надежными партнерами таких известных компаний, как Jotron, Kelvin Hughes, Kongsberg Maritime, Autronica Fire and Security, Maritime Pusnes, Phontech, Raytheon Anschuetz, Reson, SELCO, Wynn, Zollner и других.

На военно-морском рынке вооружений компания также занимает видное место, участвуя в большинстве проектов кораблей для ВМФ России и ВМС-импортеров.



Россия, Санкт-Петербург,
ул. Промышленная д.19

тел.: (7-812) 320-38-40
факс: (7-812) 320-38-48

email: mns@mail.wplus.net
<http://www.mns.spb.ru/>

Основные характеристики объектов подводной угрозы

Основной параметр	Подводные аппараты	Пловец в снаряжении		Средства доставки пловцов	Морские животные
		«закрытого» типа	«открытого» типа		
Размер цели R_{Σ} , м	0,2	0,1	0,2	0,5	0,1
Скорость движения, м/с	3	1	1	3	8
Уровень маневренности	Высокий	Высокий	Высокий	Средний	Очень высокая
Гидроакустический шум	Средний	Средний	Средний	Средний	Средний
Уровень акустического сигнала, dB	-15	-25	-20	-15	-25
Уровень магнитного сигнала, nT	20	0	10	20	0
Уровень электрического сигнала, mA	120	0	60	90	0

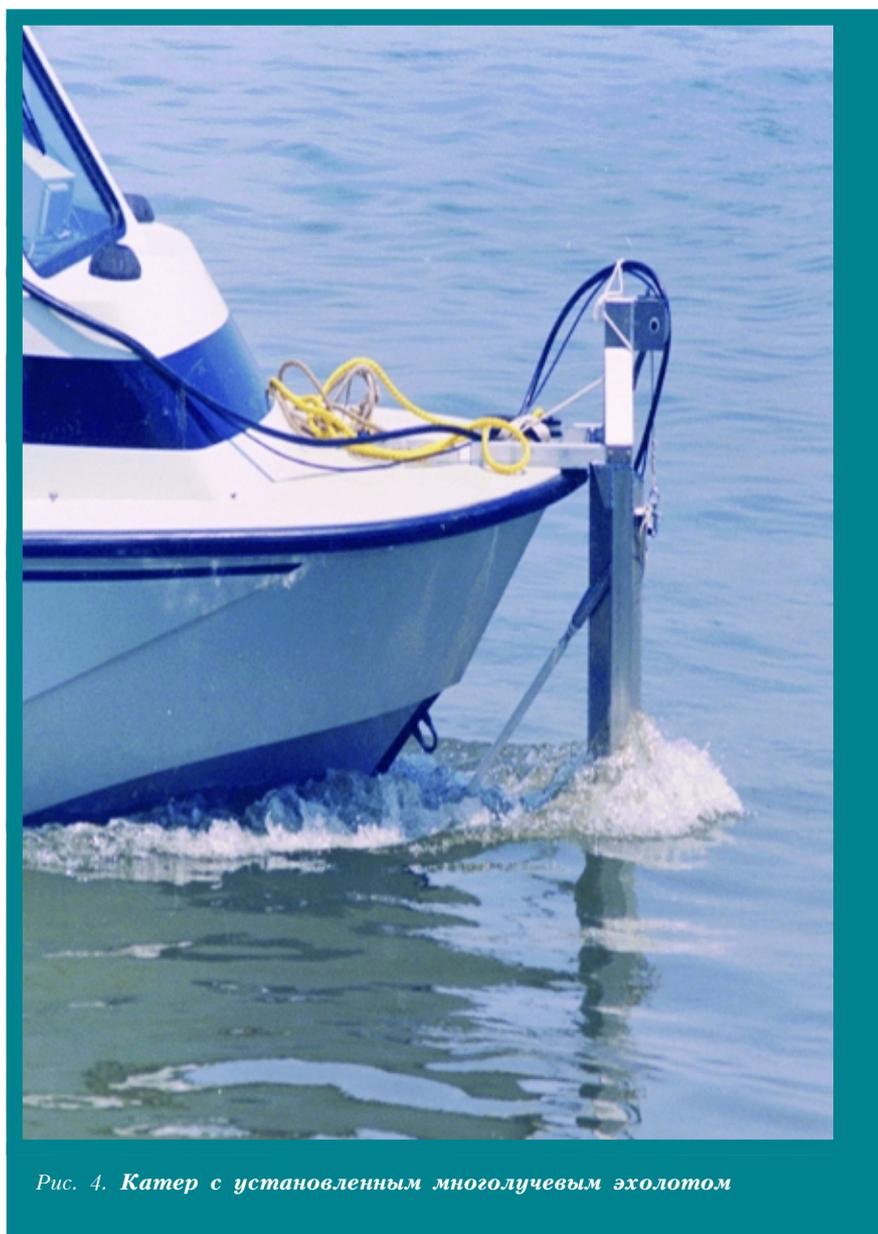


Рис. 4. Катер с установленным многолучевым эхолотом

ча целеуказания подразделениям охраны и частям силовых ведомств.

Средняя зона – зона реагирования протяженностью 500–2000 м включает в себя области, находящиеся под наблюдением следующих средств обнаружения:

- первый гидроакустический периметр – замкнутый периметр, образованный характеристиками направленности выносных акустических глубоководных устройств (ВАГУ) (рис.5), т.е. донных гидроакустических станций, обеспечивающих освещение подводной обстановки на удалении до 2000 м от объекта. Как правило, обнаружение боевых пловцов достигается на дистанциях до 1000 м; обнаружение малоразмерных подводных аппаратов – на дистанции свыше 1000 м.
- РЛС 8-миллиметрового диапазона (рис.6) с дальностью действия – не менее 6 км без осадков, и до 3,5 км при дожде интенсивностью 16 мм/ч.
- система охранного видеонаблюдения морского исполнения, включающая инфракрасный диапазон.

При нахождении угрозы в средней зоне оператор ситуационного центра обеспечивает проведение необходимых организационно-технических мероприятий для приведения объекта в состояние готовности к чрезвычайной ситуации. Подготавливаются средства нелетального воздействия на нарушителя. Оказывается содействие подразделениям охраны.

Ближняя зона протяженностью до 500 м – зона самообороны, целеуказание в которой осуществляется средствами, аналогичными используемым в средней зоне, но при этом в состав

оборудования зоны самообороны дополнительно входят: комплекс средств нелетального воздействия на нарушителей; аппаратура радиационного и газового анализа.

В зоне внутреннего периметра действуют:

- система охранной сигнализации включает в себя охранно-тревожную сигнализацию и охранную сигнализацию внешнего конструктивного контура (периметра);
- специализированная пожарная сигнализация (система пожаротушения) для морских и нефтегазовых объектов;
- система охранного видеонаблюдения с автоматическим определением движущихся целей и выдачей тревожного оповещения;
- средства газового анализа и радиационного контроля;
- система контроля и управления доступомСКУД;
- система управления ИКТСБ на базе ОДМ.

- производится передача координат для перехвата на катер (судно) подразделений охраны или группы быстрого реагирования;
- осуществляется управление элементами системы обороны (средствами нелетального воздействия).

Связь с внешними силами реагирования осуществляется через ситуационный центр. С этой целью в состав ИКТСБ включаются:

- аппаратура тревожных функционально дублированных каналов радиотелефонной связи с региональным антитеррористическим центром, в том числе по каналам спутниковой сети;
- средства связи ГМССБ;
- тревожная кнопка.

ИКТСБ обеспечивает блокировку доступа в охраняемые зоны и проведение необходимых организационно-технических мероприятий, предусмотренных службой безопасности в чрезвычайных ситуациях. В части слежения средствами зрительного наблюдения производится автоматическое наведение телевизион-

После нейтрализации угрозы оператор ситуационного центра «отключает цель» – снимает угрозу, приводит в нормальный режим работы систему контроля и доступа.

ИКТСБ, включенная в иерархическую структуру региональной системы наблюдения за объектами повышенной опасности, разработкой которой ведутся специалистами нашей компании, в состоянии предупредить и предотвратить попытки совершения противоправных действий в отношении как персонала, так и имущества объекта.

ИКТСБ является унифицированным структурным звеном, позволяющим объединить контроль безопасности большого числа разноплановых по назначению объектов. На примере шельфовой инфраструктуры ТЭК это могут быть:

- стационарные морские платформы;
- стационарные морские отгрузочные причалы;
- морские трубопроводы;
- морские отгрузочные терминалы;
- буровые установки;
- подводные добычные комплексы.

Объединение в единую систему по территориальному принципу обеспечит эффективное межведомственное взаимодействие силовых ведомств при возникновении угрозы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы V Российско-Норвежской конференции «Партнерство на Севере», 29–31 января 2007 г.
2. Язев В. Энергетическая безопасность: обязательства России // Экономика России – XXI век. – № 21.
3. Дорофеев В.Ю. Определение эффективности подводных технических средств обеспечения безопасности // Морской вестник. – 2007. – № 24. ■

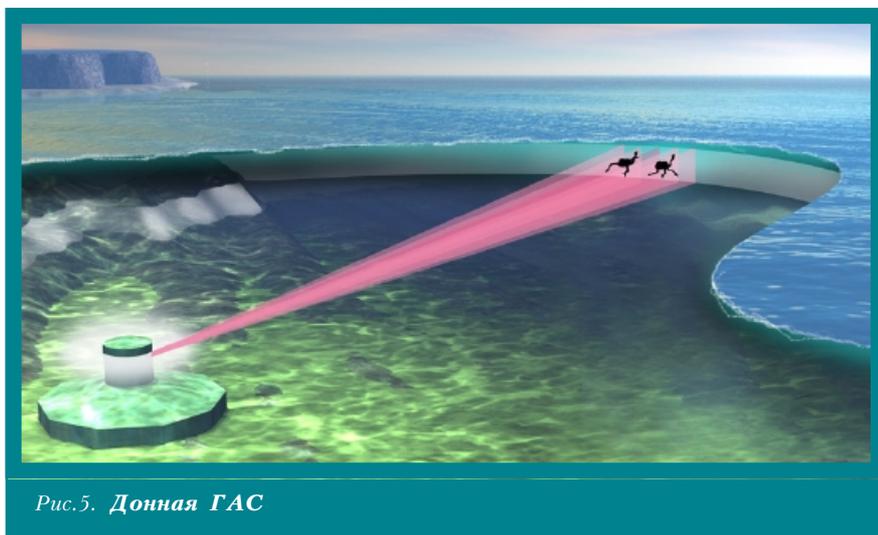


Рис. 5. Донная ГАС

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ИКТСБ

Информация об окружающей обстановке анализируется оператором на центральном пульте ситуационного центра, при этом осуществляется:

- постоянное сканирование охранной зоны радиолокационными, оптическими и гидроакустическими средствами;
- обнаружение целей при входе в охранную зону с выдачей сигнала в ситуационный центр;
- отсеивание ложных сигналов и возможная классификация целей;
- автоматический захват и сопровождение объектов с передачей данных в пост контроля;
- отображение траектории движения, расчет элементов движения целей;

Оператор, приняв решение, подтверждает наличие угрозы или нет. В случае утверждения угрозы:

- объявляется тревога подразделениям охраны;

ных камер, обеспечивающее секторный обзор угрожаемого направления.



Рис. 6. РЛС 8-миллиметрового диапазона

Работа над международным документом по утилизации судов ведется в Международной морской организации (ИМО) Комитетом по охране морской среды (МЕРС) в соответствии с резолюцией А.981(24) «Новый инструмент по утилизации судов, имеющий обязательный правовой статус» (New Legally Binding Instrument on Ship Recycling), принятой 1 декабря 2005 г. на 24-й сессии Ассамблеи ИМО.

Работа ИМО по утилизации судов началась за несколько лет до принятия указанной резолюции. В 2003 г. была завершена работа по созданию Руководства ИМО по утилизации судов (ИМО Guidelines on Ship Recycling), Резолюции А.962(23). На 53-й сессии МЕРС (18–22 июля 2005 г.) были разработаны возможная структура будущего обязательного документа и проект соответствующий резолюции для 24-й сессии Ассамблеи ИМО.

В Резолюции А.981(24) отражена причина разработки обязательного документа. В ней сказано, что для ИМО назрела срочная необходимость «способствовать выработке эффективного решения вопроса разделки судов, которое эффективно сведет к минимуму риски для окружающей среды, охраны труда и безопасности, связанные с разделкой судов, принимая во внимание в то же самое время особенности мирового морского транспорта и необходимость обеспечения безболезненного изъятия судов, достигших конца своего срока службы». Кроме того, Резолюция А.981(24) определила и содержание будущей конвенции. В нее должны быть включены правила:

«1) Для проектирования, постройки, эксплуатации и подготовки судов так, чтобы обеспечить безопасную и разумную с точки зрения окружающей среды разделку судов, не снижая безопасность и эксплуатационную эффективность судов;

2) Для работы средств разделки судов безопасным и разумным с точки зрения окружающей среды образом и

3) Для установления соответствующего механизма принуждения к выполнению требований по разделке судов (требований к освидетельствованию/сообщениям)».

На 56-й сессии МЕРС (9–13 июля 2007 г.) работа по утилизации судов велась в соответствии с 3-м пунктом повестки дня.

По этой теме на МЕРС 56 в ИМО было представлено 25 документов, в том числе документ МЕРС 56/3, раз-

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ МОРСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ* ПО РАЗРАБОТКЕ КОНВЕНЦИИ ПО БЕЗОПАСНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ СУДОВ

А.Р. Тогуниц, канд. техн. наук, зав. отделом, ОАО «Гирторьбфлот»
С.А. Воробьев, ст. эксперт, ГУ РМРС

работанный Норвегией и содержащий проект Конвенции по безопасной и экологически рациональной утилизации судов (Конвенция) как результат работы корреспондентской группы.

9 июля на пленарном заседании было принято решение организовать рабочую группу (WG) по утилизации судов под представительством Й.Х.Коэфоода (J.H.Koefoed, Норвегия), перед которой стояли задачи

– продолжить разработку текста Международной конвенции по безопасной и экологически рациональной утилизации судов на основе обновленного текста, содержащегося в приложении 2 документа МЕРС 56/3, принимая во внимание комментарии, сделанные на пленарном заседании, и предложения, содержащиеся в документах МЕРС 56/3/1, МЕРС 56/3/7, МЕРС 56/3/9 (Япония), МЕРС 56/3/8 (Международный морской комитет, СМІ), МЕРС 56/3/10 (Норвегия), МЕРС 56/3/12 (Дания), МЕРС 56/3/13, МЕРС 56/3/14 (Индия), МЕРС 56/3/16 (Бельгия и Нидерланды), МЕРС 56/3/17 (Секретариат Базельской конвенции, ВС) МЕРС 56/3/18, 56/3/19 (США), МЕРС 56/3/21, МЕРС 56/3/23 (Великобритания), МЕРС 56/3/23 (Международная организация труда, ІЛО) и МЕРС – ISRWG 2/2 (Норвегия);

– продолжить разработку проектов

руководств по безопасной и экологически рациональной утилизации судов на основе документов МЕРС 56/3/4, МЕРС 56/3/5 (Япония), МЕРС 56/3/6 (США), МЕРС – ISRWG 2/3 (Дания) и оставшихся руководств для Конвенции на основе документов МЕРС 56/3/2 (Япония и Германия), МЕРС 56/3/3, МЕРС 56/3/15 (Япония), МЕРС 56/3/11 (ІАСС), МЕРС 56/3/9, МЕРС 56/3/20 (СІF) и МЕРС 56/3/25 (ІСS, ВІМСO, ІNТERTANKO, ІNТERCARGO, ІРТА)**;

В ходе заседания WG представители Российской Федерации (авторы статьи) в дискуссии по ст. 2 («Определения») высказались за использование в п. 10 «Судно» термина «морской» и за отказ от термина «водная среда». Указанное уточнение позволит ограничить область распространения Конвенции только морские суда, оставив суда внутреннего плавания под национальными законодательствами.

Такой подход поддержало большинство делегаций, и WG согласилась с этим решением. Для Российской Федерации это значит упрощение в будущем формальностей и процедур при утилизации судов. Однако такая возможность оправдана только при условии разработки соответствующего отечественного технического регламента по утилизации судов всех ведомств

* Опубликовано в сборнике «Безопасность мореплавания и ведения промысла», 2007 г., вып. 124.

** ІАСС – Международная ассоциация классификационных обществ; ІСS – Международная палата судоходства;

ВІМСO – Балтийский и международный морской совет; ІNТERTANKO – Международная ассоциация независимых владельцев танкеров; ІNТERCARGO – Международная ассоциация владельцев сухогрузных судов; ІРТА – Международная ассоциация по танкерам для перевозки мелких партий грузов.

со строгим государственным надзором за его выполнением.

Представители Российской Федерации в ходе работы WG поддержали предложение США (MEPC 56/3/18) по утилизации судов на безопасных и экологически рациональных утилизирующих предприятиях в государствах, не являющихся сторонами Конвенции. Двусторонние отношения стран – сторон Конвенции и стран, не присоединившихся к Конвенции, не нарушая экологическую безопасность, не исключать из производственного процесса утилизирующие страны, для которых это направление работ является социально значимым. Кроме того, наличие предприятий, удовлетворяющих требованиям Конвенции, будет стимулировать другие предприятия стремиться к такому же уровню и получать соответствующие заказы. При этом государства, где будут расположены такие предприятия, будут более благосклонно относиться к ратификации Конвенции. Предложение США также поддержала Индия. Против предложения выступили представители Норвегии, Японии, Германии, Дании, Турции, Мальты, Нидерландов, полагая, что последствия предложения еще далеко не ясны. Было решено не делать на этой сессии окончательных выводов.

Для справки: согласно отчету французского межминистерского комитета по разделке судов, около 95% тоннажа разделываемых судов в 2006 г. приходилось на пять государств: Бангладеш (68,14%), Индию (18,40%), Пакистан (3,73%), Китай (3,59%) и Турцию (0,55%).

Из вопросов, в настоящее время считающихся решенными, следует отметить нераспространение будущей Конвенции на военные корабли (Ст. 2, п. 2). Несмотря на это, Дания продолжает настаивать на включении военных кораблей в область распространения Конвенции. При этом она ссылается на ВС, которая якобы такие корабли охватывает, в результате чего в перспективе появится двойное регулирование утилизации судов. Возражение Дании не вызвало дискуссии, однако было отражено в докладе MEPC 53/WR.10, п. 3.25. Позиция делегации Российской Федерации остается по этому вопросу неизменной: военные корабли должны остаться за рамками Конвенции. Эта позиция при необходимости будет выражена и аргументирована. Распространение разрабатываемой Конвенции на военные корабли блокирует ее ратификацию со стороны многих стран и тем самым не дает возможности ей вступить в

силу. В то же время не вызывает сомнений необходимость информирования соответствующих служб ВМФ России о готовящейся Конвенции с целью использования ее содержания в разработке отечественных нормативных документов. Термин «двойное регулирование», используемый Данией, в данном случае нельзя признать корректным, так как разрабатываемая Конвенция не будет предъявлять к военным кораблям каких-либо требований и, следовательно, не войдет в противоречие с ВС ни прямо, ни опосредованно.

Будущая Конвенция будет работать в правовом поле не только совместно с ВС и конвенциями ILO. Для заполнения пробелов в существующем международном праве и обеспечения международных правил, обеспечивающих эффективное удаление остатков затонувших судов, расположенных за пределами территориальных морей, на дипломатической конференции в Кении (14–18 мая 2007 г.) принята Международная конвенция по удалению обломков (Nairobi International Convention on the Removal of Wreck, 2007). Формулировки этой конвенции решено использовать для составления ст. 15 «Отношение к международным правом и другими международными соглашениями» разрабатываемой Конвенции. Ст. 15 исключает беспокойство о вмешательстве Конвенции в сферу UNCLOS*. Кроме того, в дальнейшем под эгидой ВС планируется разработка руководства по обращению с судами, оставленными на суше или в портах (MEPC 13/17, п. 11).

Рабочая группа по утилизации выполнила задание MEPC и в срок представила отчет о работе (MEPC 56/ WP5).

В центре дискуссии по отчету WG на пленарном заседании оказался рабочий план дальнейших действий (MEPC 56/WR.5, п. 33). Делегация Российской Федерации отметила, что текст проекта Конвенции до представления на дипломатическую конференцию необходимо представить в Юридический комитет (LC) для проверки точности терминов. Кроме того, нашей делегацией было указано, что решать вопрос о сроке дипломатической конференции целесообразно после завершения работы над проектом текста Конвенции, т.е. после MEPC 58, а не MEPC 57. Делегация высказалась за возобновление работы корреспондентской группы, а также за созыв третьей встречи объединенной рабочей группы ILO/IMO/BC(JWG). По этому вопросу выступило более двадцати делегаций. По назначению сроков дипло-

матической конференции Россию поддержали Италия, Аргентина, Сингапур и Иран. Большинство делегатов выступило за сохранение рабочего плана в том виде, в каком он был представлен в докладе WG. Председатель MEPC внес ясность, отметив, что план может быть уточнен после MEPC 57. MEPC согласился провести третью встречу JWG с принимающей стороной в лице ILO в Женеве, которая может состояться в 2008 г. Кроме того, было принято решение о проведении третьей межсессионной встречи рабочей группы до следующей сессии MEPC. После MEPC 56 были уточнены место и даты этой встречи – с 21 по 25 января 2008 г. в Нанте, Франция.

Вопрос утилизации судов и кораблей является актуальным для Российской Федерации как с практической, так и с правовой точки зрения. Оставленные на берегу или затопленные суда и корабли представляют большую опасность для окружающей среды, а также для мореплавания. По данным информационного центра «Рыбные ресурсы» (www.fishres.ru), только на Северном флоте насчитывается около 120 кораблей, требующих утилизации. По всем флотам таких кораблей около 400. Если к этому количеству добавить суда торгового и рыбопромыслового флотов, а также суда внутреннего плавания, то количество объектов, требующих утилизации, возрастет многократно. Несмотря на очевидную злободневность, вопрос об утилизации судов в отечественном законодательстве не решен. Наше законодательство имеет те же пробелы и недостатки, которые наблюдаются на международном уровне и которые стремятся устранить IMO, BC и ILO, а именно отсутствие:

- ответственности судовладельцев за оставленные и утонувшие суда;
- четкого правового механизма вывода судов из эксплуатации с обязательной передачей их на утилизирующее предприятие;
- закона (технического регламента) об утилизации судов всех ведомств и форм собственности с перечнем мер по принуждению к исполнению закона;
- системы сертификации утилизирующих предприятий и надзора за исполнением требований по экологически рациональной утилизации.

Несомненно, что конвенции и руководства IMO, BC и ILO станут в ближайшем будущем теми документами, на которые будут опираться разработчики отечественного технического регламента по утилизации судов. ■

* UNCLOS – Конвенция ООН по морскому праву, 1982 г.

25 января 2008 г. члену редколлегии нашего журнала крупному ученому-кораблестроителю профессору Санкт-Петербургского государственного морского технического университета Юрию Ивановичу Нечаеву исполнилось 75 лет.

Ю.И. Нечаев – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, академик Российской Академии естественных наук, в 2007 г. удостоен диплома и медали как выдающийся ученый XXI в. (Кембридж, Англия), а его биография в 2006 и 2007 гг. включена в книгу «Кто есть кто в мире» (Нью-Йорк, США).

Ю.И. Нечаев родился 25 января 1933 г. в городе Верея Московской области в семье интеллигенции. Отец – селекционер, репрессирован в 1937 г., проходил по делу Вавилова в связи со «лженаукой» – генетикой. Мать – учительница, долгое время работала директором школы. В память об отце Ю.И. Нечаев уже много лет читает лекции «Генетические алгоритмы» как раздел общего курса «Системы искусственного интеллекта» в СПбГМТУ и в Бременском университете (Германия).

Ю.И. Нечаев – автор около 500 научных работ и изобретений, в том числе 16 книг и монографий. Четыре монографии и более 100 работ опубликовано за рубежом (Англия, Германия, Голландия, Испания, Италия, Норвегия, США, Япония и др.). Ю.И. Нечаев – участник разработки важнейших научно-технических программ в области вооружения и военной техники, в том числе и системы управления космическим комплексом «Буран». Выиграл конкурсы на создание алгоритмов контроля динамики подводных лодок и посадки летательных аппаратов корабельного базирования. После развала страны в течение ряда лет работал с фирмами Великобритании, Италии и США по проблемам создания бортовых интеллектуальных систем реального времени. Алгоритм расчета устойчивости на волнении, разработанный Ю.И. Нечаевым в его докторской диссертации, уже много лет используется в Англии, Германии, Испании, США и Японии, а в 2007 г. принят в международной практике в качестве эталона при тестировании современных программных средств исследования динамики корабля на волнении.

К 75-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА Ю.И. НЕЧАЕВА



Ю.И. Нечаев выступает с докладом, посвященным концепции и новым принципам создания бортовых интеллектуальных систем, Хьюстон, США, 2007 г.

Как заведующему кафедрой, директору по научной работе, директору главному конструктору Специального конструкторского бюро информационно-управляющих систем Ю.И. Нечаеву довелось работать со многими крупными учеными – В.И. Арнольдсом, А.Н. Колмогоровым, Н.Н. Моисеевым, Л.И. Седовым, Б.Е. Патеном.

Научное направление Ю.И. Нечаева – разработка бортовых интеллектуальных систем обеспечения безопасности мореплавания и посадки летательных аппаратов корабельного базирования.

Научная школа Ю.И. Нечаева весьма впечатляет: им подготовлено 20 кандидатов и 12 докторов наук. Его ученики – известные ученые, руководят кафедрами в университетах не только в России, но и за рубежом.

За работы в области гидродинамики корабля Ю.И. Нечаев награжден двумя медалями и дипломами им. акад. А.Н. Крылова, за работы в области систем искусственного интеллекта – международными премиями (Швеция, Япония).

Мало кто знает, что Ю.И. Нечаев в молодости был прекрасным спортсменом – у него 1-й разряд по легкой атлетике и лыжным гонкам; закончил художественную студию; пишет музыку. Он – лауреат трех музыкальных конкурсов, на которых был отмечен за свои инструментальные и вокальные произведения. На недавней конференции в Хьюстоне (США) во время концерта, которой был дан при поддержке американских астронавтов в заключительный день конференции, зарубежные друзья Ю.И. Нечаева спросили его: «Нам так и непонятно, кто же ты – математик, гидродинамик или музыкант?». На это Ю.И. Нечаев с присутствующим ему юмором ответил: «Считаю, что я неудавшийся музыкант».

Ю.И. Нечаев ведет большую общественную работу. Он – председатель Санкт-Петербургского отделения Российской ассоциации «Нейроинформатика», руководитель секции «Искусственный интеллект в морских технологиях» НТО судостроителей и городского научного семинара «Современные проблемы нейроинформатики», член редколлегий научных журналов «Нейрокомпьютеры» (выходит в России и в США), «Информационно-измерительные и управляющие системы» (Москва), «Морской вестник» (Санкт-Петербург), председатель секций «Искусственный интеллект» на международных и национальных конференциях и конгрессах.

Друзья, коллеги и ученики Ю.И. Нечаева поздравляют его с 75-летием и желают ему доброго здоровья, успехов в научно-педагогической и общественной деятельности.

Редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру творческого долголетия. ■

Математическая модель проектируемого судна, отображающая его как сложную техническую систему, представляет собой многоуровневый объект, в котором определены и глобальная цель системы, и цели каждой подсистемы. Задача оптимизации с использованием подобной модели сводится к совокупности оптимизационных задач с последующим согласованием их решений для судна в целом.

Первый, традиционный, вариант решения данной проблемы предполагает последовательную оптимизацию. Например, возможно использование алгоритма оптимизации по последовательно применяемым критериям, ранжируемым по важности. Вначале оптимизируется самая важная подсистема, и ее характеристики становятся ограничениями в задаче оптимизации следующей по важности подсистемы. Таким образом, проблема согласования решается за счет неизменности характеристик ранее оптимизированных подсистем.

Второй вариант решения многоуровневой системы не требует согласования и является прямой противоположностью первого варианта – оптимизация каждой подсистемы отдельно с попыткой последующего согласования. Но этот путь не гарантирует «сборку» корабля из совокупности оптимальных подсистем, поскольку согласование может стать невозможным, особенно если подсистемы должны делить общий ресурс.

Третий вариант решения подобных систем появился при разработке нового математического аппарата, позволяющего формально описывать нечеткие понятия, которыми оперирует человек, объясняя свои желания, цели и представления о системе. Таким аппаратом является теория нечетких множеств, созданная Л. Заде, первая фундаментальная работа которого была опубликована еще в 1965 г.

Под *нечеткой целью* подразумевается та, которую можно описать как нечеткое множество в соответствующем пространстве. Пусть X – заданное множество альтернатив. Тогда нечеткая цель C будет определяться фиксированным нечетким множеством C в X .

Нечеткое подмножество S множества X характеризуется функцией принадлежности $\mu_C(x) \rightarrow [0,1]$, которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in X$ число $\mu_C(x)$ из интервала $[0, 1]$, характеризующее степень принадлежности элемента x подмножеству S . Причем 0 и 1 представляют собой соответственно самую низкую и самую высокую степень принадлежности элемента к определенному подмножеству. Подобным же образом описывается нечеткое ограничение L в пространстве X . Важным моментом здесь является то, что и цель, и ограничение рассматриваются как нечеткие множества в пространстве альтернатив; это позволяет не делать между ними различия при формировании решения.

Решение – это, по существу, выбор одной или нескольких из имеющихся альтернатив. Проблема принятия решения в нечетких условиях интерпретируется как комплексное влияние нечеткой цели C и нечеткого ограничения L на выбор альтернатив. Оно характеризуется пересечением C с L , которое и образует нечеткое множество решений D , т.е. $D = C \cap L$. Функция принадлежности для множества решений задается соотношением $\mu_D(x) = \mu_C \cap \mu_L$. В общем случае, если имеется n целей и m ограничений, то результирующее решение определяется пересечением всех заданных целей и ограничений.

АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ В ПРОЦЕДУРЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СУДОВ

Т.Г. Артюшина, канд. техн. наук, доцент,
Нижегородский политехнический институт

Рассмотрим подсистему, в которой есть две варьируемые переменные и четко выраженная функция критерия эффективности. Функция принадлежности $\mu_{\text{сущ}}(X_1, X_2) \in [0,1]$ ставит в соответствие каждой паре приведенных переменных число из интервала $[0,1]$, характеризующее степень его принадлежности к подмножеству D эффективных и допустимых решений $\varphi(x_1, x_2)$.

Математическое описание зависимости может выглядеть так:

- «хорошие» решения, при которых критерий согласования $\mu_{\text{сущ}}(X_1, X_2) = 1$ при оптимальном значении функции критерия $[\varphi(x_1, x_2) = \varphi_{\text{MIN}}(x_1, x_2)]$;
- «приемлемые» решения при разнице значения функции критерия от оптимального не более 15%;
- плохие «решения» при разнице значения функции критерия от оптимального более 15%;

$$\mu_{\text{подсистемы}}(x_1, x_2) = \begin{cases} 1 & \text{если } \varphi(x_1, x_2) = \varphi_{\text{min}} - \text{ «хорошие»} \\ \frac{\varphi_{\text{min}}}{\varphi(x_1, x_2)} & \text{если } \frac{\varphi_{\text{min}}}{\varphi(x_1, x_2)} \geq 0.97 - \text{ «приемлемые»} \\ 0 & \text{если } \frac{\varphi_{\text{min}}}{\varphi(x_1, x_2)} < 0.97 - \text{ «плохие»} \end{cases}$$

Поясним, как данный математический аппарат можно применить для многоуровневой системы «Корабль» (рис. 1). Сложная система «Корабль» декомпозируется на подсистемы таким образом, чтобы глобальная задача оптимизации преобразовалась в взаимосвязанную группу локальных задач оптимизации. Проблемы, которые необходимо решать в автоматизированном проектировании при разбиении одной системы на ряд подсистем, связаны с необходимостью согласования найденного оптимального варианта для одной подсистемы с оптимальными вариантами для других подсистем.

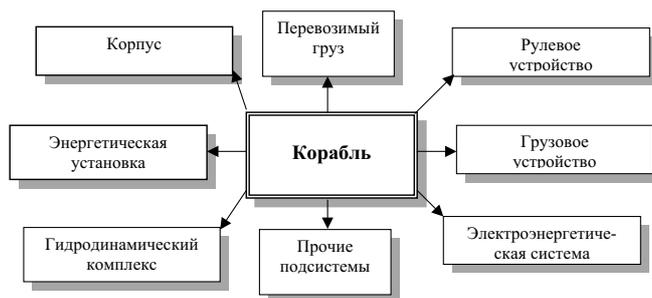


Рис. 1. Пример представления корабля как многоуровневой системы

В рассматриваемом примере система «Корабль» включает в себя восемь подсистем (см. рис. 1). В качестве системы верхнего уровня может рассматриваться «Корабль в целом», а в качестве систем нижнего уровня – подсистемы «Корпус», «Грузовое устройство», «Рулевое устройство», «Энергетическая установка», «Электроэнергетическая система», «Гидродинамический корпус» и т.д. Для каждой подсистемы (в том числе и системы верхнего уровня) есть функциональные ограничения, оптимизируемые переменные и критерии эффективности.

Основной критерий при разработке корабля в целом – его стоимость. Техническое задание в рассматриваемом примере включает следующие параметры: полезную грузоподъемность, удельную вместимость, полную скорость хода, дальность плавания, автономность по запасам, численность экипажа, число винтов, коэффициент развитости надстроек. Кроме того, заданы параметры, определяющие экономическую эффективность: длина линии эксплуатации, а также стоимость 1 т металлического корпуса, 1 т оборудования корпуса, 1 т топлива.

При расчете характеристик подсистемы для каждой рассчитываются следующие параметры: вес, занимаемый объем, энергопотребление подсистемы, аппликата центра тяжести подсистемы, стоимость подсистемы и принятый для данной подсистемы критерий эффективности.

Все множество полученных решений для каждой подсистемы характеризуется как «хорошие» (значение целевой функции подсистемы после согласования совпадают с локально оптимальным значением), «удовлетворительные» (отличие итогового значения целевой функции подсистемы после согласования отличается от локально оптимального варианта не более, чем на 15%) и «плохие» – отклонения в значениях критерия эффективности более 15% функции.

В принципе, число градаций решений и их соответствие числовым шкалам могут быть любыми. Кратко опишем основные элементы экстремальных задач, участвующих в процедуре многоуровневой оптимизации.

Система «Корабль» в целом:

- критерий эффективности: минимум стоимости;
- оптимизируемые переменные: длина судна между перпендикулярами, ширина, осадка, высота борта судна;
- функциональные ограничения: грузоподъемность не меньше заданной, вместимость не меньше заданной, начальная поперечная метацентрическая высота не меньше заданной, период бортовой качки не меньше заданного.

Подсистема «Корпус»:

- критерий эффективности: минимум веса корпуса;
- оптимизируемые переменные: приведенная толщина днища, приведенная толщина палубы;
- функциональные ограничения: момент сопротивления поперечного сечения корпуса на миделе не меньше требуемого.

Подсистема «Гидродинамический комплекс»:

- критерий эффективности: минимальная потребляемая мощность ЭУ;
- оптимизируемые переменные: дисковое отношение винта, диаметр винта, частота вращения винта;
- функциональные ограничения: коэффициент обора – упора должен находиться в заданном диапазоне (условие применимости эмпирических зависимостей).

Подсистема «Энергетическая установка»:

- критерий эффективности: минимум приведенных затрат;
- оптимизируемые переменные: мощность одного двигателя, число двигателей в установке, частота вращения выходного вала редуктора;

- функциональные ограничения: задан каталог двигателей с мощностными, весовыми и объемными характеристиками, мощность установки не менее требуемой по данным подсистемы «Гидродинамический комплекс».

Подсистема «Электроэнергетическая система»:

- критерий эффективности: минимум веса подсистемы;
- оптимизируемые переменные: количество и тип генераторов, работающих на ходу, количество и тип генераторов, работающих на стоянке;
- функциональные ограничения: задан каталог генераторов с мощностными, весовыми и объемными характеристиками, суммарная мощность генераторов должна быть не меньше потребной как на ходу, так и на стоянке.

Подсистема «Рулевое устройство»:

- критерий эффективности: минимум стоимости руля и рулевого привода (минимум);
- оптимизируемые переменные: ширина пера руля, высота пера руля;
- функциональные ограничения: ограничения высоты пера руля по осадке, ограничение на соотношение между высотой и шириной пера руля, ограничения по минимальной эффективности руля.

Подсистема «Грузовое устройство»:

- критерий эффективности: минимум времени разгрузки/погрузки судна;
- оптимизируемые переменные: число кранов, грузоподъемность кранов;
- функциональные ограничения: соответствие числа кранов числу трюмов.

Подсистемы «Перевозимый груз» и «Прочее» в число оптимизируемых подсистем не входят.

На рис. 2 представлена структурная схема программы для расчета характеристик подсистемы «Корпус» с использованием математического аппарата нечетких множеств.

Рассмотрим результаты моделирования процесса многоуровневой оптимизации на описываемом примере. Необходимые данные для процедуры многоуровневой оптимизации приведены ниже.

Исходные данные для примера многоуровневой оптимизации судна

Параметр	Значение
Заданная полезная грузоподъемность, т	5000
Удельная погрузочная кубатура, м ³ /т	2
Скорость хода, уз	15
Дальность плавания, мили	5000
Автономность, сут.	60
Численность экипажа, чел.	25
Стоимость 1 т, руб.:	
металлического корпуса	300
оборудования корпуса	600
Коэффициент развитости надстройки	0.15
Длина линии эксплуатации, м	1000
Количество винтов	1
Миним. значение поперечной метацентрической высоты	0.02
Период собственных колебаний судна в секунду	12
Коэффициент общей полноты	0.7

Результаты расчета, отобранных по условию «все критерии должны иметь статусы «Хорошо» или «Приемлемо» одновременно», рассматриваются ниже, часть из них приведена в табл. 1. Часть подсистем имеет неизменные характеристики во всех вариантах.

Система «Корабль» характеризуется коэффициентом общей полноты, равным 0,7, длиной между перпендикулярами 117 м, шириной 15,9 м, осадкой 7,0 м, высотой борта 8,0 м.

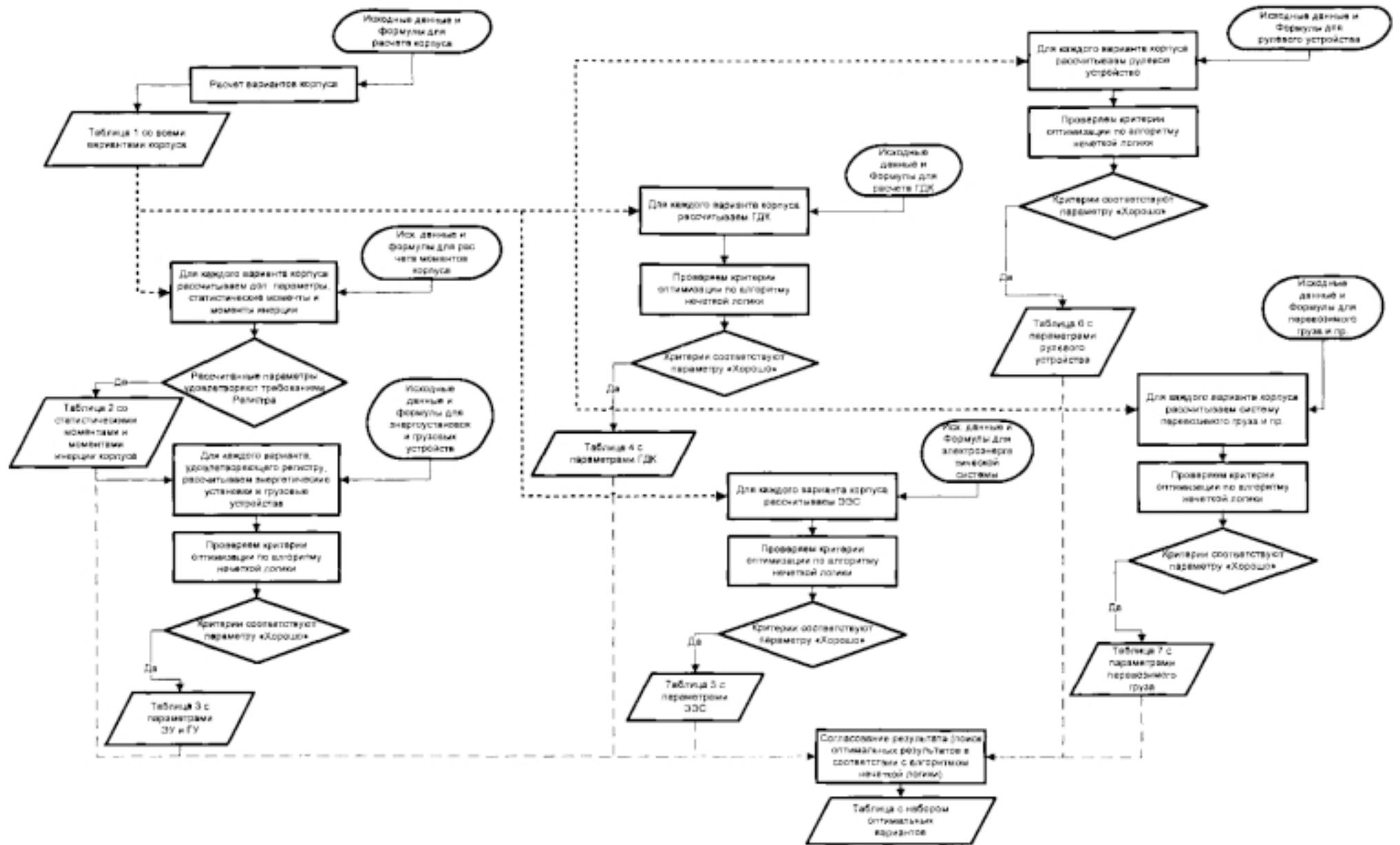


Рис. 2. Структурная схема программы расчета характеристик подсистемы «Корпус»

Результаты согласования оптимальных решений по некоторым подсистемам корабля

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7
Подсистема «Грузовое Устройство»							
Число кранов	9	10	10	8	9	9	9
Грузоподъемность кранов, т	40	20	20	40	20	20	20
Вес т	612	420	420	544	378	378	378
Занимаемый объем в корпусе, м ³	0	0	0	0	0	0	0
Энергопотребление, кВт	1845	1500	1500	1640	1350	1350	1350
Аппликата центра тяжести, м	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Стоимость, руб.*)	612 000	420 000	420 000	544 000	378 000	378 000	378 000
Локальный критерий эффективности	0.1	0.103	0.103	0.113	0.114	0.114	0.114
Критерий согласованности	1	0.97	0.97	0.88	0.88	0.88	0.88
Электроэнергетическая система							
Мощность генераторов, кВт	1000	1000	760	1000	1000	500	760
Необходимое количество генераторов на ходу	1	1	2	1	1	2	2
Необходимое количество генераторов на стоянке	2	2	2	2	2		2
Вес т	481.8	481.8	487.1	481.8	481.8	485.7	487.1
Занимаемый объем в корпусе, куб. м	192	192	224	192	192	2375	224
Мощность на ходу, кВт	1000	1000	1520	1000	1000	1000	1520
Мощность на стоянке, кВт	2000	2000	1520	2000	2000	1500	1520
Аппликата центра тяжести, м	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Стоимость, руб.*)	14 454 216	14 454 216	14 613 215	14 454 216	14 454 216	14 571 216	14 613 215
Локальный критерий эффективности	481.8	481.8	487.1	481.8	481.8	486.7	487.1
Критерий согласованности	1	1	1	1	1	1	1
Корабль в целом							
Стоимость, руб.*)	7620000	6237000	6256000	6742000	5724000	5738000	574300

Подсистема «Рулевое устройство». Высота пера руля – 8,0 м; ширина пера руля – 2,1 м; вес – 284, 9 т; занимаемый объем – 77,3 м³; энергопотребление – 725 кВт; аппликата центра тяжести – 7,0 м; стоимость – 522 000 руб.*; локальный критерий эффективности – 522 000 руб.*; критерий согласованности $\mu_{\text{сум}} = 1$.

Подсистема «Гидродинамический комплекс». Дисковое отношение винта – 0,35; частота вращения – 90 об/мин; вес – 0, 26 т; занимаемый объем – 0 м³; энергопотребление – 0 кВт; аппликата центра тяжести – 2,8 м; стоимость – 2673 руб.*; локальный критерий эффективности – 3025 кВт; критерий согласованности $\mu_{\text{сум}} = 1$.

Подсистема «Корпус». Приведенная толщина палубы – 0,046 м, приведенная толщина днища – 0,01 м; вес – 2224,0 т; занимаемый объем – 12 296 м³; энергопотребление – 0 кВт; аппликата центра тяжести – 4,67 м; стоимость – 2 378 000 руб.*; локальный критерий эффективности – 0,49; критерий согласованности $\mu_{\text{сум}} = 1$.

Подсистема «Энергетическая установка». Мощность одного двигателя в составе ЭУ – 3330 кВт; число двигателей в установке – 1, частота вращения вала отбора мощности – 90 об/мин; вес – 394,3 т; занимаемый объем – 107,4 м³; энергопотребление – 114,9 кВт; аппликата центра тяжести – 4,12 м; стоимость – 35 000 руб.*; локальный критерий эффективности – 35000 (не могут быть одинаковыми); критерий согласованности $\mu_{\text{сум}} = 1$.

Из табл. 1 следует, что, имеются три варианта, для которых все критерии согласования подсистем имеют статус «Хорошо», и четыре варианта «приемлемых» решений. Статус «приемлемые» решения имеется только по одной

подсистеме «Грузовое устройство». Важно отметить в полученных результатах то, что критерий эффективности для системы «Корабль» в целом для наилучшего с точки зрения оптимизации подсистем варианта 1 (все подсистемы имеют наилучшие значения локальных критериев эффективности) наихудший среди представленных вариантов.

Это объясняется тем, что подсистема «Грузовое устройство» оптимизировались по времени погрузки/разгрузки, и экономия при эксплуатации более мощного оборудования не компенсировала его повышенной первоначальной стоимости при заданных условиях. Однако, очевидно, что при использовании неоднородных критериев для оптимизации подсистем, что возможно в проектной практике, возникновение подобной ситуации вполне вероятно.

Использование математического аппарата нечеткой логики позволяет нам решить проблему оптимизации сложной иерархической системы. В данной статье мы показали, что возможно не только эффективно решать проблему согласования оптимальных решений частных задач оптимизации подсистем, которые могут рассчитываться параллельно друг другу, но и одновременно с этим эффективно решать задачу оптимизации системы верхнего уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
2. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: Моринтех, 2001.
3. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации – М.: Наука, 1981. ■

* Все стоимости абсолютно условны

Комплексные расчетно-экспериментальные исследования проводились для выявления зависимости между действующими на бортовое перекрытие ледовыми нагрузками и замеренными датчиками деформациями, выбора наиболее целесообразного положения датчиков деформаций и обработки математических методов анализа обработки полученных результатов. Предполагалось, что результаты этих исследований позволят оптимизировать количество устанавливаемых датчиков при оборудовании судов арктического плавания системами мониторинга ледовой прочности корпуса.

Эксперименты выполнялись на базе лаборатории кафедры строительной механики корабля СПбГМТУ, обладающей необходимым оборудованием и имеющей большой опыт проведения подобных работ. Для выявления зависимости между действующими на перекрытие ледовыми нагрузками и замеренными датчиками деформациями были использованы искусственно нагружаемые модели бортового перекрытия судна.

Большой объем испытаний выполнен на модели из органического стекла. Выбрано наиболее целесообразное положение датчиков деформаций, обработаны математические методы обработки результатов, получены зависимости между действующими на перекрытие ледовыми нагрузками и замеренными деформациями.

Исследования выполнялись применительно к конструкции танкера ледового плавания дедвейтом 70 000 т, строящегося на ФГУП «Адмиралтейские верфи». На основе анализа конструкции судна в его носовой части в районе ледовых усилений определен участок бортовой конструкции, подлежащий моделированию. Признано целесообразным моделировать относительно большую часть бортового перекрытия с тем, чтобы исключить влияние граничных условий на результаты замеров и в то же время иметь достаточную площадь для возможности моделирования различных вариантов распределения нагрузок.

Модель представляла собой прямоугольный лист изотропного органического стекла (размерами 1570x1050x5 мм), подкрепленный набором из того же материала. Набор имитировался одной перекрестной продольной связью – тавровой балкой и пятью балками главного направления – ребрами жесткости.

Особое внимание было обращено на закрепление модели. Она устанавливалась и фиксировалась в металлической раме большой жесткости. Граничные условия свободного опирания балок модели моделировались двенад-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БОРТОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ НА РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ

А.П. Матлах, д-р техн. наук, проф.,
М.Ю. Миронов, канд. техн. наук, доцент,
А.А. Родионов, д-р техн. наук, проф.,
СПбГМТУ – НПО «Полярная звезда»

цатью катками, помещенными в желоба. Схема модели, установленной в раме, приведена на рис. 1.

Конструкция стенда с нагрузочным устройством представляла собой жестко закрепленную на фундамент бетонного основания пола лаборатории ме-

таллическую (стальную) раму большой жесткости. Сечение рамы и промежуточные крепления к фундаменту обеспечивали жесткость на порядок большую, чем жесткость модели перекрытия из органического стекла. В соответствии с топологической схемой балоч-

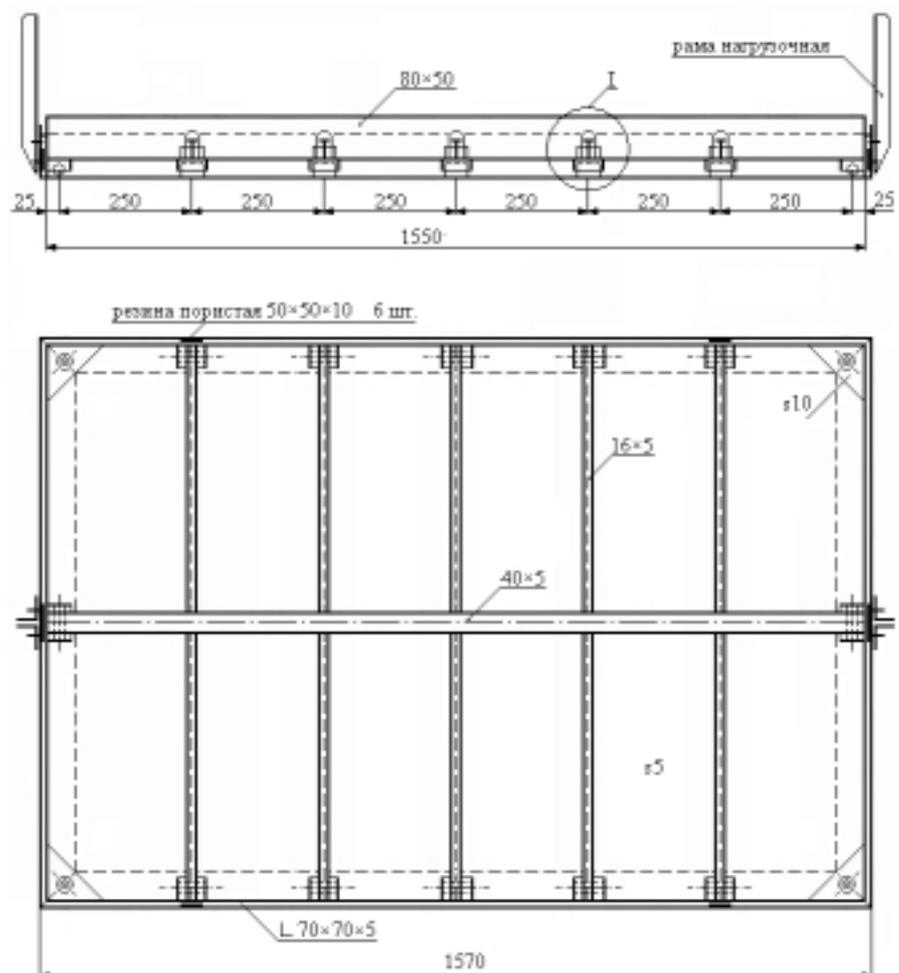


Рис. 1. Схема установки модели в раме: вид спереди и вид сверху

ной расчетной модели была разработана схема нагружения модели. Над перекрестной связью перекрытия устанавливались направляющие. Модель нагружалась путем установки в различных, заранее определенных сечениях направляющих, комбинированных грузов весом по 10, 40 и 50 Н (рис. 2).

При исследованиях применялись проволоочные датчики с базой 5 мм, обладающие сопротивлением в 100 Ом. Была разработана программа испытаний и тестирования датчиков. Статические нагрузки прикладывались по шагам. На каждом шаге приращение нагрузки принималось постоянным, регистрировались силы, деформации и перемещения.

В результате проведения испытаний решены следующие задачи:

- отработаны элементы системы мониторинга по регистрации параметров деформированного состояния в контрольных сечениях при стационарной нагрузке;

- проверена возможность регистрации параметров деформированного состояния при перемещающейся нагрузке;

- определено влияние вибрационных возмущений на условия работы системы при регистрации ледовой перемещающейся нагрузки;

- проверена адекватность функционирования модели из органического стекла разработанной математической конечно-элементной модели.

После отработки особенностей конечно-элементной моделирования бортовых перекрытий разработан математический алгоритм восстановления характера и величины ледовой нагрузки по значениям регистрируемых деформаций в контрольных точках.

На основе численного моделирования предложен способ определе-

ния оптимального количества датчиков – регистраторов деформаций и их местоположения, соответствующего заданной точности определения нагрузки. Для определения действующей на перекрытие нагрузки по показаниям датчиков-регистраторов использовалась матрица коэффициентов влияния, которая построена с помощью серии численных расчетов по модели метода конечных элементов (МКЭ). Определение ледовой нагрузки осуществлялось в режиме реального времени.

Результаты исследований позволяют разработать математическую модель поведения конструкций судна в условиях ледовых нагрузок, проводить расчетный анализ чувствительности этой модели к заданному диапазону ледовых нагрузок и подготовить общие технические требования к системе. На основе этих требований открывается возможность изготовлять и монтировать системы на судах.

Следует отметить, что современные программные средства, использующие МКЭ в качестве расчетного метода, позволяют анализировать поведение конструкции не только в упругой области, но и при нелинейном деформировании, что дает возможность использовать их и для прогнозирования надежности пластически деформируемых конструкций.

Поскольку в ледовой обстановке суда получают порой существенные пластические деформации наружной обшивки, требуется проведения численного моделирования напряженно-деформированного состояния бортового перекрытия под действием перемещаемой локальной ледовой нагрузки, выходящей как упругие, так и пластические деформации.

Использование в интеллектуальной системе контроля ледовой прочности результатов, полученных с помощью модели из органического стекла, работающей только в области упругих деформаций, было бы некорректно и могло бы в отдельных случаях привести к снижению точности полученных результатов.

С учетом изложенного для отработки математической модели поведения конструкции бортового перекрытия ледового танкера в условиях упругопластических деформаций была проведена серия экспериментов на стальной модели бортового перекрытия. При этом было решено предусмотреть возможность учета остаточных деформаций, полученных ранее от ударов льдин, в тех местах конструкции, где будет замеряться и текущее состояние давления ледовых нагрузок.

Стальная модель участка ледового усиления бортового перекрытия представляла собой отрезок продольной тавровой балки с прилегающим присоединенным пояском бортовой обшивки. Материал – сталь повышенной прочности с характеристиками $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_T = 318$ МПа, $\nu = 0.3$. Схема конструкции модели представлена на рис. 3.

В процессе проведения экспериментальных исследований на металлической модели была осуществлена проверка:

- работоспособности тензодатчиков в условиях малых, средних и больших пластических деформаций;

- погрешностей при установлении величины и характера нагрузки по показаниям тензодатчиков в условиях как упругих деформаций, так и малых пластических деформаций;

- возможности регистрации вторичных упругих деформаций в конструкции, имеющей остаточные пластические деформации.

Модель устанавливалась в жесткой коробчатой раме (рис.4). Прямоугольные фланцы с болтовым соединением имитировали жесткую заделку модели по контуру участка обшивки. Для концевых сечений тавровой связи обеспечивался свободный поворот.

Нагружение проводилось до нагрузки 200 кН на вертикальной машине продольного нагружения с гидравлическим приводом, имеющей возможность создавать статическую нагрузку в диапазоне от 0,1кН до 400 кН. Статическая распределенная нагрузка прикладывалась к настилу в центре модели по квадратному пятну размером 100 x 100 мм. Проводились четырехкратные циклы разгрузки и последующего нагружения на уровне 100 кН и 140 кН. По достижении нагрузки в 200 кН производилась разгрузка модели.



Рис. 2. Испытания модели из органического стекла

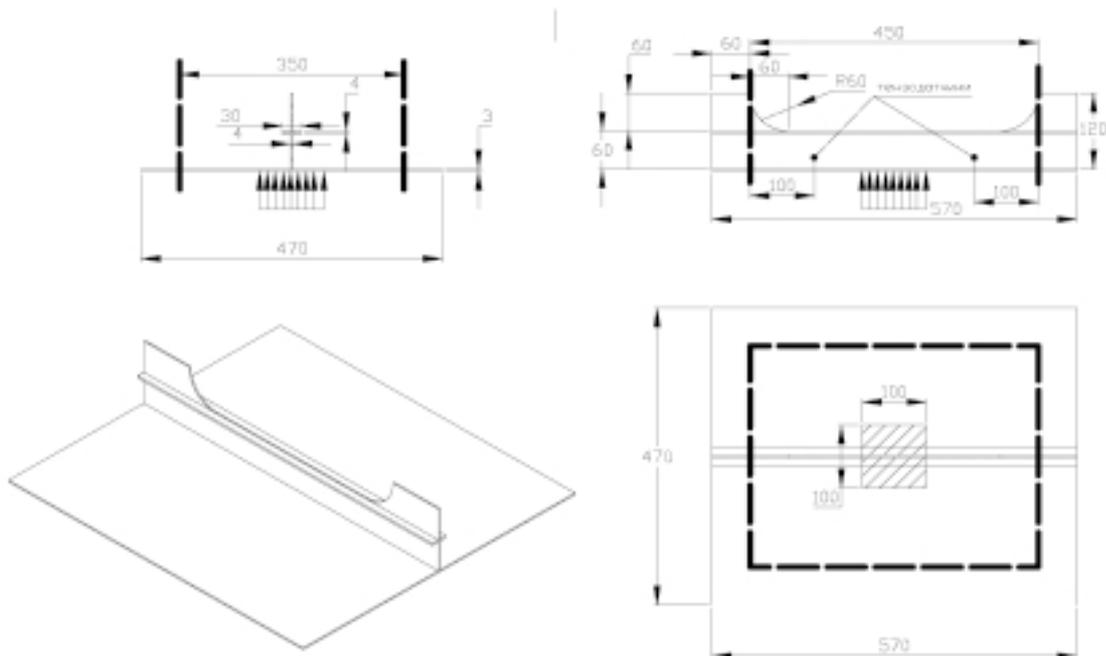


Рис. 3. Схема конструкции стальной модели



Рис. 4. Общий вид модели в жесткой коробчатой раме, установленной на испытательной машине

Нагрузка прикладывалась по шагам нагружения:

– в диапазоне от 0 до 140 кН шаг нагружения (и разгрузки) составлял 20 кН;

– в диапазоне от 140 до 200 кН шаг нагружения составлял 10 кН.

Прогиб модели на шагах нагружения измерялся индикатором перемещений часового типа с точностью 0,01 мм.

Зависимость максимального прогиба от приложенной нагрузки по шагам нагружения представлена на рис. 5. Из него следует, что линейная зависимость между нагрузкой и прогибом сохранялась до нагрузки 40 кН. Далее в отдельных зонах конструкции появлялись пластические деформации, что снизило общую жесткость конструкции, но от 40 кН до 100 кН жесткость практически не изменяется. При 100 кН зоны пластических деформаций увеличиваются, а общая жесткость еще снижается, но в пределах от 100 до 140 кН остается постоянной. Увеличение жесткости при нагрузке от 170 до 200 кН происходило, за счет эффекта распора. Максимальный прогиб, зарегистрированный при нагружении в 200 кН составил 39,5 мм. Остаточный прогиб после полного снятия нагрузки – 35,7 мм, более 10% от пролета, в 12 раз больше толщины пластины и около 60 % от высоты стенки ребра жесткости.

Для определения напряженно-деформированного состояния исследуемой модели были использованы тензодатчики 100 Ом, объединенные в шесть тензометрических мостов. Четыре моста (каналы 1–4) регистрировали сдвиговые деформации в концевых сечениях стенки тавровой балки; два моста (каналы 5, 6) регистрировали нормальные деформации в среднем сечении свободного пояса. Зависимость замеренных тензодатчиками деформаций от прилагаемой нагрузки приведена на рис. 6. Все датчики устойчиво работают до деформаций 0,003; за пределами этих значений деформаций датчики выходят из строя. Датчики каналов 5 и 6, регистрировавшие нормальные деформации в среднем сечении свобод-

Диаграмма нагружения модели

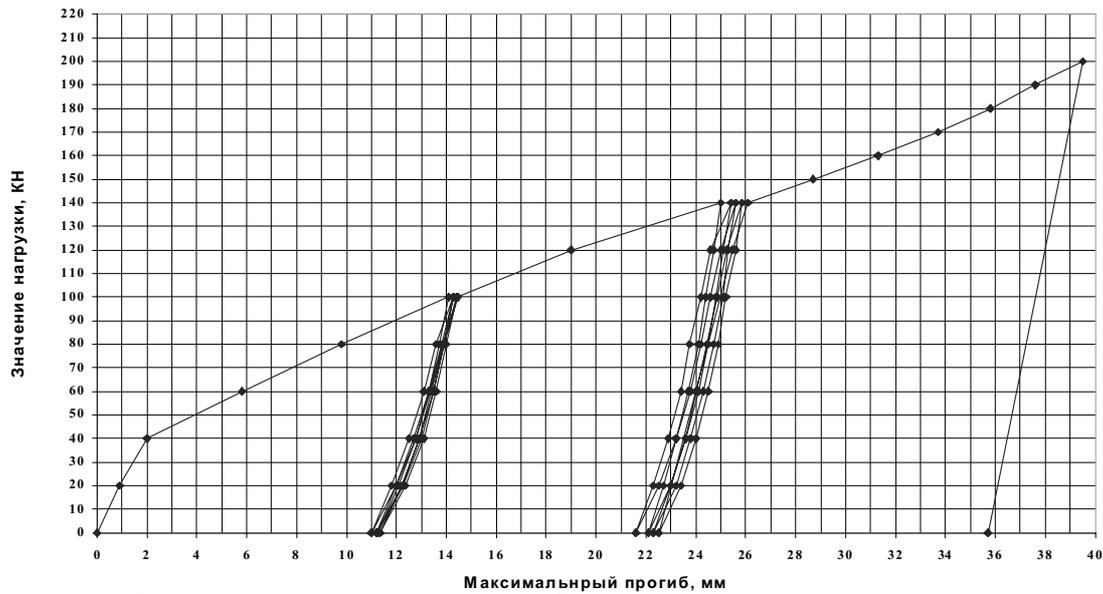


Рис. 5. Зависимость максимального прогиба от приложенной нагрузки

Диаграмма "усилие от деформации"

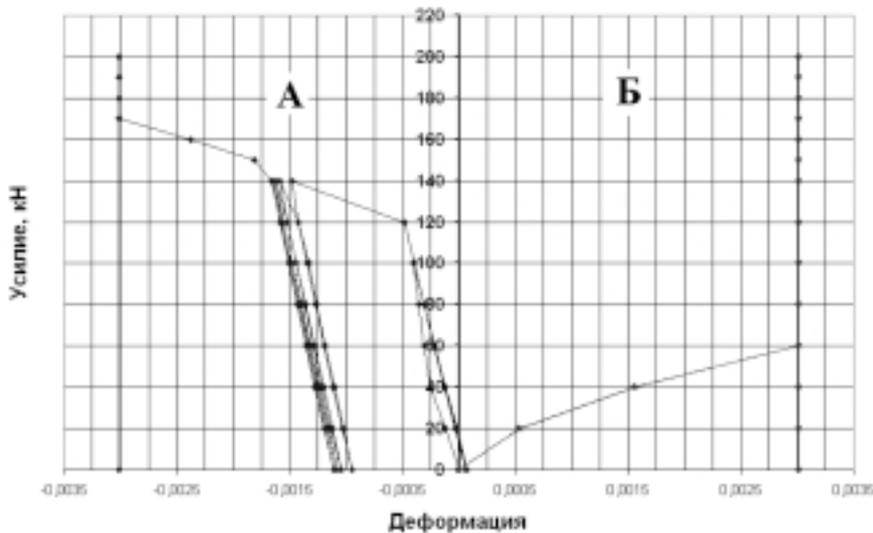


Рис. 6. Зависимость изменения деформаций от нагрузки по каналам измерений: А — канал 1, Б — канал 6

ного пояса балки, вышли из строя, достигнув предельных значений деформаций (0,003) при нагрузке 60 кН. Датчики каналов 1–4 вышли из строя, достигнув предельных значений деформаций (0,003) при нагрузке 170 кН. Установлено, что в диапазоне нагружения от 0 до 120 кН сохраняется практически линейная зависимость деформация–усилие. В диапазоне нагрузок от 120 до 140 кН регистрируется также линейная зависимость деформация–усилие, но со значительно меньшим углом наклона. В диапазоне нагрузок от 140 до 170 кН обнаружена существенная нелинейность этой зависимости.

Проведенные модельные исследования позволили разработать концепцию системы контроля ледовых нагру-

зок, включающую в себя бортовую конструкцию ледового танкера, систему нагружения, систему регистрации деформаций, возникающих в конструкции, определить концепцию системы преобразования в цифровой массив замеренных параметров деформаций для их последующего анализа и разработки вычислительного модуля, позволяющего анализировать цифровую информацию и выработать рекомендации по управлению танкером в ледовых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Л., Киреев В.Н., Грубов Д.А. Крупнотоннажный арктический танкер – каким ему

быть? // Морской вестник. – 2002. – № 2.

2. Матлах А.П. Анализ поведения конструкций судов ледового плавания в условиях упруго-пластических деформаций // Морской вестник. – 2005. – № 1 (13).
3. Он же. Исследование прочности корпусных конструкций при взаимодействии со льдом // Судостроение. – 2006. – № 4.
4. Миронов М.Ю., Родионов А.А. Оптимизация балочных конструкций в условиях динамического нагружения. – Мат-лы I Всерос. науч.-практ. конф. по вопросам решения оптимизационных задач в промышленности «ОПТИМ-2001». – СПб., ЦНИИТС, 2001, с. 211–213.
5. Миронов М.Ю., Родионов А.А. Оптимизация пластинчатых конструкций при динамическом нагружении. – Тр. конф. по строительной механике корабля памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб.: Изд. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2003, с. 45–47.
6. Они же. Расчетное проектирование и оптимизация судовых конструкций, находящихся в условиях воздействия нестационарных динамических нагрузжений. – Тр. конф. по строительной механике корабля «Бубновские чтения». – СПб.: Изд. НТО им. акад. А.Н. Крылова, 2004, с. 136–137.
7. Родионов А.А. Математические методы проектирования оптимальных конструкций судового корпуса. – Л.: Судостроение, 1990. ■

При освидетельствовании судовых перекрытий необходимо оценивать величину деформаций стенок рамных судовых балок. При этом желательно иметь зависимости для такого определения, полученными не непосредственными измерениями, а косвенными методами – путем обмеров вмятин с наружной стороны корпуса. Этот вопрос становится актуальнее при наличии зашивки корпусных конструкций, демонтаж которой влечет существенные затраты, однако возможность производить дефектацию и освидетельствование без нахождения внутри отсеков сулит выгоды и в отношении судов, не имеющих зашивки. Это может быть связано с получением ими внезапных повреждений или при наличии точных данных рельефа наружной обшивки (например, полученных путем лазерного сканирования) и компьютерных программ для обработки указанных данных. Выявлению величин повреждаемости тавровых балок судового набора в зависимости от величины деформации конструкций перекрытий со стороны наружной обшивки в основном и посвящено исследование данной статьи.

Практика определения допускаемых величин остаточных стрелок прогиба судовой обшивки и набора носит разобщенный характер. Зачастую позволенные деформации наружной обшивки сопровождаются недопустимыми деформациями судового набора. В связи с этим в данной статье дополнительно рассматривается вопрос нормирования остаточных деформаций наружной обшивки как опосредованный параметр нормирования остаточных деформаций тавровых балок судового набора.

Возможность определения величины стрелки прогиба выпучины стенки рамной балки f_B в зависимости от прогиба обшивки ω в месте крепления балки исследовалась В.Б. Чистовым [1] и более подробно И.П. Пойловым [2]. Последним получены зависимости взаимосвязи относительной стрелки прогиба выпучины стенки $f_B = f_B / h$ (h – высота балки) и относительного прогиба обшивки $\bar{\omega} = \omega / h$ в месте крепления стенки балки для случая деформации по всей высоте стенки балки (выпучины). Относительная величина стрелки прогиба обшивки (величина вмятины) принимается равной относительно изменению высоты стенки балки. В [2] получена указанная взаимосвязь для разных форм сечения выпучины и различного положения максимума выпучины по высоте деформированной балки. Эта зависимость используется для описания не только случая потери устойчивости всей стенки балки, но и отдельно взятого деформированного участка стенки. При этом она описывает лишь возможную геометрическую связь де-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НОРМИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИЙ СТЕНОК ТАВРОВЫХ БАЛОК ПО ЗНАЧЕНИЮ ПРОГИБА СУДОВОЙ ОБШИВКИ В МЕСТЕ КРЕПЛЕНИЯ НАБОРА

*П.А. Бимберков, ст. преподаватель,
Новосибирская государственная академия водного транспорта*

формаций без учета влияния толщины стенки балок на процесс деформации, т.е. не отражает физической сущности процесса взаимного повреждения обшивки и поддерживающей ее тавровой балки.

Автор посчитал целесообразным вывести зависимости взаимного повреждения обшивки и поддерживающей ее тавровой балки в результате систематического модельного эксперимента на малых моделях [3, 4].

На вооружение была взята идея использования замковых соединений. Высота заготовки стенки тавровой балки была больше, чем для геометрического подобия, на 20 мм. Затем снизу и сверху заготовки стенки делались разрезы высотой 10 мм через 10 мм по ее длине. Далее каждый второй полученный концевой участок загибался поочередно на угол 90° по разные стороны стенки балки. В полотнище обшивки и полке на одной линии через 10 мм пробивались отверстия (прорезы). В последние затем помещались оставшиеся вертикальные концевые участки стенки и загибались поочередно на разные стороны балки. Затем все концевые участки пропаивались по своему периметру. В результате было получено прочное угловое соединение без нарушения геометрического подобия стенки профиля.

Для исследования рамных балок была изготовлена серия моделей с толщинами стенки 0,25; 0,33; 0,52 мм, при этом соотношении высоты h к толщине t стенки $h/t = 40; 60; 80$. Толщина полотнища и полки была постоянной и равнялась 0,25 мм.

Силовое воздействие осуществлялось при помощи падающего груза, имеющего форму шара диаметром 100 мм и массой 3,7 кг.

Обмеры деформированных моделей (рис. 2) выполнялись при помощи устройства, собранного из стойки, двух магнитных штативов, индикатора ИЧ10, индикатора с удлиняющими стержень



Рис. 1. Деформированная замковая модель тавровой балки, закрепленная на каркасе



Рис. 2. Процедура обмера деформированной модели рамной тавровой балки

насадками (от индикаторного глубиномера) и специальной контактной скобы, закрепленной на индикаторе.

Результаты исследований зависимости деформации стенок балок от прогиба наружной обшивки приведены на рис. 3, 4 и табл. 1.

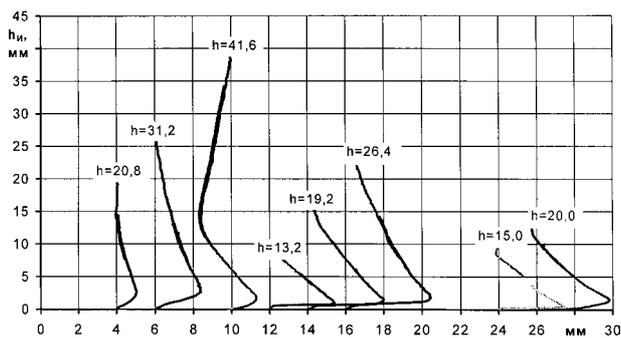


Рис. 3. Сечения деформированных стенок моделей тавровых балок в зоне максимальной деформации (h_i – положение замера стрелки деформации балки по высоте, h – исходная высота стенки у модели балки)

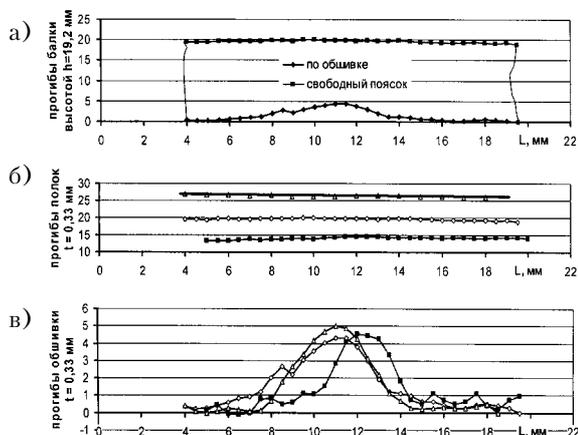


Рис. 4. Величины деформаций моделей с толщиной стенки тавровых балок 0,33 мм по их длине L : а – деформированная стенка модели тавровой балки высотой 19,2 мм и толщиной 0,33 мм; б – профиль деформированных полок моделей; в – профиль деформированных обшивки в месте крепления стенки балок

В результате получена автомодельная зависимость, которая удовлетворительно аппроксимируется выражением (рис. 5)

$$\frac{f}{h} = \frac{14,5 \left[1 - \exp\left(-5,5 \frac{\omega - \omega_{II}}{h}\right) \right]}{40 + \frac{m - 40}{2}}, \quad (1)$$

где f – величина стрелки деформации (выпучины или кромоной деформации) стенки рамной балки; ω – значение прогиба наружной обшивки в месте крепления стенки рамного набора; ω_{II} – общий прогиб рамной балки (тоже – общий прогиб балки по ее полке); h – высота балки; m – отношение высоты стенки рамной балки к ее толщине.

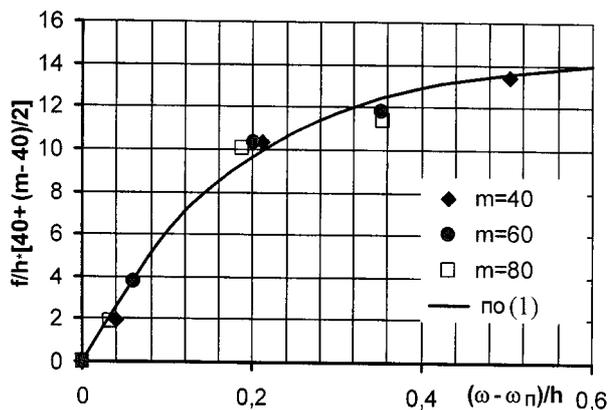


Рис. 5. Зависимость вида $f/h = (f(\omega - \omega_{II})/h; m)$

Поскольку снаружи можно измерить только деформации обшивки в месте крепления рамных балок, а величина деформации полок балок остается неизвестной, желательно иметь зависимость вида $f/h = f(w/h)$, которую представим на рис. 6. Эту зависимость аппроксимируем выражением

$$\frac{f}{h} = C \left[1 - \exp\left(-5,5 \frac{\omega}{h}\right) \right] \left(40 + \frac{m - 40}{2} \right)^{-1}. \quad (2)$$

где C – коэффициент, равный в данном случае 13.

Таблица 1

Результаты обмера паянных деформированных моделей рамных балок

m_{01}	h , мм	ω , мм	ω_{II} , мм	$\omega - \omega_{II}$, мм	f , мм	$\frac{\omega}{h}$	$\frac{\omega_{II}}{h}$	$\frac{f}{h}$	$\frac{\omega - \omega_{II}}{h}$	h_{max} , мм	$\frac{h_{max}}{(h - \omega)}$	$\frac{h_{max}}{h - (\omega - \omega_{II})}$
$h = 0,25$ мм												
40	10,0	5,85	0,81	5,05	3,35	0,585	0,081	0,335	0,505	0,60	0,145	0,121
60	15,0	6,77	1,48	5,29	3,55	0,451	0,99	0,237	0,352	1,00	0,122	0,103
80	20,0	7,10	0	7,10	3,79	0,355	0	0,190	0,388	1,17	0,090	0,090
$h = 0,33$ мм												
40	13,2	4,55	1,75	2,80	3,40	0,345	0,133	0,261	0,212	1,00	0,126	0,096
60	19,2	4,32	0,47	3,86	3,97	0,225	0,024	0,207	0,201	1,50	0,101	0,098
80	26,4	5,03	0,09	4,94	4,43	0,191	0,003	0,168	0,187	1,80	0,084	0,084
$h = 0,52$ мм												
40	20,8	1,64	0,81	0,83	0,89	0,079	0,039	0,043	0,040	2,60	0,136	0,130
60	31,2	2,16	1,18	0,98	2,36	0,069	0,009	0,076	0,031	3,00	0,103	0,099
80	41,6	1,38	0	1,38	1,27	0,033	0	0,031	0,033	1,60	0,040	0,040

Примечание. Здесь h_{max} – отстояние максимальной стрелки прогиба деформации стенки от обшивки (у балки с высотой стенки $h = 41,6$ мм – нижней из точек перегиба деформированного сечения).

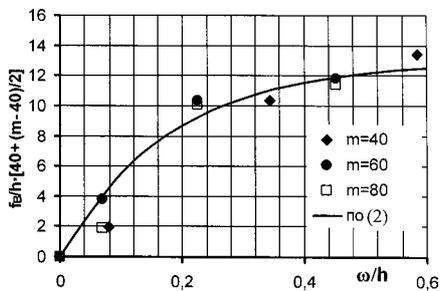


Рис. 6. Зависимость вида $f/h = f(\omega/h; m)$

Выражение (2) меньше совпадает с данными модельного эксперимента, чем (1), однако отражает их с достаточной для практических целей точностью.

Величины выпучин стенок рамных шпангоутов на период второго $f_{ВШ}^{\text{II}}$ среднего ремонта исследовались автором у бортов барж-площадок проекта №Р-56, где были получены следующие зависимости в функции от стрелки прогиба бухтин $f_{\text{бух}}$ [5]:

$$f_{ВШ}^{\text{II}} = 17,5 + 1,28f_{\text{бух}}; R^2 = 0,758 \quad (3)$$

или

$$f_{ВШ}^{\text{II}} = 5,8f_{\text{бух}}^{0,67}, R^2 = 0,761, \quad (4)$$

где использовалась зависимость

$$f_{\text{бух}} 0,5(f_{i,i-1} + f_{i,i+1})_{\text{бух}}, \quad (3.1.8)$$

Здесь $f_{i,i-1}$ – величина стрелки прогиба в пролете между i -м и $(i-1)$ -м шпангоутами; $f_{i,i+1}$ – то же в пролете между i -м и $(i+1)$ -м шпангоутами соответственно; i – номер рамного шпангоута.

Одновременно с величинами выпучин и бухтин фиксировались значения прогиба обшивки бортов в местах крепления поддерживающего его набора ω . Сопоставление результатов расчета по выражениям (3) и (4) и значений, полученных в ходе измерений, приведено на рис. 7, а, которое говорит о схожем качестве работы выражений (3) и (4), а также недостаточной корреляции расчетных данных и данных измерений. Сопоставление результатов расчета по выражению (2) и значений, полученных измерениями, приведено на рис. 7, б, на основании которого можно говорить о преимущественно линейном характере зависимости этих данных.

Из рис. 7, б видно, что для удовлетворительного совпадения данных расчета по (2) и данных натурных замеров нужно принять значение коэффициента $C = 23,5$. В ходе же модельного эксперимента получено значение $C = 13$, что составляет только 55% необходимого значения. Для оценки такого несоответствия рассмотрим процесс ведения измерений стрелок прогиба выпучин стенок рамных балок в [5] (рис. 8).

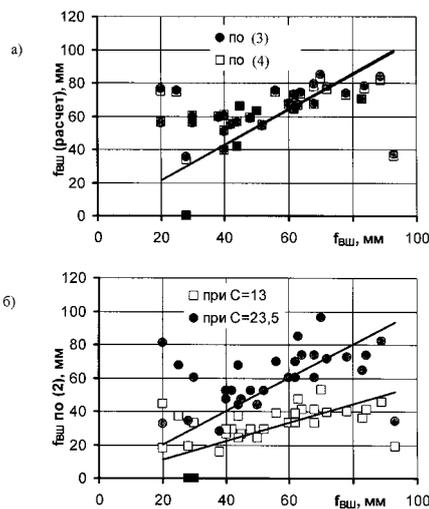


Рис. 7. Сопоставление измеренных значений стрелок прогиба выпучин стенок рамных шпангоутов в пролете палуба – бортовой стрингер с расчетными значениями на основе значений стрелок прогиба бухтин и вмятин в зоне крепления стенок балок: а – по зависимостям (3), (4); б – по зависимости (2)

Из рис. 8 видно, что измерялись не стрелки выпучины, т.е. отклонения от изначального положения стенки, а максимальная величина амплитуды деформации стенки. Измерение последнего параметра реально доступно, в то время как определение значения выпучины требует использования сложной для массового процесса в натуральных условиях процедуры сканирования профилей деформированных балок, например, аналогичной той, какую автор применил в процедуре обмера моделей.

В связи с вышесказанным автор склонен более доверять результатам модельного эксперимента.

Для оценки допустимой деформации судовой обшивки в месте крепления рамного судового набора воспользуемся эк-

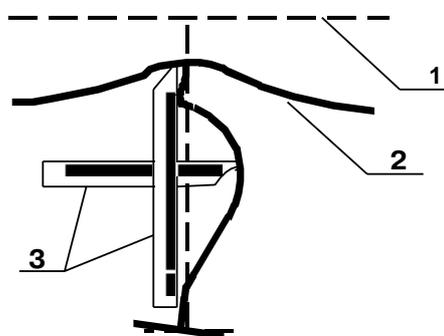


Рис. 8. Схема замера выпучин стенок рамных балок скрещенными металлическими линейками

1 – исходное состояние обшивки с набором (построечное); 2 – деформированная обшивка с набором; 3 – скрещенные металлические линейки, срезынные на ус

спериментальной зависимостью (1) и нормой на выпучины стенок рамных балок $[f/h] = 0,1$. Тогда

$$\left[\frac{f}{h} \right] = 0,1 = \frac{14,5 - \exp\left(-5,5 \frac{\omega - \omega_{\text{II}}}{h}\right)}{40 + \frac{m - 40}{2}}, \quad (5)$$

$$[\omega] = -0,18h \left[\ln\left(-\frac{40 - m + 290}{290}\right) - \frac{5,5\omega_{\text{II}}}{h} \right]. \quad (6)$$

Будем пренебрегать в (5) величиной погиба балки ω_{II} . Обозначим, как и ранее, числовой коэффициент перед квадратной скобкой через C и, выразив $[\omega]$, получим

$$[\omega] = -0,18h \cdot \ln\left(-\frac{40 - m + 20C}{20C}\right) \quad (7)$$

Поскольку корректировка числового коэффициента по данным модельного эксперимента дала значение $C = 13$, то из (7) запишем

$$[\omega] = -0,182h \cdot \ln(0,864 - 0,00385m).$$

Полученные зависимости для оценки величины и освидетельствования допустимости деформации рамного набора по значениям деформации наружной обшивки могут послужить основой для разработки рабочей методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистов В.Б. Научные основы технологии ремонта корпусов судов речного флота. Автореферат дисс. д.т.н. – СПбГУВК, 1994. – 40 с.
2. Пойлов И.Н. Экспериментальная оценка напряженного состояния подкрепленных балок корпусных конструкций. – Ремонт судов речного флота. – Сб. науч. тр. ЛИВТ. – Л.: ЛИВТ, 1987. – С. 53–61.
3. Бимберев П.А. Образцы для модельных испытаний конструкций. – Патент РФ №36017 на полезную модель, 2003.
4. Он же. Экспериментальные исследования на моделях закономерностей повреждаемости стенок рамных балок судового набора. – Мат-лы науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава и инженерно-технических работников речного транспорта и других отраслей. – Новосибирск: НГАВТ, 2001. – С. 156–157.
5. Он же. Анализ повреждаемости корпусов судов барж проекта Р-56–Сб. науч. Тр. НГАВТ. «Повышение эффективности ремонта судовой техники». – Новосибирск: НГАВТ, 1993. – С. 21–41. ■

По заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга ОАО «Инженерный центр судостроения» спроектировал многоцелевой буксир ледокольного класса (пр. 2805) мощностью 3600 кВт. Судно, основные характеристики которого приведены ниже, предназначено для работы на р. Нева и в Финском заливе для выполнения следующих функций:

- ликвидация аварийных разливов нефтепродуктов, в том числе в зимний межнавигационный период;
- проведение ледокольных работ по предупреждению закорных образований на р. Нева;
- разрушение и ликвидация ледовых образований у мест забора воды из р. Нева для городских нужд;
- прокладывание каналов для экстренной ледовой проводки судов после закрытия навигации по р. Нева и Волго-Балтийскому водному пути;
- тушение пожаров (в том числе на высокобортовых судах);
- эскортирование судов в районах, разрешенных для плавания в соответствии с классом судна;
- буксировка судов при проведении спасательных и других операций на короткие расстояния задним ходом;
- участие в спасательных (водоотливных) работах.

Форма корпуса учитывается путем введения в расчетные модели интегральных функций геометрии, которые получены из пространственного рассмотрения взаимодействия корпуса судна со льдом [1].

Для учета в расчетной методике формы корпуса буксира ледокольного класса были рассчитаны функции геометрии и приведены ниже:

Основные характеристики буксира

Класс судна по Российскому Речному Регистру	✳М-СП 3,5 (ледокол) А
Длина по КВЛ $L_{КВЛ}$, м	38,0
Ширина судна B , м	11,8
Высота борта H , м	5,2
Максимальная осадка T , м	3,8
Минимальная осадка без дифферента, м	3,39
Надводный габарит по несъемным частям при осадке 3,8 м, м	Не более 5,0
Водоизмещение D , т	912
Коэффициент общей полноты δ	0,535
Скорость хода на тихой глубокой воде, км/ч	20
Мощность главных двигателей N , кВт	2×1800

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ БУКСИРА ЛЕДОКОЛЬНОГО КЛАССА ПР. 2805

Н.В. Калинина, канд. техн. наук, доцент Нижегородского государственного технического университета, г. Нижний Новгород

Скорость на чистой воде v , уз/м/с	9,7/5
Площадь зоны облегаания льдом, m^2	205,7
Тяга на швартовах, кН	2×220
Автономность, сут	5

Особенность проекта буксира ледокольного класса – наличие подъемно-опускной рубки, которая позволяет проходить под всеми мостами на р. Нева без их разводки. Подъем-опускание рулевой рубки осуществляется с помощью телескопических гидроцилиндров. Для обеспечения устойчивого движения рубка снабжена двумя парами направляющих. Ввод в эксплуатацию буксира планируется во втором квартале 2009 г.

Оценить ледовую ходкость буксира ледокольного класса можно по уже существующим методикам [1–5], разработанным на основе теоретико-экспериментальных исследований в Нижегородском государственном техническом университете. Они учитывают не только главные размерения судов, но также форму корпуса и физико-механические характеристики льда и снега.

Физико-механические характеристики льда, снега и воды приняты среднестатистические для речных условий: плотность воды $\rho = 1 \text{ т/м}^3$; плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \text{ т/м}^3$; коэффициент Пуассона $\mu = 0,33$; модуль упругости $E = 5 \cdot 10^6 \text{ кПа}$; коэффициент трения льда о наружную обшивку $f = 0,15$.

В ходе исследований было выявлено, что буксир будет преодолевать сплошные ледяные поля как непрерывным ходом, так и прибегать к работе набегам.

Ледопроходимость буксира при движении в сплошном льду характеризуют рис. 1, 2. Толщина снежного покрова в расчетах принята равной нулю ($h_c = 0$) – безснежный ледяной покров. Кривая ледопроходимости бук-

сира набегам получена при условии, что он движется в тяжелых льдах с максимальной скоростью.

Ледовое сопротивление при движении в сплошном ледяном поле было рассчитано по методике Е.М. Грамузова. Результаты расчетов приведены в виде зависимостей ледового сопротивления от скорости движения на рис. 3 для различных толщин безснежного льда.

Движение судов во льдах, толщина которых превышает преодолеваемую непрерывным ходом, осуществляется набегам. Эта циклическая работа описана дифференциальными уравнениями, получена математическая мо-

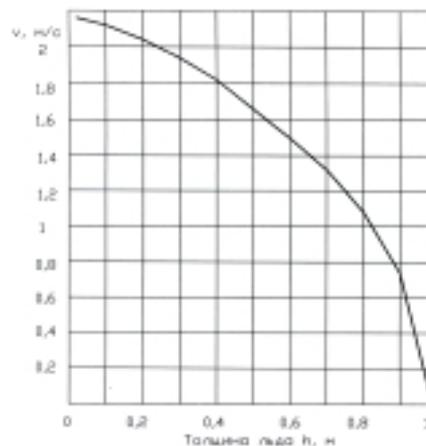


Рис. 1. Ледопроходимость буксира непрерывным ходом в сплошном льду

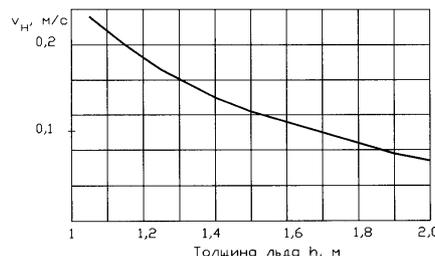


Рис. 2. Ледопроходимость буксира в сплошном льду набегам

Функции геометрии буксира

Функции	Значения	Функции	Значения	Функции	Значения	Функции	Значения
$\text{tg}(\varphi_1)$	0,462	Φ_{Π}	0,119	Φ_{Γ}	0,032	$\Phi'_{\Gamma\text{H}}$	0,144
$\text{tg}(\varphi_2)$	1,247	Φ_{HT}	0,590	$\Phi_{\Gamma\text{T}}$	0,073	$\Phi'_{\Gamma\text{T}\text{H}}$	0,326
$\gamma_{\text{лтф}}$	2,771	Φ_{H}	0,147	$\Phi'_{\text{пн}}$	0,463	$\Phi'_{\Gamma\text{K}}$	0,014
$\gamma_{\text{сф}}$	0,592	Φ_{HT}	0,336	$\Phi'_{\text{пнт}}$	1,427	$\Phi'_{\Gamma\text{TK}}$	0,068
$\Phi_{\text{лт}}$	3,769	$\Phi_{\text{ик}}$	0,044	$\Phi'_{\text{пк}}$	0,294	$\Omega_{\text{л}}, \text{M}^2$	205,7
$\Phi_{\text{с}}$	1,323	$\Phi_{\text{итк}}$	0,194	$\Phi'_{\text{итк}}$	1,806	$S_{\text{ВЛ}}, \text{M}^2$	180,5

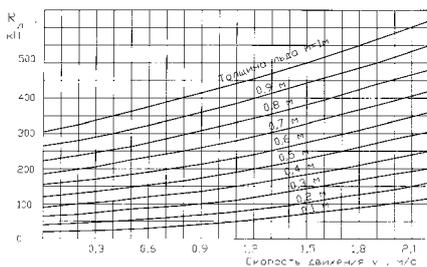


Рис. 3. Сопротивление сплошного льда при движении буксира непрерывным ходом

дель средней скорости движения [6]. Эта средняя скорость движения набегам $v_{\text{н}}$ зависит от пути продвижения в ненарушенном ледяном поле $l_{\text{п}}$ и суммарного времени цикла (времени отхода в канале битого льда; времени реверсирования энергетической установки (ЭУ) с заднего хода на передний и с переднего на задний; времени разбега; времени продвижения в сплошном льду; времени освобождения от заклинивания).

С использованием предложенной математической модели были произведены расчеты средней скорости движения буксира набегам в тяжелых льдах в зависимости от длины разбега в безснежном льду различной толщины (рис. 4). Расчеты выполнены при условии, что буксир при работе набегам не заклинивается (время освобождения от заклинивания $t_{\text{оз}}$ равно нулю). На этом же рисунке показана пунктирной линией максимальная скорость движения набегам при оптимальной длине разбега для разных толщин льда.

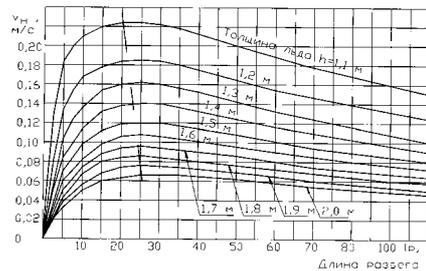


Рис. 4. Зависимости скорости движения набегам от длины разбега буксира во льдах различной толщины

Проанализировав полученные результаты, были сделаны следующие выводы.

В зависимости от ледовых условий буксир будет вынужден работать в различных режимах: во льдах толщиной до 0,9 м — непрерывным ходом, во льдах большей толщины набегам (см. рис. 1, 2).

Изменение скорости движения набегам $v_{\text{н}}$ при увеличении длины разбега $l_{\text{р}}$ имеет различный характер. При увеличении $l_{\text{р}}$ до 17 м средняя скорость растет интенсивно. При дальнейшем увеличении $l_{\text{р}}$ до 35 м скорость $v_{\text{н}}$ остается практически неизменной и лишь при дальнейшем увеличении $l_{\text{р}}$ скорость $v_{\text{н}}$ начинает плавно снижаться.

При длине разбега от 20 до 30 м скорость движения судна набегам максимальна. Это дает свободу выбора длины разбега судоводителю. Причем, чем толще лед, тем больше свобода выбора длины разбега у судоводителя.

При увеличении длины разбега буксира продвижение во льду за цикл увеличивается, следовательно уменьшается число циклов на единицу пути. Это может положительно сказаться на моторесурсе ЭУ из-за уменьшения числа реверсов.

Таким образом, чтобы преодолевать ледовые перемычки набегам с максимальной скоростью, отход необходимо совершать на расстояние от 15 до 40 м, что составляет 0,5–1 длины корпуса. Чем толще лед, тем больше оптимальная длина разбега.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zuev V.A., Gramuzov E.M., Kalinina N.V. Models of Interaction of Ice-Breakers with Ice Cover at Unstationary Conditions. — 13-th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Condition, August 15-18, Murmansk, Russia, St.-Petersburg, 1995, vol. 2.
2. Грамузов Е.М., Калинина Н.В. Оптимизация движения ледокола в тяжелых льдах. — 2-я Международная конф. по морским интеллектуальным технологиям, Санкт-Петербург, сентябрь 1997.
3. Зув В.А., Грамузов Е.М., Калинина Н.В. Ходкость речных ледоколов в тяжелых льдах. — Вторая Международная конф. по судостроению — ISC'98, 24–26 ноября 1998 г., Санкт-Петербург — С. 65–74.
4. Грамузов Е.М., Калинина Н.В., Солдаткин О.Б. Отработка математической модели динамики движения речного ледокола в тяжелых ледовых условиях на базе натурных испытаний. — НГТУ, Деп. в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 18.05.1998 г., № ДР-3662. 32 с.
5. Они же. Теоретико-экспериментальная модель движения речных ледоколов в тяжелых льдах. — В сб.: Физические технологии в машиноведении. Н.Новгород: «Интелсервис», 2000, вып. 2, с. 170–180.
6. Калинина Н.В. Выбор тактики движения ледоколов в тяжелых льдах с использованием бортового программно-аппаратного комплекса. — Науч.-техн. конф., посвященная памяти Р.Е. Алексева и И.И. Африкантова «Современные технологии в кораблестроительном и энергетическом образовании, науке и производстве», 23–26 октября 2006 г., Н. Новгород. ■

1 января 2008 г. исполнилось 70 лет доктору технических наук, профессору Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, генеральному директору ООО «НПО «Полярная звезда» Александру Петровичу Матлаху.

Его детство и ранняя юность прошли в Карелии на берегу Онежского озера, где им овладела мечта – строить корабли.

В 1958 г. А.П. Матлах поступил в Ленинградский кораблестроительный институт. Среди сокурсников он выделялся незаурядными способностями и активной жизненной позицией. Успешную учебу Александр Петрович совмещал с общественной работой и занятиями спортом. Он постоянно находился в центре жизни студенческого коллектива – во главе студенческих строительных отрядов, комсомольской организации, сборной команды института по баскетболу. От Ленинградской организации ВЛКСМ А.П. Матлах был избран делегатом XV съезда комсомола. В то же время уже на студенческой скамье он демонстрировал задатки серьезного, вдумчивого исследователя, работая с третьего курса на кафедрах строительной механики корабля и конструкции корпуса судов.

После окончания учебы в 1964 г. А.П. Матлах оставил в Ленинградском кораблестроительном институте, где он работает инженером НИСа, заведующим лабораторией, заместителем декана факультета. Ведя преподавательскую работу на кафедрах сопротивления материалов и теоретической механики, А.П. Матлах внес большой вклад в формирование современного облика Морского технического университета. Лекционные курсы, прочитанные им, уже сегодня стали классическими, учебные пособия, написанные А.П. Матлахом, не залеживаются на полках библиотек, они стали настольными книгами многих поколений студентов.

А.П. Матлах – инициатор и организатор создания ООО «НПО «По-

К 70-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА А.П. МАТЛАХА



лярная звезда» – организации, которая в трудное для страны время объединила ученых и специалистов СПбГМТУ, других вузов и предприятий отрасли, направив их творческий потенциал на решение важнейших задач, стоящих перед судостроительной промышленностью. С 1991 г. А.П. Матлах – бессменный руководитель НПО «Полярная звезда». За этот период под его руководством и при его непосредственном участии осуществлена комплексная научно-исследовательская программа по повышению конкурентоспособности транспортных судов отечественной постройки, проведен комплекс исследований по улучшению вибрационных условий обитаемости на кораблях и судах, выполнены уникальные исследования по оптимизации корпусных конструкций кораблей и судов, разработан ряд морских ин-

теллектуальных систем, обеспечивающих безопасность эксплуатации кораблей и судов. Специалисты НПО «Полярная звезда» участвовали в создании практически всех кораблей и судов, введенных в эксплуатацию за последние десять лет. В настоящее время А.П. Матлах осуществляет научное руководство программой по повышению надежности судов активного ледового плавания.

Заметным научным событием стала защита А.П. Матлахом докторской диссертации, выполненной на стыке передовых достижений строительной механики корабля и современных информационных технологий, которой, по существу, открыто новое научное направление.

Автор более 90 научных работ по различным проблемам строительной механики корабля, технической теории вибрации судов, информационных технологий, А.П. Матлах является действительным членом Санкт-Петербургской инженерной академии, академиком Академии истории науки и техники, членом редакционного совета журнала «Морской вестник».

Свое 70-летие Александр Петрович встречает в расцвете творческих сил.

Его друзья и коллеги от всей души желают ему и счастья, благополучия и новых творческих успехов на благо нашей Родины.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют Александра Петровича Матлаха, желают ему здоровья, удачи и плодотворной работы на пользу отечественного судостроения. ■



О ПРИРОДЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЯГУНОВ

В.Е. Новиков, канд. техн. наук, ст. помощник капитана

Тягун – это волны в бухтах и гаванях, вызывающие резкое горизонтальное перемещение судов, стоящих у причала или на якоре, и иногда, как следствие, обрывы швартовов, срыв с якорей. Тягун затрудняет погрузочно-разгрузочные работы, что приводит к значительному простое. Период тягуна – от 0,5 до 5 мин. высотой до 30 см.

Теории, объясняющей возникновение тягунов, пока еще нет, но предположительно они вызываются резонансом собственных колебаний масс воды в полузакрытых водных бассейнах с проникающей на их акваторию долгопериодической зыбью. Попробуем объяснить это явление с точки зрения гидродинамики.

На рис. 1 представлена принципиальная схема струйного насоса. Из сопла с диаметром отверстия D_0 высокоскоростной поток с массовым расходом Q_M^0 поступает в камеру смешения, имеющую диаметр D_T . За счет эжекции высокоскоростная струя увлекает за собой жидкость, окружающую сопло, передавая ей кинетическую энергию, и расширяется до тех пор, пока в сечении 2–2 не достигнет стенок камеры смешения. На участке I длиной l_3 от сечения 1–1 до 2–2 (назовем его *участком эжекции*) имеет место струйное течение, которое хорошо моделируется осесимметричной струей в безграничном пространстве. Здесь расход вдоль течения увеличивается за счет эжекции, а давление можно считать во всей области постоянным: давление на выходе из сопла p_0 равно давлению p_1 во всем сечении 1–1 давлению p_2 в сечении 2–2. Хотя объем жидкости на участке эжекции ограничен стенками, это не должно существенно сказываться на характеристиках струи, так как поток жидкости, вовлекаемой в струю как из безграничного пространства в случае модельной струи, так и из ограниченной области, окружающей сопло, при устройстве струйного насоса, деформируется сходным образом. В сечении 2–2 граница струи достигает стенки, и на участке II расход вдоль течения постоянен. В сечении 2–2 распределение продольной осредненной скорости неравномерное, и на участке II до сечения 3–3 эпюра скорости выравнивается

ся; часть кинетической энергии при этом переходит в потенциальную, и за счет этого возрастает гидродинамическое давление. Поток механической энергии на выходе из насоса в сечении 3–3 пропорционален произведению расхода на гидродинамический напор. С увеличением диаметра D_T возрастает расход, эжектируемый высокоскоростной струей, но уменьшается давление, а следовательно гидродинамический напор на выходе из насоса, так как при большем расширении турбулентного потока потери энергии на его расширение возрастают.

Оценим, как коэффициент полезного действия насоса зависит от отношения D_T/D_0 , используя результаты расчета осесимметричной турбулентной струи. Для этого рассмотрим турбулентную затопленную осесимметричную струю, возникающую при истечении жидкости из круглого отверстия диаметром D_0 со скоростью v_0 в пространство, заполненное той же жидкостью, на участке эжекции. В цилиндрической системе координат, показанной на рис. 1, массовый расход жидкости вдоль оси струи изменяется следующим образом:

$$Q_M = 4\pi^{3/2} \sigma \rho D_0 v_0 (x + D_0 / 16\sqrt{\pi\sigma}) = 0,467 \rho v_0 D_0 (x + 1,68 D_0),$$

где σ – эмпирическая постоянная, зависящая от турбулизованности потока на выходе из отверстия сопла: если выходной участок сопла цилиндрический (см. рис.1), то $\sigma = 0,021$, если же он конический сходящийся (конфузорный), то значение σ можно уменьшить

до 0,013; в последующих расчетах принято $\sigma = 0,021$.

Легко проверить, что второе слагаемое в скобках ($1,68 D_0 = x_Q$) определяет расход, поступающий из сопла:

$$Q_M^0 = \rho v_0 (\pi D_0^2 / 4),$$

а первое слагаемое – присоединенный, эжектируемый расход.

Распределение продольной осредненной скорости $u_x = u_x(x, r)$ выражается через значение скорости на оси трубы $u_{max} = u_{max}(x)$ и через значение полуширины $R = R(x)$, которую принимаем равной расстоянию от оси до точек, где продольная скорость u_x равна половине скорости на оси:

$$\bar{u}_x(x, R) = 1/2 u_{max}(x).$$

На больших по сравнению с диаметром отверстия сопла D_0 расстояниях от начала координат ($x \gg D_0$) для распределения скорости применим зависимость

$$\bar{u}_x = u_{max} / (1 + 0,414 r^2 / R^2)^2.$$

С достаточной для оценочных расчетов точностью, массовый расход в камере смешения Q_M^1 :

$$Q_M^0 = 0,86 Q_M^1 (D_T / D_0).$$

Используя это равенство, найдем

$$v_T / v_0 = 0,865 (D_T / D_0).$$

Если к цилиндрической трубе камеры смешения (участок II на рис.2) присоединить участок III в виде диффузора с площадью выходного сечения $\omega_d = \pi D_d^2 / 4$, полезная мощность насоса увеличится согласно формулы:

$$(p_4 - p_4) / \rho g = 2,4 v_T^2 / 2g.$$

Найдем распределение осредненной скорости в струе, используя цилиндрические координаты x, r, ϵ (рис. 3). составляющие осредненной скорости по соответствующим направлениям обозначим u_x, u_r, u_ϵ :

$$\bar{u}_x = \bar{u}_x(x, r), \bar{u}_r = \bar{u}_r(x, r), \bar{u}_\epsilon = 0.$$

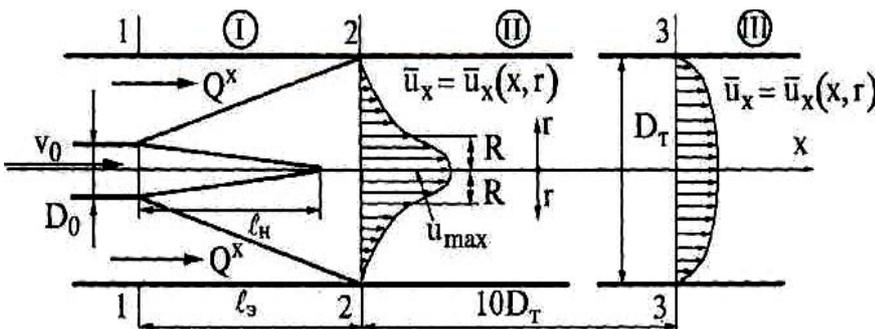


Рис. 1. Структура потока в струйном насосе

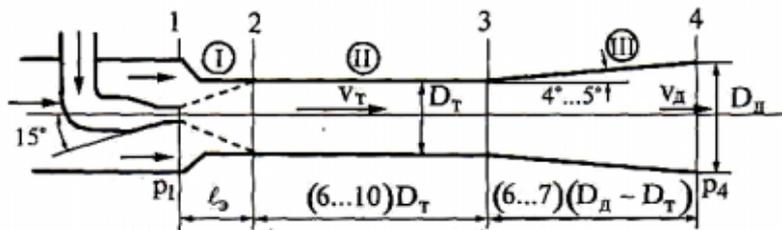


Рис. 2. Компоновка струйного насоса

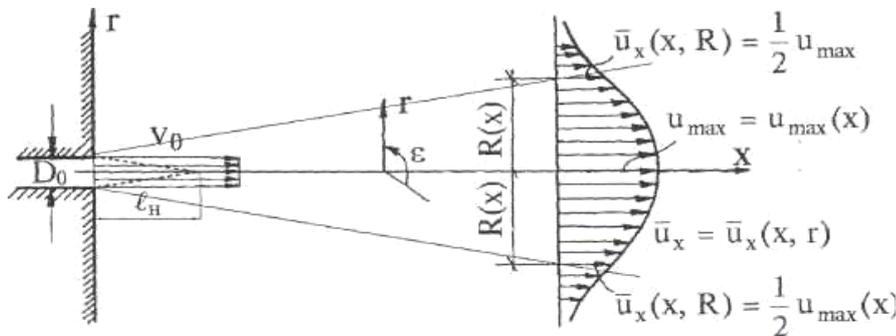


Рис. 3. Осесимметричная затопленная струя на большом удалении от отверстия

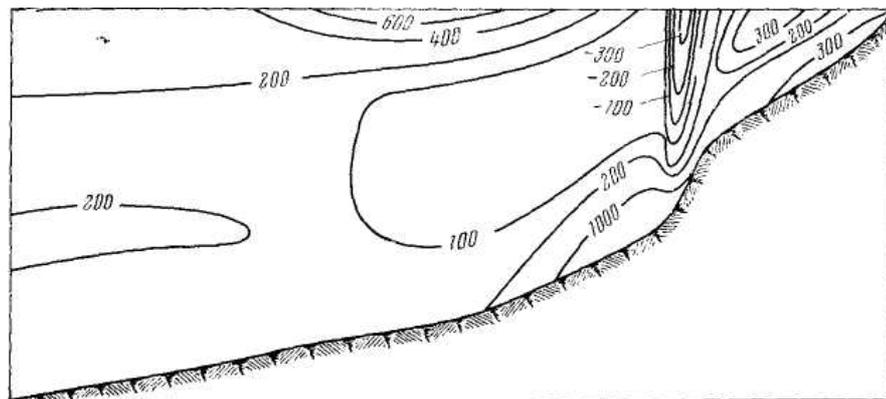


Рис. 4. Схема образования выраженных вихрей

Система уравнений турбулентного пограничного слоя и несжимаемости при условии, что давление во всей области течения принимается постоянным ($p = \text{const}$), в цилиндрических координатах в результате соответствующего упрощения имеет вид

$$\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} = -1/r \frac{\partial}{\partial r} (r \bar{u}_x \bar{u}_r);$$

$$\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + 1/r (\frac{\partial}{\partial r} (r \bar{u}_r)) = 0.$$

Примем следующие допущения:

1. Вся картина течения определяется плотностью ρ и вязкостью η жидкости, значениями диаметра D_0 и начальной скорости v_0 .

2. Поток количества движения $Q_1 = Q_1(x)$ в струе сохраняется постоянным вдоль оси x и равным его значению при $x = 0$:

$$Q_1(x) = \int \rho c [\bar{u}_x(x, r)]^2 2\pi r dr = Q_1(0) = \rho v_0^2 \pi (D_0^2/4).$$

3. На больших расстояниях от отверстия все характеристики турбулентной струи не зависят по отдельности от v_0 и D_0 , а зависят от произведения

$$v_0 D_0 \sim \sqrt{Q_1(0)} = \text{const}.$$

4. Согласно экспериментальным данным, коэффициент турбулентной вязкости η^T можно считать постоянным

во всей области, занятой струей. Из соотношений размерности кинематический коэффициент турбулентной вязкости $\nu^T = \eta^T/c$ можно выразить через определяющие параметры струи:

$$\nu^T = k v_0 D_0,$$

где k – безразмерный коэффициент, который в дальнейшем изложении будет заменен на параметр $\sigma = 2\sqrt{\pi}k$, хорошо изученный экспериментально. В результате преобразований имеем

$$Q_m(x) = 2\pi \rho v_0 D_0 2(\pi)^{1/2} \sigma x = 8\pi \nu^T x.$$

Иными словами, при истечении жидкости из отверстия отмечается эжекция, т.е. увеличение расхода Q_m вдоль оси x , что видно из вышеприведенной формулы.

Но для образования эжекции в естественных или искусственных гаванях необходимо наличие некоторых условий, в частности, сравнительно ровный рельеф дна. В противном случае может возникнуть противотечение, обусловленное изломом этого рельефа. Это видно из следующих опытных данных, полученных с помощью гидрологических исследований (рис. 4), где видны мощно выраженные вихри с горизонтальными осями, возникшие вследствие излома дна. На диаграмме видно, что над этим изломом возникает своеобразный «клин», очерченный изогнутыми отрицательной вертикальной устойчивости. Здесь проходят фронт конвергенции, и, как следствие, – противотечение, ослабляющее явление эжекции.

Можно предположить, что возникновение тягунов зависит от определенных условий, при которых создается подобие струйного насоса, а именно:

1. Гавань должна быть с узким горлом (входом), ограниченным молами или естественными берегами.
2. Непосредственно ко входу в гавань должна подходить струя с сильным прибрежным течением, способным вызвать выходящее течение из бухты, причем прибрежное течение может усиливаться попутным ветром.
3. Рельеф дна в гавани должен быть сравнительно ровным во избежание возникновения противотечений вследствие турбулентности потока. К сожалению, как было указано выше, сколько-нибудь полной теории возникновения тягунов еще не существует, поэтому здесь указаны возможные причины их образования, требующие дальнейших исследований. ■

А ва года назад в Санкт-Петербурге с большим успехом прошла конференция «FAST 2005». Поэтому следующая, девятая, конференция «FAST 2007», проходившая в Шанхае, не могла не вызвать интерес российских специалистов. В данном обзоре мы не ставили перед собой задачу последовательно анализировать каждую из представленных работ, тем более что уровень и ценность их варьировались в довольно широких пределах. Цель статьи – дать достаточно укрупненный анализ информации, полученной на конференции, поскольку традиционно она позволяет наметить тенденции развития скоростного флота, выявить наиболее актуальные научные задачи по продолжению указанных тенденций и оценить современные позиции различных стран и фирм, работающих на рынке скоростного судостроения.

На составе участников конференции, безусловно, сказались место ее проведения и тема. Проходила она в регионе, где сосредоточены три мощнейшие судостроительные державы мира – Корея, Япония и Китай, одновременно являющиеся крупными потребителями транспортных услуг. Уже на пленарном заседании был представлен доклад корейских специалистов о развитии сети коротких дистанций по Желтому морю, которая позволяет существенно разгрузить различные виды наземных сетей. Отмечались тенденции развития длинных составов барж с буксиром-толкачом (в качестве примера упоминался успешный переход 205-метрового состава из Китая в Италию в 2002 г.). Как эффективное средство перевозок больших объемов грузов на мелководье было представлено судно FLO/FLO (float in float off) – крупный баржевоз, осуществляющий погрузку барж на верхнюю палубу при погружении основного судна. Подчеркивалась также перспективность быстророходных контейнеровозов с принятием мер по их быстрой разгрузке и погрузке.

Одной из основных тем конференции являлось развитие скоростного судостроения Китая. На пленарном заседании был представлен соответствующий доклад китайского НИИ судостроения (CSSRC, Wuxi), содержащий перечень характеристик быстророходных судов, построенных в Китае, а именно были приведены данные:

- об 11 экранопланах (до 2003 г.); наибольший 1998 г. – весом 7.5 т;
- о разработке 200-тонного экраноплана (в данный момент проект находится на стадии самоходных моделей);
- о девяти проектах судов на подводных крыльях максимальным весом 118 т, построенных за последнее десяти-

летие (все суда весом 45–48 т со скоростями движения 70–80 км/ч);

- о шести проектах амфибийных судов на воздушной подушке (последнее из приведенных судов датировано 1996 г., максимальное водоизмещение судна (1995 г. постройки – 31 т; скорости всех судов – 75–80 уз);

- о семи скеговых судах постройки до 1995 г.; максимальное водоизмещение судна 1995 г. – 52 т; скорости – в пределах 25–30 уз.

Таким образом, указанный обзор позволяет проследить работы китайских судостроителей до начала XXI в.

Несколько более полную информацию можно извлечь из многочисленных статей научного характера, представленных на конференции китайскими специалистами. Статья Морского проектного и исследовательского института (MARIC, Шанхай), который уже более 40 лет работает над развитием скоростных судов различных типов, посвящена технологии судов на воздушной подушке. На базе анализа зарубежных (прежде всего российских) СВП были представлены сведения о систематических параметрах, оптимальных для СВП, а также о компьютерных технологиях оценки податливости подушки под действием гидродинамических и аэродинамических сил и результаты расчетов оптимизации распределения давлений внутри подушки с учетом расположения вентиляторов выполненных на базе пакета для расчета вязкого течения FLUENT. Специалистами этого института была также сделана попытка расчета устойчивости движения корабля и эффекта «затягивания» воздушной подушки; разработана система автоматического управления маневрированием и сохранения динамической устойчивости. Как сказано в статье,

результаты проведенных исследований были использованы при предварительном проектировании СВП размерами 57x24x19 м, весом 460 т, полезной нагрузкой 120 т, с высотой юбки 3,5 м и мощностью установки – 40 000 л.с. Его максимальная скорость – 60 уз и скорость при волнении 2 м и ветре 12 м/с – более 38 уз. Подчеркивается, что на большом волнении корабль будет иметь преимущества перед российским СВП «Зубр». Указанные исследования, как отмечается в статье, важны для развития все увеличивающихся в размерах проектируемых СВП нового поколения.

В продолжение темы специалисты MARIC опубликовали ряд работ, посвященных специальным аспектам проектирования СВП:

- исследованию неравномерности потока на входе в газовые турбины СВП и разработке расчетного метода определения характеристик потока и оптимизации воздухоприемников СВП;
- разработке метода и программы для расчета поперечной устойчивости СВП, в частности при наличии рыскания с учетом волнения;
- разработке компьютерного метода исследования маневренности и устойчивости на курсе СВП;
- разработке элементов конструкции СВП из алюминиевых сплавов.

Таким образом, представленные доклады демонстрируют достаточно широкий фронт исследований, посвященных СВП, проводимых в MARIC.

Следует отметить, что тематика СВП на конференции практически полностью исчерпывалась описанными выше работами китайских специалистов. Еще только один доклад от группы норвежских компаний, включая Агентство по управлению оборонными

ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ СКОРОСТНОГО ФЛОТА ПО МАТЕРИАЛАМ ВЫСТАВКИ «FAST 2007»

А.В. Пустошный, *д-р техн. наук, член-корр. РАН, начальник отделения – зам. директора ФГУП «ГНЦ РФ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»»*

системами и институт MARINTEK, был посвящен скеговому СВП (о влиянии увеличения нагрузки скегового СВП на его ходовые качества).

Значительно более широкой оказалась «география» авторов работ, посвященных разработке экранопланов. Прежде всего необходимо отметить ряд работ российских специалистов из Морского Регистра судоходства и ЦНИИ МФ. В настоящее время разработанные Регистром «Правила классификации и постройки экранопланов типа А» и под его руководством «Промежуточное руководство по безопасности экранопланов» (Interim Guidelines for WIG Craft safety) являются первыми и практически уникальными документами классификации экранопланов. Именно поэтому популяризация и внедрение этих документов является в настоящее время важной задачей Регистра, особенно учитывая международный интерес к этой тематике, о чем будет сказано ниже.

Близкий по теме доклад о разработке требований ИМО к квалификации офицеров экранопланов был представлен от ЦНИИ МФ. От Международного института передовых аэрокосмических технологий при Университете аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург) было прочитано сообщение о проектировании и создании систем управления для обитаемых экранопланов при выполнении патрульных и спасательных операций.

Китайские специалисты CSSRC представили доклад об изучении пространственного движения экраноплана с учетом значительного взаимодействия продольного и поперечного движений, особенно актуальных для зоны переходной от зоны действия экрана к зоне, где экран не действует. Ими были рассмотрены вопросы проектирования автоматизированных систем управления экранопланом. В другом докладе CSSRC, посвященном расчетному прогнозированию аэродинамических качеств экраноплана и его продольной устойчивости, выполнены расчетные оценки аэродинамических характеристик экраноплана по программе FLUENT и на базе анализа полученных расчетных зависимостей аэродинамических характеристик от таких параметров, как дифферент и высота полета, сделаны выводы об устойчивости полета экраноплана, что означает создание полностью расчетной методики ее оценки.

В третьем, весьма кратком, сообщении CSSR сделана теоретическая попытка увязать устойчивость движения экраноплана и мощность двигателей, сформулировав, таким образом, критерий выбора необходимой мощности экраноплана.

Активные разработки транспортных экранопланов ведутся и в Южной Корее. На конференции был представлен доклад о разработках Институтом MOERI экраноплана на 20 пассажиров (рис. 1).



Рис. 1. Полунатурные испытания модели экраноплана в Институте MOERI (Ю. Корея)

Проект находится в достаточно продвинутой стадии, что подтверждают описание и демонстрация фильма об успешных полунатурных испытаниях модели экраноплана самолетной схемы.

В сообщении о совместных работах Вьетнамской академии наук и технологий и Токийского университета по развитию малого (для одного-двух пассажиров) экраноплана весом 400 кг для исследовательских целей. Проект разрабатывался по схеме «утка», для которой выполнены расчетные исследования и продувки в аэродинамической трубе. Строительство экраноплана должно быть завершено в течение нескольких месяцев.

Представители Токийского университета представили более подробный доклад об испытаниях нескольких моделей экранопланов типа «утка», где вьетнамский проект был лишь частью работ. Большое внимание ученые уделили организации экспериментов с самоходными моделями экранопланов и анализу их результатов.

В докладе специалистов Университета Палермо рассматривались разработка управляющей системы ультра-легкого экраноплана весом 344 кг при размахе носового и кормового крыльев (схемы «утка – тандем») 5,56 м.

Таким образом, исследования в области проектирования экранопланов продемонстрировали целый ряд стран, прежде всего из Азии. Уровень указанных программ весьма различается – от университетских упражнений до прагматично развиваемых прикладных программ. Применение экранопланов видится специалистам на малооборудованных линиях как альтернатива перегруженным другим видам транспорта. Из наиболее разработанных на конференции тем докладов следует назвать работу над многокорпусными судами.

Китайские специалисты продемонстрировали, что в стране активно ведутся исследования в этой области. Харбинский университет представил расчетный метод оценки волнового сопротивления многокорпусных судов на примере тримарана и пентамарана. Расчетный метод оценки характеристик качки тримарана основан на 2.5D-теории тонкого тела (сочетание двумерной теории тонкого тела с пространственными граничными условиями). Были представлены результаты расчета характеристик качки тримарана, неплохо совпадающие с экспериментальными данными. Ими также была представлена работа об эффекте влияния воздушной подушки под мостом тримарана на характеристики слеминга. Показано, что имеет место достаточно сильное влияние, снижающее слеминг, однако этот эффект в значительной степени зависит от скорости слеминга и снижается по экспоненте второй степени при увеличении этой скорости. Расчетный метод определения сопротивления, тестовые модельные испытания тримарана и попытка на базе метода оптимизировать расположение корпусов были описаны в докладе Шанхайского университета.

Доклад представителей Норвежского университета науки и технологий и фирмы «Austal» (Австралия) был посвящен натурной проверке расчетной и модельной и экспериментальной оценки характеристик маневренности тримарана постройки этой фирмы.

Сообщение об исследовании волновой картины при движении катамарана представил Австралийский морской колледж на Тасмании. Специалистами бассейна Тэйлора анализируются возможности расчета качки скоростного тримарана различными методами. Приводятся характеристики качки для различных (вплоть до 55-узловой скорости).

Более традиционной катамаранной тематике были посвящены доклады:

- об исследовании затухания волнения от катамарана на мелководье (Австралийский морской колледж);
- о расчетах движения и качки катамарана с корпусом Виглея на встречном и косом волнении методом трехмерной функции Грина (Университет в Йокгаме, Япония);
- об экспериментальных данных о качке катамарана на встречном и косом волнении, (Австралийские университеты – Тасмании и Южного Уэльса);
- об исследовании вибрации при слеминге на сегментной модели катамарана (Университет Тасмании);
- о прогнозировании качки движущегося катамарана с учетом вязких эффектов для модели серии 64 (CSSRC);

– о разработке метода оценки проектных волновых нагрузок на СМПВ (CSSRC).

Специальная сессия была посвящена отчетам о разработках в области судов на воздушной каверне, которая подтвердила ведущие позиции России в этой области, однако показало быстрое освоение темы в Китае (Морской технический университет в Ухани).

Из необычных судов следует отметить опубликованный, но не прочитанный доклад о разработке в Италии (Университет Генуи с участием Rodriguez и ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова) судна с малым влиянием на окружающую среду. Оно представляет собой практически тримаран с центральным корпусом – СМПВ. В докладе рассмотрены проектные аспекты создания судна.

Также новой можно считать концепцию, обозначенную фирмой «Navatek» (Гавайские о-ва, США), об эффективности судна «Bow Lifting Body Ship» с несущим носом, в котором сделано специальное довольно большое тело, представляющее собой сочетание выдвинутого вперед бульба с большими вырастающими из него крыльями в сочетании с небольшим кормовым крылом. На базе модельных испытаний и 21-метрового технологического демонстратора (модное направление продвижения новых технических решений в США, которому в российской практике наиболее соответствует термин «полунатура») показана возможность снижения сопротивления на 20–25% при улучшении мореходности. В ходе обсуждения авторы признали, что есть опасность слемминга на носовых крыльях, однако конструкция должна допускать возможность ударных нагрузок, и крылья проектировались, исходя из этой возможности (рис.2).

Конференция продемонстрировала кропотливую достаточно рутинную, но чрезвычайно полезную работу по развитию двигателей вообще и быстроходных судов в частности. Опубликованы сообщения о разработке двух серий ЧПГВ: пятилопастной серии ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и шестилопастной серии CSSRC. Поскольку оба института имеют возможность проведения испытаний в своих кавитационных бассейнах, удалось получить большой объем экспериментальных данных о влиянии различных геометрических и эксплуатационных параметров ЧПГВ на гидродинамические характеристики.

Всеобъемлющий доклад, представленный Гамбургским бассейном, был посвящен кавитационной эрозии рулей и винтов, в котором были приведены данные модельных и натурных испы-

таний, проанализирована физика явления, рассмотрены мероприятия по борьбе с эрозией.

Два доклада были сделаны о развитии водометов: в докладе «Wartsila Propulsion» (Голландия) рассматривалась возможность применения аксиального движителя с пониженными поперечными габаритами, что позволяет использовать его, например, на узких корпусах катамаранов. «Kamewa Waterjets» представила доклад о разработке «очень больших» (диаметром более 2 м) водометов, где было сказано об исследованиях различных деформаций (от деформаций корпуса, валопровода, температурные деформации) и конструктивных мерах по устранению влияния указанных деформаций на зазор между рабочим колесом и корпусом.

Об исследовании вихревой системы за винтом говорили специалисты «INSEAN» (Италия). В их работе были представлены очень интересные картины развития дальнего вихревого следа с демонстрацией постепенного перехода от системы с лопастной частотой к системе с вальной частотой, т.е. с постепенным объединением вихревых структур. Результат является новым, требует осмысления специалистами и может иметь определенные практические последствия.

Две работы оказались посвящены развитию компьютерных методов расчета двигателей. В первой работе, представленной MARINTEK (Норвегия), говорилось о разработке программы расчета гидродинамических характеристик тянущих колонок

вязкопотенциальным методом; во второй сообщалось о расчетах масштабного эффекта и вязкого потока на винте в насадке (выполнены по программе, проводимой совместно MARINTEK и CSSRC). Уровень обоих докладов очень высок, в них речь шла о разработке программ, которые, возможно, будут использоваться в течение ряда лет как рабочий инструмент в указанных исследовательских центрах.

Следует упомянуть также работу, представленную MARINTEK, в которой разработаны метод аппроксимации и программа по аппроксимации серии Гауна–Бэррилла гребных винтов скоростных судов. Особенностью аппроксимации является то, что она учитывает существенно нелинейные гидродинамические характеристики винтов при наличии кавитации.

Материалы конференции позволяют проследить развитие скоростных судов в США, где за последние годы интерес к ним «подогревается» тенденцией к увеличению скоростей быстроходных судов. Выше уже упоминались разработки фирмы «Navatek» с Гавайских островов.

Бассейн Дэвида Тэйлора делегировал на конференцию ряд специалистов, работающих и по новым концепциям скоростных кораблей. Ими, в частности, были представлены результаты работ с 2004 г. по программе «Joint High Speed Sealift Ship», предусматривающей разработку корпуса судна по перевозке персонала длиной по ватерлинии 289 м; шириной 31.98 м, осадкой 8.79 м; водоизмещением 37 000 т, мощностью дви-

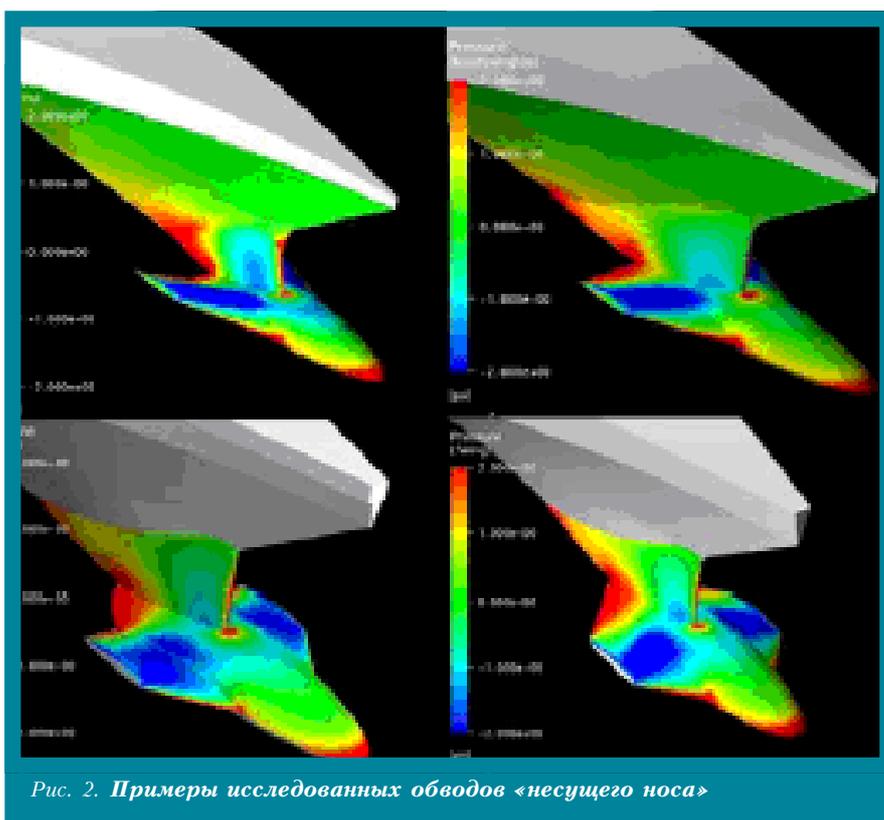


Рис. 2. Примеры исследованных обводов «несущего носа»

гателей – не более 240 000 кВт, скоростью полного хода не ниже 36 уз (цель – 39 уз). Для указанного судна была проведена обширная программа гидродинамических испытаний, которая включала выбор конфигурации бульба, обоснование эффективности и выбор типа транцевой плиты, рассмотрена возможность применения различных типов движителей (четырёх винтов, четырёх водометов аксиального типа или четыре водомета большего диаметра смешанного типа). В докладе все указанные результаты представлены в достаточной для анализа форме. Показано, что при применении осевых водометов уменьшенных габаритов требуется меньшего увеличения площади транца, чем обычные водометы, при этом можно уменьшить мощность примерно на 15–20% по сравнению с мощностью для винтового варианта за счет отсутствия у водометов выступающих частей. Таким образом, осевые водометы с уменьшенным диаметром становятся одними из перспективных для кораблей ВМФ.

Отдельный доклад (также от бассейна Тэйлора) был посвящен сочетанию транцевых плит и водометов. По-

казано, что оно вполне приемлемо и может обеспечить хорошие характеристики сопротивления.

Специалисты Береговой охраны США совместно с Университетом в Дельфте (Голландия) познакомили с работами по проектированию высокоскоростного корабля. Ими были сопоставлены несколько корпусов, в частности волнопротыкающий и с сильно заглубленным носом, а также с различными формами скул. Рассмотрены аспекты общего проектирования и цены. Содержатся требования, предъявляемые к мореходным качествам корабля. В работе использована библиотека программ, создаваемая сейчас НАТО в качестве стандартизованной.

При анализе материалов конференции обращает на себя внимание интенсивное развитие расчетных методов оценки сопротивления. Этими проблемами занимаются специалисты Бассейна Тэйлора в соавторстве с Шанхайским университетом и университетом Джорджа Мейсона (США), Гидродинамической лаборатории в Нанте (Франция). Анализ этих методов был представлен в докладе специалистов Загребского университета.

ВЫВОДЫ

Конференция «FAST 2007» показала что азиатские страны, особенно Китай, большое внимание уделяет развитию экранопланов и судов на воздушной подушке. При этом исследования ведутся с применением современных методов и касаются весьма тонких деталей проектирования указанных судов.

Успешно реализуется программа развития экранопланов в Корее.

В работах главным образом представителей США нашла отражение тенденция к увеличению скоростей до 35–40 уз больших водоизмещающих кораблей.

Существенное развитие получили компьютерные методы расчета сопротивления и работы движителей.

При разработке формы скоростных судов усилия направлены прежде всего на обеспечение высоких мореходных характеристик при сохранении приемлемой экономичности.

В исследованиях, посвященных развитию скоростных судов существенное место отводится тримаранам как наиболее экономичным и мореходным судам, т.е. наиболее перспективным. ■



International Conference on innovative approaches to further increase speed of fast marine vehicles, moving above, under and in water surface, July 2-4, 2008, Saint-Petersburg, RUSSIA

Международная конференция SuperFAST2008 (www.superfast2008.smtu.ru) организуется Санкт-Петербургским отделением Института морского инжиниринга, науки и технологии совместно с Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом в период со 2 по 4 июля 2008 г. и посвящена современным подходам к дальнейшему увеличению скорости судов и аппаратов, движущихся **над и под** свободной поверхностью воды и **на** ней.

Основные направления работы конференции:

Сверхскоростные суда и аппараты, движущиеся над водой (экрanoпланы, гидросамолеты).

Сверхскоростные суда и аппараты, движущиеся по поверхности воды (полупогруженные, глиссирующие, СПК и СВП).

Сверхскоростное движение под водой (в том числе при наличии суперкавитации).

Особое внимание уделяется вопросам гидроаэродинамики сверхскоростного движения: околоэкранный полет, движение на подводных крыльях и воздушной подушке, глиссирование, вход в воду, суперкавитация, многофазные струи, до/транс/сверхзвуковые течения воды и др.

Сроки представления материалов

1 марта 2008 – тезисы докладов (объемом не более одной страницы);

15 марта 2008 – извещение о принятии докладов;

15 мая 2008 – полные тексты докладов.

Заявки присылать проректору СПбГМТУ профессору К.В. Рождественскому (tel/fax +7 812 714 2923, e-mail kvrxmas@yahoo.com и kvr@smtu.ru)