

Среди задач, которые были решены при технологической подготовке и в процессе изготовления подъемно-мачтового устройства (ПМУ) по проекту «Лада» ЦКБ МТ «Рубин», можно выделить несколько небольших, но, на наш взгляд, заслуживающих внимания моментов, которые предлагаются вниманию читателей.

**1. Обработка точного осевого отверстия в выдвижном обтекателе ПМУ без применения дорогостоящей оснастки.** Выдвижной обтекатель ПМУ представляет собой сварную конструкцию каплевидной в поперечном сечении формы. Обрабатываемое отверстие имеет ЖЗ20Н9, длину около 3 м, шероховатость поверхности  $R_a=1,6$  мкм и расположено в трубе из коррозионно-стойкой стали марки 08Х18Н10Т.

Отверстие обрабатывалось на горизонтально-расточном станке с разворотом стола и закреплением режущего инструмента в штатной резцовой оправке. Выверка обтекателя после разворота стола проводилась силами лаборатории линейных и угловых измерений специального метрологического производства ФГУП «Адмиралтейские верфи».

Данный метод, результаты которого в некоторой степени зависят от колебаний температуры окружающей среды, позволил существенно сократить затраты на изготовление технологической оснастки.

Таким образом, задача механической обработки указанного отверстия была решена без применения дорогостоящей технологической оснастки, такой как борштанга, установочные подшипники и т.п.

**2. Обработка опорных вкладышей из материала УГЭТ.** В нижней части выдвижного обтекателя ПМУ расположены два пояса опорных вкладышей из композиционного материала УГЭТ разработки и производства ЦНИИ КМ «Прометей», исполняющие роль подшипников скольжения при подъеме-опускании обтекателя в шахте ПМУ.

Данный материал, представляющий собой композицию на основе графита и стекловолокна, имеет свойство при обработке оказывать повышенное изнашивающее воздействие на режущий инструмент. Это вынудило начать поиск оптимальных для данного материала режимов резания и геометрии режущего инструмента, которые в итоге и были найдены. При разработке технологии раскроя и обработки заготовок из УГЭТ также учитывалось направление волокон в готовой детали, дабы избежать расслоений и сколов материала от детали при эксплуатации.

Кроме того, для предотвращения загрязнения воздуха рабочей зоны мел-

# НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНО-МАЧТОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОЕКТА «ЛАДА»

*О. П. Салий, инженер-технолог, ФГУП «Адмиралтейские верфи»*

кодисперсной графитовой и стекловолоконной пылью применялся подвод в зону резания СОЖ с повышенным ее расходом.

**3. Окончательная обработка фланцев и направляющей на гидроцилиндре совместно с получением классного отверстия.** Некоторые из гидроцилиндров ПМУ представляют собой корпусные конструкции, состоящие из следующих частей:

- труба с классным отверстием;
- приваренный к трубе полуобтекатель;
- приваренные к полуобтекателю и поперечным ребрам жесткости продольные Г-образные фланцы (2 шт.), предназначенные для стыковки гидроцилиндра с ответным полуобтекателем;
- приваренная к трубе и поперечным ребрам жесткости П-образная направляющая, предназначенная для подъема-опускания собственно мачты с целевой системой.

П-образная направляющая и Г-образные фланцы изготавливаются из коррозионно-стойкой стали 14Х17Н2, имеют длину около 5 м и должны соответствовать следующим требованиям:

- точность поперечных размеров – Н11, h11;
- отклонение от прямолинейности – не более 0,16 мм на всей длине;
- отклонение от взаимной параллельности парных поверхностей – не более половины допуска на соответствующий размер;
- отклонение от параллельности с осью отверстия в трубе – не более 0,25 мм на всей длине.

Отверстие в трубе, в свою очередь, должно соответствовать следующим требованиям:

- точность диаметрального размера – Н7–Н8;
- отклонение от прямолинейности оси – не более 0,1 мм на длине 1 м.

Обработка направляющих на гидроцилиндре осложняется необходимостью исключить деформирующее воздействие на классное отверстие от сжима внутренних напряжений в процессе строгания.

Данная задача решена путем разбивки операционных припусков в операциях строгания и глубокого сверления на несколько частей с попеременным их съемом:

- черновое строгание направляющей и фланцев с базированием на наружную поверхность трубы;
- черновое растачивание отверстия в трубе с базированием на обработанные поверхности фланцев;
- чистовое строгание направляющей и фланцев с выверкой по внутренней поверхности трубы и на минимальных режимах резания;
- чистовое растачивание отверстия в трубе с базированием на обработанные поверхности фланцев.

Как показала опытная обработка таких конструкций подобным методом, необходимость в каких-либо специальных методиках или спецоснастке в данном случае отпадает.

**4. Сборка и испытание гидроприводов ПМУ в горизонтальном положении с обеспечением требуемой чистоты на полузакрытом участке сборки.** В связи с большими продольными размерами гидроприводов их окончательная сборка и испытание выполнялись в горизонтальном положении. Для этого был спроектирован и изготовлен специальный стенд, представляющий собой стол с продольными Т-образными пазами длиной около 12 м. Гидропривод на столе устанавливался на подвижных стойках, перемещающихся по продольным пазам. Шток гидропривода, к которому подводилась рабочая жидкость, своим основанием крепился в хомуте на непод-

вижной стойке. Данная схема установки имитирует штатное положение подвижных и неподвижных частей гидропривода в составе ПМУ. В таком положении и испытывался гидропривод на плотность рабочей полости и на работоспособность. Гидросистема стенда запитывалась испытательным давлением  $P_{исп} = 19$  МПа от передвижной насосной станции с достаточно большой расходной характеристикой, используемой на период испытаний.

Задача сборки и испытания гидроприводов ПМУ осложнялась тем, что, согласно чертежу, эти операции должны выполняться в соответствии с требованиями ОСТ 5Р.5599-92 (класс 2), предписывающим создание спецучастка сборки и испытаний с повышенными требованиями к чистоте рабочей зоны.

Специализированный участок сборки и испытаний гидроприводов ПМУ представляет собой площадку на сборочном участке механосборочного цеха, огороженную металлическим забором высотой 2,5 м. Пол спецучастка вымощен керамической плиткой и перед началом работ подвергался влажной уборке. Окончательная сборка и испытания проводились преимущественно в вечернее время, когда содержание загрязняющих частиц в воздухе рабочей зоны понижено.

Проведение данного комплекса мероприятий позволило выполнить требования НТД по классу чистоты гидроприводов ПМУ без сооружения дорогостоящего закрытого спецучастка.

**5. Правка и последующий контроль прямолинейности гидроцилиндра с классным отверстием, деформированного после удара.** Во время операции сборки одного из ПМУ при транспортировке выдвигного обтекателя в сборе с гидроприводом произошел обрыв стропа, в результате чего конструкция упала на пол с высоты около 2 м и появилась, в частности, видимая деформация цилиндра гидропривода.

После разборки и контроля прямолинейности гидроцилиндра на токарном станке, выявившего деформацию цилиндра со стрелкой прогиба около 4 мм, было принято решение отрихтовать цилиндр до соответствия его требованиям чертежа (прямолинейность оси отверстия – 0,1 мм на длине 1 м).

Рихтовка производилась комбинированным методом:

- прогревом наружной поверхности цилиндра пламенем газовой горелки до  $t \approx 350^\circ\text{C}$  в месте перегиба с выпуклой стороны; максимум температуры определен, исходя из условия сохранения сталями 12Х18Н10Т свойства отсутствия склонности к межкристаллитной коррозии;

- механическим способом, в процессе которого цилиндр укладывался на призмы на равном расстоянии от места перегиба; усилие рихтовки прилагалось в месте перегиба с выпуклой стороны также через призму. В местах укладки цилиндра и приложения усилия рихтовки внутри классного отверстия плотно устанавливались бронзовые кольца для предотвращения излома на поверхности отверстия. Стрелка прогиба при рихтовке контролировалась по индикатору часового типа, а также путем оценки легкости прохождения плотно сидящих в отверстии бронзовых колец по разным сторонам от перегиба.

Окончательный контроль прямолинейности оси классного отверстия проводился оптическим методом при протягивании специальной мишени силами лаборатории линейных и угловых измерений специального метрологического производства ФГУП «Адмиралтейские верфи». После получения положительных результатов было повторно финишно обработано отверстие до шероховатости поверхности  $R_a = 0,2$  мкм на специальном сверлильно-расточном станке.

Данный опыт показал, что существует возможность при необходимости осуществить рихтовку деформированного в известных пределах гидроцилиндра до соответствия его требованиям чертежа.

**6. Сборка полушахт в шахты ПМУ.** Шахта ПМУ представляет собой прямоугольную в поперечном сечении, решетчатую сварную конструкцию высотой более 5 м. В нижней части выдвигного обтекателя ПМУ расположены два пояса опорных вкладышей с базой около 1,5 м. В каждом поясе установлено по четыре вкладыша из композиционного материала УГЭТ. Движение обтекателя внутри шахты происходит с опорой вкладышей обтекателя на угольковые направляющие, расположенные в углах шахты. Схема предполагает наличие повышенных требований к точности геометрических размеров, относительного расположения и отклонения формы рабочих поверхностей направляющих шахты:

- точность поперечных размеров – Н9;
- отклонение от прямолинейности направляющей – не более 0,16 мм на длине 5 м;
- отклонения от плоскостности, взаимной параллельности и перпендикулярности соответствующих поверхностей – не более 0,1 мм.

Эти требования налагают «отпечаток» на технологический процесс сборки шахт ПМУ. В частности, для пригонки и контроля был спроектирован и изготовлен специальный калибр, имитирующий опорную базу обтекателя. Калибр представляет собой коробчатую сварную конструкцию из стального уголка с расположенными на ней мерными платниками в количестве 12 шт. в трех поясах (у верхнего среза калибра, у нижнего среза и посередине). Контроль точности взаимного расположения платников на калибре осуществлялся специальными средствами измерения силами фирмы-подрядчика «Бум-техно». Контроль расположения направляющих производился щупами при протаскивании калибра вдоль шахты. Контроль прямолинейности и плоскостности направляющих производился поверочными линейками «на краску».

**7. Использование аппарата «БУФО» для обработки штоков гидроприводов.** В состав конструкции гидроприводов ПМУ помимо прочего входят штоки различных типоразмеров длиной более 4 м. Шток гидропривода изготовлен из коррозионно-стойкой стали марки 12Х18Н10Т и должен отвечать следующим требованиям:

- точность диаметрального размера – f8;
- шероховатость поверхности должна соответствовать  $R_a = 0,2$  мкм;
- отклонение от прямолинейности оси – не более 0,16 мм на всю длину.

Соответствие требованиям по точности диаметрального размера и отклонению от прямолинейности достигалось при токарной обработке на токарно-винторезном станке 1М63Н8. Соответствие же требованиям по шероховатости рабочей поверхности штока достигалось применением аппарата «БУФО» (безабразивная ультразвуковая финишная обработка). Аппарат устанавливался на суппорте того же станка без переустановки штока после токарной обработки.

Принцип действия аппарата «БУФО» основан на сглаживании неровностей микрорельефа поверхности детали посредством ударов об нее рабочего органа аппарата (бойка с твердосплавным закругленным отполированным наконечником) с ультразвуковой частотой. Сила предварительного поджатия бойка определялась по рекомендациям фирмы-производителя аппарата, а скорость вращения штока и величина продольной подачи суппорта станка с аппаратом «БУФО» определялись экспериментально из условия достижения максимальной производительности труда при необходимой шероховатости поверхности.

Таким образом, применение этой передовой технологии позволило отказаться на данном этапе от приобретения дополнительного круглошлифовального станка с расстоянием между центрами до 6 м. ■

**М**еханизация и автоматизация изготовления корпусных конструкций – эффективное средство сокращения продолжительности (П) и трудоемкости (Т) их производства.

С этой целью в зарубежном судостроении до сих пор широко применяют комплексно-механизированные поточные линии (МПЛ) для изготовления узлов (микропанелей), плоских подсекций и секций сборочных единиц (СЕ) корпуса судна. В отечественном судостроении МПЛ внедрялись в 70 – 80-х гг. прошлого века на многих верфях отрасли, но затем в связи со спадом строительства судов МПЛ на этих верфях пришли в упадок и в основном были демонтированы. Однако отечественное судостроение, переживая кризисный период, тем не менее начинает свое возрождение, и снова актуальным становятся механизация и автоматизация корпусосборочного производства, что диктуется дефицитом квалифицированной рабочей силы и возрастающей ее стоимостью. Но принятие решения о закупке МПЛ за рубежом или сооружение их силами верфей требует точных и убедительных технико-экономических обоснований. Одним из важнейших вопросов этого обоснования является уточненный расчет производственной мощности МПЛ, ее производительности, которая сводится к расчету пропускной способности (ПС) линии, определяемой продолжительностью изготовления СЕ на МПЛ.

Несмотря на широкое проектирование технологических схем МПЛ в прошлом, в отрасли нет методики уточненного расчета П и Т изготовления СЕ на МПЛ в зависимости от уровня механизации сборочно-сварочных и транспортных операций на их позициях.

В настоящей статье предлагается методика уточненного расчета П изготовления плоских подсекций и секций на линии плоских секций (ЛПС), основанная на детализации процесса их изготовления, П изготовления плоских подсекций на ЛПС, состоящей из шести позиций, складывается из П операций, выполняющихся на каждой позиции ЛПС. Цикл (мин) изготовления подсекций на ЛПС:

$$Ц_c = \frac{\sum l_{ш}}{V_{oc}(s)} + \frac{\sum l_k}{V_p(s)} + \frac{\sum l_n}{V_p} + \frac{\sum l_{нн}}{V_{нн}(k)} + \frac{\sum l_{вн}}{P_{св} V_{вн}(k)} + \frac{5n_{вн}}{P_{сб}} + 3,5n_{нн} + 36.$$

Здесь  $\sum l_{ш}$  – суммарная длина сварных швов полотна при односторонней автоматической сварки швов с обратным формированием шва, м;  $V_{oc}(s)$  – скорость односторонней сварки в зависимости от толщины  $s$  листов полотна, м/мин;  $\sum l_k$  – суммарная длина контурных кромок полотна, м;  $V_p(s)$  – скорость тепловой резки в зависимости от толщины  $s$  листов полотна, м/мин;  $\sum l_n$  – суммарная длина низкого и высокого на-

# ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ И СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

**В.Ю. Лейзерман**, д-р техн. наук,  
**В.М. Антонов**, канд. техн. наук,  
**А.С. Водопьян**, аспирант СПбГМТУ

бора, расположение которого размечается на полотне, м;  $V_p$  – скорость разметки положения набора, м/мин;  $\sum l_{нн}$  – суммарная длина сварных швов низкого набора, м;  $V_{нн}(k)$  – скорость приварки низкого набора к полотну в зависимости от калибра  $k$  тавровых соединений, м/мин;  $\sum l_{вн}$  – суммарная длина сварных швов высокого набора, включая вертикальные крестообразные швы, м;  $V_{вн}(k)$  – скорость сварки высокого набора между собой и его приварки к полотну в  $CO_2$  в зависимости от калибра  $k$  тавровых соединений, м/мин;  $P_{св}$  – количество сварщиков сваривающих высокий набор, чел.;

$\frac{5n_{вн}}{P_{сб}}$  – продолжительность установки высокого набора, мин;  $n_{вн}$  – количество единиц высокого набора, шт;  $P_{сб}$  – количество сборщиков устанавливающих высокий набор, чел; 5 – количество минут на установку одной единицы высокого набора на полотно с электроприхваткой его к полотну, мин;  $3,5n_{нн}$  – продолжительность загрузки низкого набора в поддоны на тележку, ее перемещения в зону выгрузки набора, его выгрузки из тележки порталом, подача на полотно, позиционирования, автоматической приварки к полотну и тактового перемещения полотна с набором в процессе изготовления подсекции, мин; 36 – суммарное время сборки полотна с приваркой выводных планок на 1-й позиции линии, перемещения полотна с приваренными к нему низким набором на позицию установки высокого набора и переездки готовой подсекции с ЛПС на трейлер, мин.

Трудоемкость (нормо-ч) изготовления подсекции на ЛПС

$$T_0 = \frac{Ц_c \cdot P_0}{60},$$

где  $P_0$  – суммарное количество рабочих обеспечивающих работу линии.

В качестве примера ниже указана продолжительность изготовления некоторых подсекций цилиндрической встав-

## Характеристики продолжительности изготовления ряда подсекций цилиндрической вставки танкера

Наименование секции и ее масса, т	Наименование подсекции	Продолжительность изготовления на ЛПС, ч	Сокращение продолжительности по сравнению с изготовлением на сборочно-сварочных площадях вне ЛПС, ч	Во сколько раз продолжительность изготовления на ЛПС меньше
Днищевая центральная 53,0	Наружняя обшивка с низким и высоким набором	13,5	177	13
	Настил 2-го дна с низким набором	10,8	111	10
Днищевая правого борта 23,5	Наружняя обшивка с низким и высоким набором	6,7	83	12
	Настил 2-го дна с низким набором	5,0	43	9
Бортовая правого борта 41,5	Наружняя обшивка с низким и высоким набором	11,4	149	13
	Обшивка внутреннего борта с низким набором	10,6	73	7
Палубная 27,6	Палубный настил с низким набором и тавровыми балками на настиле	16,6	86	5
	Всего	74,5		

ки танкера  $D_w = 47,4$  тыс. т, рассчитанные по изложенной методике.

Суммарная Т на ЛПС составляет 678 нормо-ч, а на сборочно-сварочных площадях 4000 нормо-ч.

Таким образом, П изготовления каждой подсекции на ЛПС на порядок меньше П их изготовления на сборочно-сварочных площадях маломеханизированной ручной сборкой и сваркой, а время в 6 раз ниже. Суммарное сокращение времени изготовления всех подсекций цилиндрической вставки танкера составляет 68 220 нормо-ч. Удельный показатель массы конструкций на ЛПС составляет порядка 0,5 ч на тонну, тогда как на сборочно-сварочных площадях он составляет по нормативам верфи 32 ч на тонну.

Аналогичная методика предложена и для расчета П изготовления узлов на линии микропанелей (ЛМП), состоящей из пяти позиций. Результаты расчета показали, что П изготовления микропанелей указанных выше секций и скуловой секции на ЛМП составляет 41,7 ч. Сокращение П изготовления этих микропанелей на ЛМП того же порядка, что и сокращение П изготовления подсекций на ЛПС.

Суммарное сокращение Т изготовления всех микропанелей секции цилиндрической вставки танкера составляет 9232 нормо-ч.

Удельный показатель массы конструкции на ЛМП – около 0,75 ч/т, тогда как на сборочно-сварочных площадях он составляет по нормативам верфи 15 ч/т.

Производительность ЛПС может быть еще более повышена, если на позиции сварки высокого набора предусмотреть автоматическую сварку крестообразных и горизонтальных швов вместо полуавтоматической, по существу ручной, сварки в  $CO_2$ .

Применение МПЛ позволяет сократить необходимые для объемной сборки СЕ сборочно-сварочные площади в сборочно-сварочных цехах (ССЦ) примерно на 40–50%.

Уточненный расчет ПС сборочно-сварочных площадей цехов намного сложнее, чем расчет ПС МПЛ, так как изготовление СЕ на них зависит прежде всего от организационно-технологических схем производства СЕ и ручного труда рабочих разных специальностей, количество которых при изготовлении каждой СЕ не поддается научному обоснованию, а определяется производственным опытом. В ССЦ возможны две принципиально различные организационно-технические схемы изготовления (СЕ) корпуса – узлов набора, полотен, подсекций и секций.

По первой технологической схеме различные СЕ изготавливают в каждом пролете цеха на нескольких по-

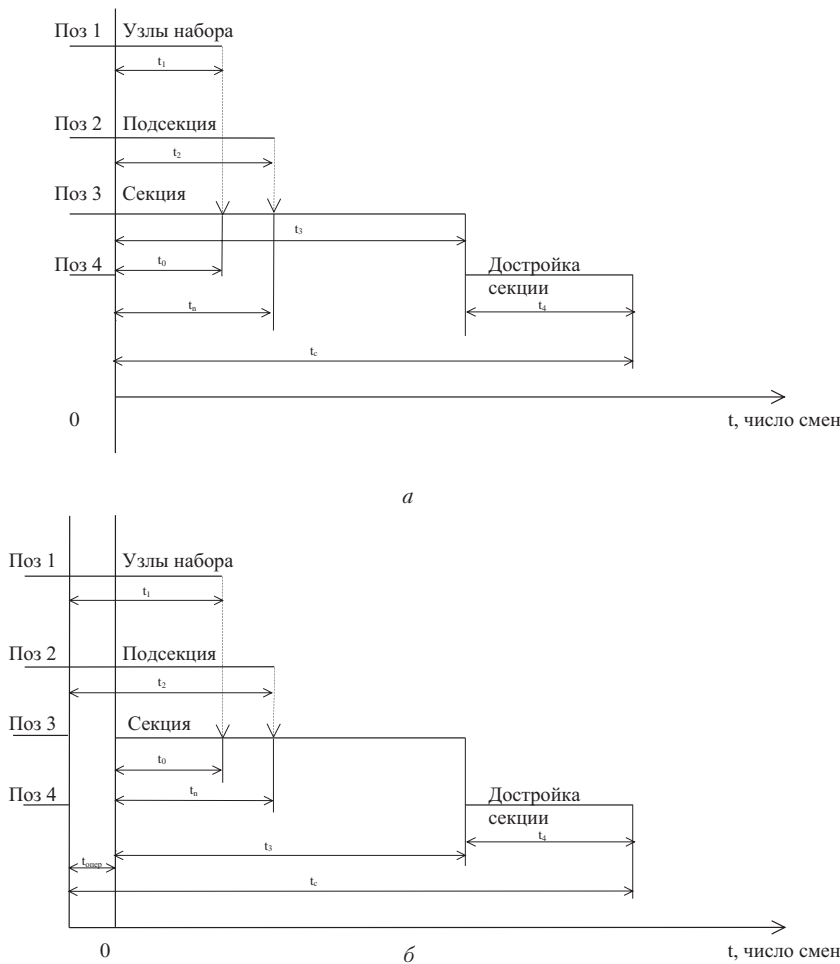


Рис.1. Циклограммы изготовления секций на ПП-5:  
 а – при одновременном начале работ на 1-й и 2-й позициях;  
 б – при начале работ с опережением на 1-й и 2-й позициях

зиях производственных площадок (ПП) без специализации этих пролетов. По второй схеме различные СЕ изготавливают на МПЛ или без МПЛ в пролетах цеха, специализированных по виду конструкций, и затем СЕ подают на объемную сборку в другие пролеты, где объемные секции изготавливают на одной или двух позициях ПП.

ПП определяются числом и размерами этих позиций. Рассмотрим это на примере изготовления объемных днищевых секций со вторым дном размерами 9.16 м по первой схеме. Секции собирают на постели, размеры которой определяет размеры позиции объемной сборки. На предшествующих позициях изготавливают полотно и подсекцию второго дна, а также узлы высокого набора. Размеры этих позиций принимаются равными размерам постели. Кроме того, должна быть организована позиция для раскладки деталей секции и позиция для ее достройки.

Таким образом, образуется 5-позиционная ПП размерами 5(9.16), а с учетом проходов – прямоугольник 10.80 м<sup>2</sup>.

Если ширина и длина пролета ССЦ составляют 22.90 м, т.е. в таком пролете могут быть организованы четыре ПП для изготовления одинаковых объемных днищевых секций цилиндрической вставки танкера.

Продолжительность сборочно-сварочных работ определяется их Т и количеством рабочей силы, выполняющих эти работы.

Для минимизации П изготовления секций при первой организационно-технической схеме необходимо обеспечить широкий фронт сборочно-сварочных работ. Это

возможно, если вести работы параллельно-последовательно на всех позициях ПП-5 за исключением достроечной, на которой работы могут быть начаты лишь после объемной сборки секции (рис.1,а). Технологически возможно начать одновременно изготовление узлов высокого набора на 1-й позиции, изготовление полотна и подсекции второго дна на 2-й позиции, настройку постели, сборку и сварку наружной обшивки (н.о.) и установку и приварку низкого набора к н.о. на 3-й позиции. Это значительно сократит общую П изготовления секции и, следовательно, ускорит использование и оборот площадей, минимизирует потребность в них. Однако работы на указанных трех позициях должны быть синхронизированы так, чтобы к моменту, когда можно начать установку высокого набора его узлы были бы поданы на 3-ю позицию для обеспечения непрерывной объемной сборки секции, а к моменту, когда этот набор будет сварен между собой и приварен к н.о., была бы подана подсекция второго дна для покрытия подсекции н.о. Синхронизацию можно обеспечить путем привлечения к работам на 1-й и 2-й позициях соответствующего количества рабочей силы. Из рис.1 видно, что П изготовления секции  $t_c = t_3 + t_4$  (число смен), где

$$t_3 = \frac{T_{3сб}}{8P_{3сб} \cdot k_{нн}} + \frac{T_{3св}}{8P_{3св} \cdot k_{нн}}.$$

(1)

Здесь  $T_{3сб}$ ,  $T_{3св}$  – нормированная трудоемкость сборочных и сварочных работ на 3-й позиции (обычно критической по продолжительности), нормо-ч;  $P_{3сб}$ ,  $P_{3св}$  – количество сборщиков и сварщиков выполняющих работы на 3-й позиции;  $k_{нн}$  – коэффициент переработки норм (обычно – 1,15);

$$t_4 = \frac{T_{4сб}}{8P_{4сб} \cdot k_{нн}} + \frac{T_{4св}}{8P_{4св} \cdot k_{нн}}.$$

Для синхронизации П работ на 1-й, 2-й и 3-й позициях нужно, чтобы  $t_1 = t_0$ , а  $t_2 = t_n$ , где

$$t_0 = \frac{T_{0сб}}{8P_{0сб} \cdot k_{нн}} + \frac{T_{0св}}{8P_{0св} \cdot k_{нн}}.$$

Здесь  $t_0$  – П наладки постели, сборки и сварки н. о., установки и приварки к ней низкого набора.

Продолжительность П установки, сварки высокого набора между собой и приварка его к н.о. секции будет равна

$$t_n - t_0 = \frac{T_{сб}}{8P_{сб} \cdot k_{нн}} + \frac{T_{св}}{8P_{св} \cdot k_{нн}}.$$

Рассчитав  $t_n$  и  $t_0$ ,  $T_{1сб}$  и  $T_{1св}$ ,  $T_{2сб}$  и  $T_{2св}$ , можно определить количество сборщиков и сварщиков, которых нужно привлечь к изготовлению узлов набора ( $P_{1сб}$ ,  $P_{1св}$ ) и подсекции 2-го дна ( $P_{2сб}$ ,  $P_{2св}$ ), чтобы выдержать сроки их подачи на объемную сборку секции.

Из уравнения  $\frac{T_{1сб}}{8P_{1сб} \cdot k_{nn}} + \frac{T_{1св}}{8P_{1св} \cdot k_{nn}} = t_0$  (число смен) найдем, что

$$P_{1сб} = \frac{T_{1сб}}{8k_{nn} \cdot t_0 - \frac{T_{1св}}{P_{1св}}}, \quad (5)$$

$$P_{1св} = \frac{T_{1св}}{8k_{nn} \cdot t_0 - \frac{T_{1сб}}{P_{1сб}}}. \quad (6)$$

Задав по опыту производства количество сварщиков (сборщиков) или количество сборщиков (сварщиков), можно по формулам (5) и (6) определить количество сборщиков (сварщиков), которое нужно привлечь к изготовлению узлов для обеспечения своевременной их подачи на объемную сборку секции. Аналогично можно рассчитать количество рабочей силы, которую нужно привлечь к изготовлению подсекции второго дна, чтобы выдержать срок ее подачи на объемную сборку секции. В случае, когда  $T$  изготовления узлов набора и подсекции второго дна весьма велики, а количество рабочей силы, которое нужно привлечь к их изготовлению в синхронные сроки слишком велико и потому нереально, работы на 1-й и 2-й позициях должны быть начаты с опережением по отношению к началу работ на 3-й позиции (рис.1,б):  $t_{опер} = t_1 - t_0 = t_2 - t_{II}$ . В условиях дефицита рабочей силы  $\Pi$  изготовления секции будет наибольшей, так как работы будут вести

последовательно, т.е.  $t_c = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ . При этом можно сократить потребную для этого площадь, ликвидировав 1-ю позицию и совместив изготовление узлов набора, полотен и подсекции второго дна на одной, 2-й, позиции. При изготовлении криволинейных секций без второго дна или второго борта характер циклограмм соответствует рис.1 (без поз.2), так как в составе этих секций нет подсекций.

При определении  $\Pi$  сборочно-сварочных площадей возникают две принципиальные задачи.

*Первая задача* состоит в определении  $\Pi$  сборочно-сварочных площадей путем сопоставления  $\Pi$  изготовления месячной (квартальной, годовой) программы выпуска различных СЕ и их элементов на этих площадях при односменной работе и фиксированном количестве рабочей силы разных специальностей с соответствующим фондом ( $\Phi$ ) рабочего времени этих площадей.

Если  $\Pi \leq \Phi$ , то площадей достаточно. Если  $\Pi > \Phi$ , то площадей недостаточно, и дефицит времени составляет  $(\Pi - \Phi)$ . В этом случае должны быть рассчитаны меры, которые обеспечат выполнение программы (увеличение сменности работ, количества рабочей силы, площадей, перевыполнение норм и т.п.).

*Вторая задача* состоит в определении  $\Pi$  изготовления партии заданных СЕ на фиксированных сборочно-сварочных площадях при наличном количестве рабочей силы для оценки сроков изготовления этих СЕ.

Кроме  $\Pi$  изготовления СЕ и их элементов должны быть получены посменные графики технической готовности СЕ в процентах, загрузки сборочно-сварочных площадей в процентах, загрузки рабочей силы в ее количествах дифференцировано по специальностям, посменные планировки площадей с размещенными на них СЕ и их элементов.

Указанные задачи относятся к числу многофакторных, и их решение средствами РС возможно только на основе комплексных алгоритмов и сложного программного обеспечения построенного по определенной стратегии размещения СЕ и их элементов на сборочно-сварочных площадях с учетом ОТС изготовления СЕ. ■

**РАЗРАБОТАНО ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ  
ПО СОЗДАНИЮ ТРЕХВАЛЬНОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ  
С ПОДЪЕМНЫМ СРЕДНИМ ВАЛОПРОВОДОМ ДЛЯ МОРСКОГО СУДНА.  
ОДНОВРЕМЕННО С ПОДЪЕМОМ ВАЛОПРОВОДА В НИШУ СУДНА  
ВХОДНОЕ ОТВЕРСТИЕ ЗАКРЫВАЕТСЯ,  
ЧЕМ ИСКЛЮЧАЕТСЯ ПОЯВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ.  
ПО СРАВНЕНИЮ С ИЗВЕСТНЫМИ ДВУХВАЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ  
ОЖИДАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВМЕСТО ЧЕТЫРЕХ.**

**ПО ВСЕМ ТЕХНИЧЕСКИМ ВОПРОСАМ  
ОБРАЩАТЬСЯ К АВТОРУ СООБЩЕНИЯ,  
ЛИВШИЦУ ИЗРАИЛЮ ИСААКОВИЧУ,  
ПО ТЕЛЕФОНУ: (812) 301-39-65,  
E-MAIL: SCHIFBAU@RAMBLER.RU.**

**В** последнее время в мировой энергетике наблюдается экспоненциальный рост установленной мощности ветроэлектрических установок (ВЭУ), достигшей в 2001 г. 24,3 ГВт, а в 2002 г. – 31,1 ГВт. Причем все чаще ВЭУ строятся на морском шельфе с глубиной до 10–30 м, несмотря на то, что их стоимость при этом возрастает на 35–65% – до 1700 долл./кВт [1, 2]. Это объясняется как дороговизной земли на побережье, так и более высокой (в среднем на 20%) среднегодовой скоростью ветра над морем. В настоящее время в Европе реализуются проекты шельфовых ВЭУ общей мощностью несколько ГВт. В США, где площади прибрежно-мелководья невелики, рассматриваются также проекты ВЭУ на плавучих платформах, закрепляемых на глубоководных участках побережья [1]. В связи с этим представляет коммерческий интерес создание ВЭУ, предназначенной для работы в море.

Среди многообразия конструктивных схем ВЭУ можно выделить две основные: горизонтально-осевые (ГОВЭУ), которые составляют более 90% современного парка ВЭУ, и вертикально-осевые (ВОВЭУ). К преимуществам последних относят нечувствительность к направлению ветра и, следовательно, значительное упрощение конструкции ВЭУ за счет исключения поворотной головки и системы ориентации ветроколеса, а также размещение генератора и мультипликатора (повышающего редуктора) в основании установки, что облегчает ее монтаж и эксплуатацию. В результате экономия затрат достигает 30%. Основными недостатками ВОВЭУ являются неоптимальность углов атаки в разных положениях лопасти на окружности вращения и аэродинамическое затенение лопастей друг другом и башней, следствием чего являются повышенная неравномерность крутящего момента на генераторе и пульсирующие аэродинамические нагрузки на элементы конструкции ВЭУ, снижающие надежность ее работы. В то же время ГОВЭУ обладают потенциалом резкого повышения своей конкурентоспособности за счет применения упругоподвешенных (подрессоренных) лопастей, что позволит повысить коэффициент ветроиспользования на 30–50%, а также надежность и ресурс установки, поскольку такие лопасти амортизируют ударные ветровые нагрузки. Упрощается также система регулирования мощности [3, 4]. Реализация этой технологии позволила компании «Wind Turbine» (США) сделать ветротурбину на 40% легче, обеспечив при этом прочность, достаточную для противостояния сильным штормам. В результате ВЭУ нового поколения получилась дешевле своих «предшественников» на 20–25%.

# ПЛАВУЧАЯ ВЕТРОУСТАНОВКА С НАКЛОННОЙ ОСЬЮ

**С.В. Жарков**, ст. научный сотрудник,  
Институт систем энергетики им. И.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

Предлагается совместить достоинства обоих типов ВЭУ в одной конструкции [5] с учетом специализации ее как плавучей. На рис.1 изображена наклонно-осевая ВЭУ (НОВЭУ) с остовом, подобным тетраэдру, на трех опорных понтонах 1, притопленных под уровень моря. Понтоны с поплавками 2 обеспечивают плавучесть конструкции на заданном уровне. Установка содержит лопасти 3, упругоподвешенные, с помощью торсионов (или пружин) на махах 4. Махи 4 закреплены на ступице 5 (как в ГОВЭУ и ВОВЭУ). Каждая лопасть может поворачиваться на махе вокруг оси, делящей ее на лобовую и хвостовую части так, что площадь хвостовой больше, чем лобовой. В нейтральном положении острая кромка хвостовой части направлена против вращения ветроколеса, а чтобы повернуть лопасть нужно преодолеть сопротивление торсиона, сила упругости которого пропорциональна углу отклонения лопасти от нейтрала. Изменение упругости торсиона плавное и рассчитывается в диапазоне изменения угла поворота: от 0 до 45° – на движение лопасти против ветра под углом в 45°, угол атаки должен соответствовать максимальному выигрышу

в тянущей силе от разности возникающей подъемной силы (точнее ее вектора, совпадающего с направлением движения лопасти) и лобового сопротивления лопасти (по аналогии с парусником, идущим против ветра); от 0 до 90° – на движение поперек ветрового потока, когда тянущее усилие определяется исключительно подъемной силой; от 45 до 135° – на движение по ветру под углом в 45°, должны удовлетворяться условия максимальной эффективности отбора энергии за счет совместного использования подъемной силы и силы лобового сопротивления лопасти, демпфирования воздействия порывов ветра и саморегулирования крутящего момента и лобового сопротивления лопасти за счет изменения угла атаки под действием набегающего воздушного потока. Благодаря такой подвеске лопасти НОВЭУ будут развивать тянущее усилие во всех точках траектории движения, поскольку в каждой из них лопасти будут отклонены от нейтрального положения на угол, при котором достигается динамическое равновесие между аэродинамическими силами, действующими на лопасти, и силами упругости торсионов. На рис.2 показаны скорости элемента

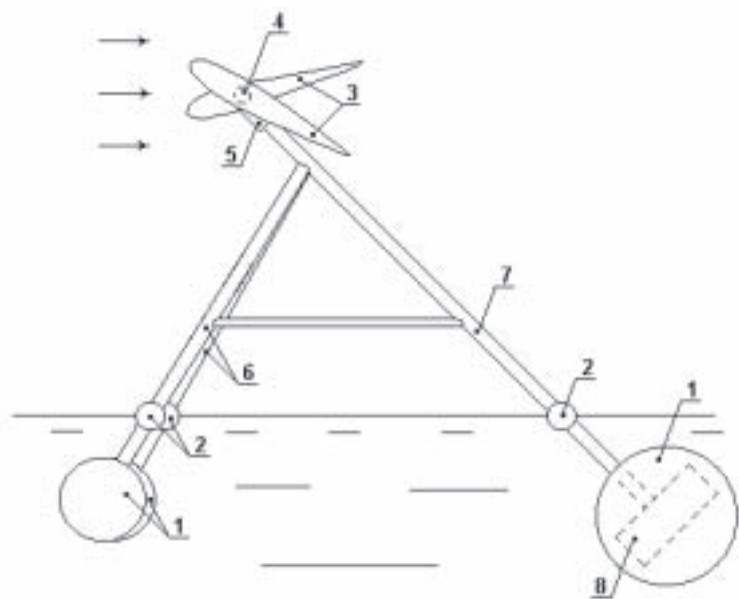


Рис.1. Плавучая НОВЭУ

1 – понтоны; 2 – поплавки; 3 – лопасти; 4 – махи; 5 – ступица; 6 – вспомогательные опоры; 7 – полая опора; 8 – машинное отделение

лопасти и действующие на него силы, исходя из того, что скорость движения в горизонтальной плоскости лопасти, использующей силу лобового сопротивления, должна составлять около трети скорости ветра [6]. Качество крыла (отношение подъемной силы к силе сопротивления) принято равным 3. В этих условиях при движении по ветру результирующая сила совпадает по направлению с движением лопасти (рис.2,а), поэтому  $\vec{F}_T = \vec{F}_R = \vec{F}_{T0}$ , но при движении поперек ветра (рис.2,б) тянущее усилие больше  $|\vec{F}_{T0}|$  на 13%, а при движении против ветра составляет всего 47% от  $|\vec{F}_{T0}|$  (рис.2,в). Колебания осевой нагрузки также значительны, но плавны, поскольку в других точках траектории движения лопастей их элементы работают в режимах, промежуточных рассмотренным. На осно-

ве анализа рис.2,а можно сделать следующие выводы:

1) при движении лопасти с высоким аэродинамическим качеством по ветру результирующая сила совпадает по направлению с движением элемента лопасти при скорости последнего в горизонтальной плоскости равной примерно половине скорости ветра;

2) нет видимых препятствий для увеличения скорости элемента лопасти путем повышения частоты вращения либо удлинения лопасти при той же частоте;

3) при запуске обеспечивается большой крутящий момент, поскольку  $\vec{v} = 0$  и  $\vec{v}_r = \vec{u}$ ;

4) аэродинамическое качество лопасти должно быть переменным – возрастать от корня к концу лопасти, параллельно должен уменьшаться угол установки лопасти.

При движении лопасти по ветру угол атаки должен быть близким к критическому для данного профиля при скоростях ветра ниже или равной расчетной  $u_{op}$  (при которой достигается номинальная мощность ВЭУ) и уменьшаться при превышении  $u_{op}$ . Для работы ВЭУ при очень слабом ветре могут быть предусмотрены режимы с углом атаки больше критического (вплоть до  $\alpha \approx 90^\circ$  при  $\gamma = 45^\circ$ ) с целью максимизации крутящего момента за счет лобового сопротивления лопасти – по аналогии с карусельными ветроустановками (КВУ).

Вращающий момент, развиваемый лопастями, через ступицу 5 и вал, проходящий внутри полой опоры 7 (как в ВОВЭУ), выводится в машинное отделение 8, где используется для привода электрогенератора. Причем установка может работать и при обратном направлении ветра (на рис.1 – справа налево): лопасти отклоняются в противоположную сторону (от нейтрали) так, что острая кромка лопасти, движущейся по ветру, направлена вверх (под углом). Наибольшую эффективность НОВЭУ имеет при направлениях ветра, параллельных вертикальной плоскости, проходящей через ось опоры 7, или близких к ним. Самоориентирование конструкции на ветер осуществляется за счет ветрового давления на НОВЭУ, закоренную за оба понтон вспомогательных опор 6, либо за понтон генератора. Поэтому лопасти НОВЭУ проектируются для работы с одним направлением ветра. Электрический кабель от генератора проходит по якорной цепи и выводится на берег.

Предлагаемая НОВЭУ обладает преимуществами *перед традиционными вертикально-осевыми*:

- надежный самозапуск: неподвижные лопасти НОВЭУ развивают большой крутящий момент (как в КВУ). Большинство же ВОВЭУ нуждаются в посторонних источниках энергии для запуска и разгона ротора [7];

- возможность применения упругоподвешенных лопастей для саморегулирования крутящего момента и лобового сопротивления ветроколеса в зависимости от силы ветра и демпфирования ударных ветровых нагрузок с соответствующим повышением эффективности, надежности и живучести установки, снижением требований к прочности лопастей и ступицы, расширением диапазона рабочих скоростей ветра и снижением шума [4];

- высокая плавность хода ветроколеса, так как лопасти не затеяют друг друга (даже если их четыре или восемь) на всей траектории движения и создают тянущие усилия, колебания значений которых происходят в противофазе (лопасти в нижней части траектории находятся на небольшой

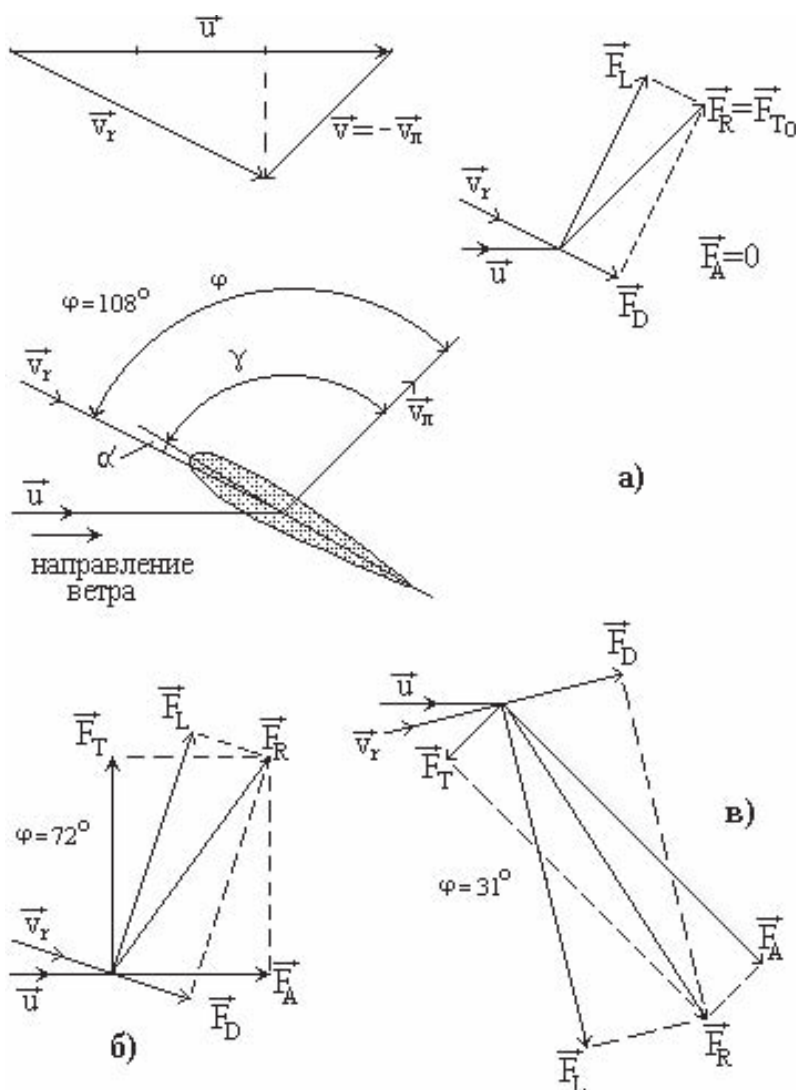


Рис.2. Элемент лопасти в различных точках траектории: а – ближней; б – верхней; в – дальней. Здесь  $\vec{u}$  – скорость ветрового потока;  $\vec{v}$  – скорость элемента лопасти;  $\vec{v}_r$  – скорость набегающего неподвижного воздуха на движущийся элемент лопасти;  $\vec{v}_r$  – результирующая скорость воздушного потока относительно элемента лопасти;  $\alpha$  – угол атаки;  $\gamma$  – угол установки лопасти,  $\varphi = \alpha + \gamma$  – угол между направлением движения элемента лопасти  $\vec{v}_r$ ;  $\vec{F}_D$  – сила лобового сопротивления, действующая в направлении  $\vec{v}_r$ ;  $\vec{F}_L$  – подъемная сила, перпендикулярная силе  $\vec{F}_D$ ;  $\vec{F}_R = \vec{F}_D + \vec{F}_L$  – результирующая сила; проекции силы  $\vec{F}_R$ : на ось вращения  $\vec{F}_A$  и перпендикулярная ей  $\vec{F}_T$  – тянущая сила.



высоте, где скорость ветра наименьшая), причем угол установки  $\gamma$  каждой лопасти автоматически и плавно изменяется в зависимости от направления движения лопасти относительно ветрового потока. Как следствие, динамические нагрузки на лопасти и трансмиссию будут относительно низкими [7];

– меньшая подверженность автоколебательным процессам;

– инерционные нагрузки на лопасть направлены вдоль лопасти, то есть наиболее выгодным образом [7];  
*перед горизонтально-осевыми:*

– отсутствие поворотной головки;

– генератор и редуктор расположены внизу, вследствие чего облегчаются их монтаж и эксплуатация, упрощается передача вырабатываемой электроэнергии, снижаются требования к прочности опоры и, соответственно, ее массивности и аэродинамическому сопротивлению, и не ограничиваются массогабаритными показателями, а, следовательно, во-первых, возможно создание установок большой единичной мощности [7] и невысокой удельной стоимости, во-вторых, монтаж установки может производиться без мощных подъемных кранов (например, вес гондолы ГОВЭУ мощностью 4,5 МВт с тремя 20-тонными лопастями по 52 м составляет 500 т при высоте башни 120 м [8]), в-третьих, возможен отказ от использования редуктора (что снижает стоимость оборудования ВЭУ на 15–30% [1, 9], а также повышает надежность его работы, так как уменьшает число критических узлов) за счет увеличения диаметра генератора. Так, например, безредукторный генератор «Windformer» мощностью 3 МВт с многополюсным ротором диаметром 6 м имеет рабочую частоту 5–10 Гц и напряжение 20 кВ [1];

– ометаемая ветроколесом поверхность в горизонтальном направлении имеет форму эллипса (вместо окружности), вследствие чего снижается влияние возрастания скорости ветра с высотой, вызывающего при работе ВЭУ пульсирующие нагрузки в материале лопастей и трансмиссии [7];  
*перед обоими типами ВЭУ:*

– тихоходность и, следовательно, экологичность (малая шумность и безопасность для птиц), а также резкое улучшение условий эксплуатации механизмов благодаря снижению уровня динамичности и смягчению требований к опорно-трансмиссионным элементам. Кроме того, снижение быстроходности позволяет ВЭУ работать с оптимальным коэффициентом использования энергии ветра при различных значениях его скорости с расширением рабочего диапазона до 20–25 м/с [7]. У таких низкооборотистых ВЭУ невысокие изгибающие нагрузки на лопасти при колебаниях понтон на волнах вследствие меньшего, чем у быстроходных ВОВЭУ и

ГОВЭУ, гироскопического эффекта. Низкая частота вращения уменьшает также воздействие гравитационных сил, вызывающих пульсирующие нагрузки на лопасти и трансмиссию мощных ВЭУ с длинными лопастями [7];

– живучесть благодаря пропуску крупных волн над понтонами и устойчивости к опрокидыванию, поскольку наиболее тяжелый элемент – генератор (который обычно комплектуется редуктором) расположен в основании тетраэдрической конструкции, присущей НОВЭУ. При этом ветровое давление на ветроколесо не трансформируется как в ГОВЭУ и ВОВЭУ в изгибающую нагрузку на башню, поэтому опоры не будут массивными;

– возможность регулирования упругости подвески лопастей, что позволит: а) работать ВЭУ как при слабом ветре (жесткость подвески максимальна начиная с  $\gamma = 45^\circ$  в режиме КВД), так и при очень сильном ветре (жесткость подвески и  $\alpha$  минимальны); б) оптимизировать зависимость изменения упругости подвески лопастей от силы ветра с целью максимизации годовой выработки энергии; в) осуществлять останов ВЭУ путем обнуления жесткости подвески лопастей;

– совместное использование подъемной силы и силы лобового сопротивления лопасти (при движении по ветру), причем при слабом ветре в основном используется сила лобового сопротивления (как в КВД), а при сильном – подъемная (как в ГОВЭУ и ВОВЭУ), т.е. обеспечивается оптимальный режим отбора энергии;

– ввиду тихоходности ветроколеса и использования в значительной мере силы лобового сопротивления лопастей последние могут не обладать высоким аэродинамическим качеством. В наиболее простом варианте исполнения НОВЭУ лопасти можно выполнить плоскими и свobodноповорачивающимися с ограничением поворота лопастей в крайнем положении, например, при  $\gamma = 45^\circ$ – $90^\circ$ . При движении против ветра лопасти будут находиться во флюгерном положении (как в КВУ);

– возможность обеспечения крутки лопастей, которая будет плавно изменяться по длине лопасти в зависимости от направления движения лопасти относительно ветрового потока, путем выполнения лопастей упругими на скрутку (парусными, из эластичных композиционных материалов или в виде упругой пластины), подпружинив (или жестко ограничив поворот) один конец (внешний), оставив другой свободно вращающимся. Постоянное изменение крутки лопастей предотвратит их возможное обледенение.

Таким образом, НОВЭУ применительно к морской специализации обладает потенциалом улучшения (отно-

сительно схем, применяемых в настоящее время) некоторых характеристик ВЭУ, в частности, наиболее важных для работы в удаленных районах – надежности и живучести, а также снижения стоимости изготовления, монтажа и эксплуатации благодаря таким качествам, как простота конструкции (которая совмещает основные достоинства ГОВЭУ, ВОВЭУ и КВД) и системы управления, нетребовательность к аэродинамическому качеству лопастей, конструктивно обусловленная экологичность, надежный самозапуск и авторегулировка мощности, широкий рабочий диапазон скоростей ветра, низкий уровень динамических нагрузок (которые вызывают усталостное разрушение элементов ВЭУ, с чем и связаны основные конструктивные проблемы современных ВЭУ) и возможность монтажа крупных плавучих НОВЭУ на верфях с отбуксировкой их к месту работы вместо строительства дорогих шельфовых ВЭУ.

Предприятия, начинающие бизнес в сфере ветроэнергетики, с данной ВЭУ могут получить преимущество (в том числе на внешнем рынке) перед фирмами, уже имеющими многолетний опыт разработки и строительства ветроустановок, благодаря смене концепции ВЭУ. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лейзерович А.Ш.* Время большой ветроэнергетики // Электрические станции. – 2003. – № 1. – С. 74–77.
2. *Безрученко В.А., Быков В.А.* Ветроэнергетические станции на морском шельфе // Энергетика за рубежом. Приложение к журналу «Энергетик». – 2001. – Вып. 4. – С. 16–23.
3. Ветроэнергетика / Под ред. Д. де Рензо: Пер. с англ., под ред. Я.И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
4. *Левин Н.Н., Серебряков А.Д.* Индукторные генераторы в маломощных ветроустановках // Энергетическое строительство. – 1991. – № 3. – С. 53–55.
5. *Жарков С.В.* Ветродвижитель: патент РФ 2065079 // Б. И., 1996, № 22.
6. *Твайделл Дж., Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
7. *Галась М.И., Дымковец Ю.П., Акаев Н.А., Кострюков И.Ю.* О целесообразности создания вертикально-осевых ветроэлектрических установок мегаваттного класса // Энергетическое строительство. – 1991. – № 3. – С. 33–37.
8. Ветряные мельницы XXI века // Наука и жизнь. – 2003. – № 8. – С. 15.
9. *Усачев И., Историк Б., Шполянский Ю., Луначи М.* Малая и нетрадиционная энергетика РФ // Новости ЭлектроТехники. – 2003. – № 3. – С. 54–57. ■

История кафедры ведет отсчет с 1930 г. Именно в тот год официально началась самостоятельная жизнь Ленинградского кораблестроительного института и на его машиностроительном факультете была организована кафедра «Судовых двигателей внутреннего сгорания». Возглавил кафедру профессор В.А. Ваншейдт, с именем которого самым непосредственным образом связано ее становление и развитие отечественного дизелестроения. По-существу, Всеволод Александрович заложил основы кафедры, создал лабораторную базу, организовал работу аспирантуры и обеспечил профилирующие дисциплины учебной литературой.

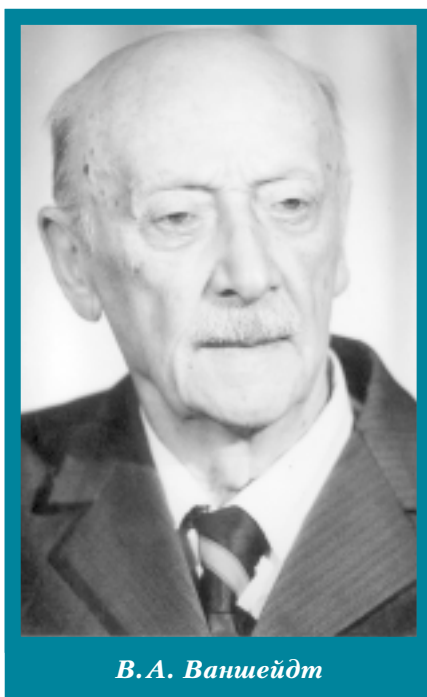
Авторитет В.А. Ваншейдта, замечательного ученого, педагога и инженера-практика, позволил кафедре в короткий срок занять лидирующее положение в области подготовки инженеров по судовым двигателям внутреннего сгорания (ДВС) и дизельным установкам, которое сохраняется до настоящего времени. Особенно велик его вклад в создание учебно-методической литературы и подготовку научных кадров. В 1938 г. выходит первый учебник по теории и конструкции судовых ДВС, а спустя три года второй учебник по проектированию и испытанию этих двигателей. Это были первые в мире фундаментальные учебники, по которым училось не одно поколение студентов. Позже была издана серия учебников, среди которых «Теория судовых ДВС» (1950 г.) признается одним из лучших.

В 1962 г. по инициативе кафедры был создан один из первых в стране специализированный Совет по присуждению ученых степеней кандидата и доктора технических наук в области ДВС. Наличие Совета позволило кафедре увеличить прием в аспирантуру и расширить спектр научных исследований. Аспирантуру при кафедре успешно закончили более 90 молодых инженеров, многие из которых стали ведущими специалистами, преподавателями и известными учеными.

В 1970 г. кафедру возглавил профессор Б.А. Захаренко. При нем произошли качественные изменения: была обновлена материальная база лаборатории, введены в строй два стенда с современными корабельными двигателями, изготовлены шесть экспериментальных установок, выполнены научно-исследовательские работы по совершенствованию процессов газообмена и смесеобразования в дизелях Коломенского завода и завода «Русский дизель», положено начало внедрения ЭВМ в учебный процесс. Сотрудники кафедры выпустили первый в стране учебник «Судовые установки с ДВС. Теория и проектирование» (1978 г.), который не потерял своей ценности и сегодня.

## КАФЕДРЕ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МОРСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА 75 ЛЕТ

*В.К. Румб, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой СПбГМТУ*



*В.А. Ваншейдт*

В 1982 г. заведующим кафедрой избирается профессор Петр Андреевич Гордеев. После окончания Ленинградского кораблестроительного института он работал на Адмиралтейском заводе сначала мастером, а затем конструктором. С 1953 г. он – сотрудник кафедры, где прошел путь от ассистента до профессора, неоднократно был командирован для работы во Вьетнам, Индию, Румынию. Всеобщую известность получили работы П.А. Гордеева в области рабочего процесса ДВС и дизелей, работающих по замкнутому циклу.

На кафедре в различные годы работали известные специалисты-двигателисты, такие как профессор П.А. Истомин, доценты В.Г. Шишкин, К.Н. Коптев, В.А. Плотников и др.

Павел Алексеевич Истомин свою трудовую деятельность начал в 1930 г. конструктором на заводе «Русский дизель», где принимал непосредственное участие

в разработке и доводке бескомпрессорного дизеля мощностью 3100 кВт для самых больших отечественных подводных лодок. В 1945 г. он поступил в аспирантуру ЛКИ. Защитил кандидатскую (1950 г.) и докторскую (1964 г.) диссертации. В 1984 г. ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники России». П.А. Истомин читал курсы лекций в 11 отечественных вузах, выезжал с докладами в Польшу, Германию и Болгарию, два года работал в Китае советником по организации Шанхайского кораблестроительного института. П.А. Истомин – автор уникальных работ в области динамики и прочности ДВС. Его перу принадлежат монографии «Кинематика и динамика поршневых ДВС» (1961 г.), учебники «Динамика судовых двигателей внутреннего сгорания» (1964 г.) и «Крутильные колебания в судовых ДВС» (1968 г.), а также разделы в справочнике «Дизели», который был переиздан трижды. Он одним из первых применил метод конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния деталей двигателей. В частности, им была разработана методика, обеспечивающая идентификацию упруго-массовых характеристик конечно-элементных моделей коленчатых валов.

Владимир Гаврилович Шишкин в 1939 г. поступил в ЛКИ, а спустя два года уже участвовал в боевых действиях в ходе Великой отечественной войны, где получил тяжелые ранения. Закончил институт только в 1949 г., и сразу его рекомендовали к поступлению в очную аспирантуру. После успешной защиты диссертации он трудился на кафедре до конца своей жизни. Владимир Гаврилович относился к числу тех педагогов, которые умеют просто и наглядно объяснить сложные теоретические и практические вопросы, поэтому он часто руководил работами по заказам дизелестроительных заводов. Так, для за-

вода «Русский дизель» кафедра выполнила работу по совершенствованию наддува дизелей 8ДРН 43/61.

Константин Николаевич Коптев в 1954 г. закончил с отличием ЛКИ и получил на кафедре должность инженера, где прошел путь аспиранта, преподавателя, доцента. К.Н. Коптев отличали эрудированность и интеллигентность, для него равное, уважительное отношение ко всем было нормой. Он хорошо рисовал, писал стихи и философские трактаты, свободно владел немецким языком. Среди широкого спектра его научных интересов следует выделить те, которые были направлены на совершенствование традиционной методики Гриневецкого–Мазинга. Сохранив ее достоинства и внося дополнения по учету переменности политропа сжатия и расширения, тепло- и газообмена, топливоподачи и газотурбинного наддува, К.Н. Коптев разработал алгоритм, отражающий современные аспекты теории рабочего процесса всех типов дизелей.

Трудовая биография Вадима Алексеевича Плотникова началась в 1964 г. сразу после окончания аспирантуры. Будучи еще инженером, он создал уникальные учебно-экспериментальные стенды для комплексного изучения рабочего процесса дизелей. Параллельно Вадим Алексеевич был исполнителем многих НИР и ОКР, особенно велик его вклад в работы для ОАО «Коломенский завод». Большой опыт и широкая эрудиция позволили В.А. Плотникову стать ведущим преподавателем кафедры, прекрасным лектором, отличным методистом. Разработанные им методические пособия широко используются в учебном процессе до настоящего времени.

За время своего существования кафедра подготовила и выпустила более 2000 инженеров, сотни кандидатов и докторов технических наук. Все они успешно трудятся во всех сферах дизельного и судостроительного производства, в известных организациях России (ОАО «Звезда», ОАО «Коломенский завод», ОАО «Северная верфь», ФГУП «Адмиралтейские верфи» и др.) и за рубежом (МАК, МАН и т.д.).

Кафедра по дневной и вечерней формам обучения готовит:

- инженеров по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»;
- морских инженеров по специальности «Судовые энергетические установки»;
- бакалавров и магистров по направлению «Кораблестроение и океанотехника»;
- кандидатов технических наук по специальностям «Тепловые двигатели» и «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»;
- мотористов двигателей внутреннего сгорания.

Подготовка студентов осуществляется по учебным планам и программам,

которые реализуют новую концепцию обучения. Ее принципы сводятся к тому, чтобы обеспечить системность и непрерывность обучения по схеме «от простого к сложному», «от общего к частному» с постоянной нацеленностью на решение прикладных задач. Как реализуются эти принципы в учебном процессе? Прежде всего системосвязующим звеном всех дисциплин учебного плана выступают предметы специальности. Именно они дают студенту ясное представление о значении всех изучаемых дисциплин в инженерной деятельности.

Второй составляющей учебного процесса является курсовое проектирование. Согласно принятой концепции, студенту выдается на пятом семестре одно, но укрупненное задание, например, спроектировать двигатель для конкретного судна или автомобиля. Далее он по мере освоения учебных дисциплин последовательно и поэтапно выполняет его. Каждый этап завершается защитой. В конце пятого года обучения весь проект в целом защищается перед комиссией.

Третий принцип – обязательный лабораторный практикум, который студенты отрабатывают в лаборатории на современных судовых и тепловозных двигателях. Тем самым они приобретают навыки технической эксплуатации, обслуживания и диагностики, а также познают методы исследования в условиях, аналогичных работе двигателя на судне, автомобиле или в составе с генератором электрического тока. На старших курсах студенты учатся в филиале кафедры на ОАО «Звезда», там же трудятся во время практик.

Кафедра располагает уникальной и обширной методической и учебной литературой, техническим архивом, библиотекой. В обучении широко используются компьютерная техника и телевизионная установка. Занятия проводятся в специализированных аудиториях, оборудованных большим количеством наглядных пособий, натурными макетами двигателей, их деталями и узлами. В классе «холодных двигателей» студенты, разбирая и собирая моторы различного назначения, изучают их конструкции и получают навыки ремонта.

Наряду с учебной деятельностью кафедра проводит научно-исследовательские работы по следующим направлениям:

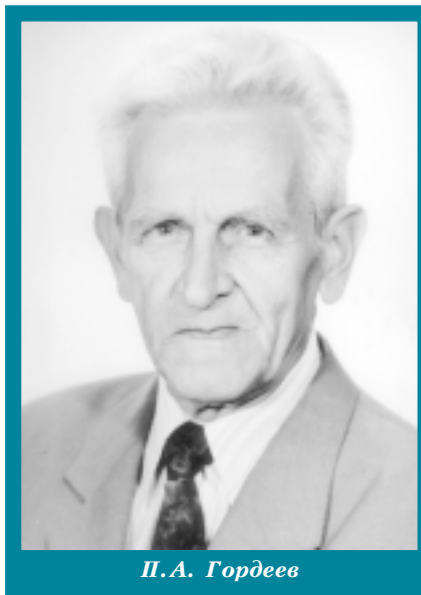
- рабочие процессы, топливоподача, смесеобразование и горение, камеры сгорания, токсичность дизелей;
- крутильные, осевые, изгибные, случайные, ударные и связанные колебания коленчатых валов и судовых валопроводов;
- двигатели с внешним подводом теплоты (двигатели Стирлинга);



**Б.А. Захаренко**

- дизельные установки, работающие по газожижкостному циклу на продуктах газификации древесных отходов;
- ударовиброшумозащита установок с ДВС;
- остаточный ресурс дизелей, длительно работающих на переменных режимах;
- долговечность деталей ДВС с трещинами.

В современных сложных условиях кафедра по-прежнему развивается, растет число студентов, в учебный процесс вводятся прогрессивные формы обучения, используются новые достижения науки и техники, учитывается конъюнктура рынка инженерного труда. Сегодня, как и ранее, преподавателей кафедры, ядро которых составляют профессор Г.И. Шаров, В.В. Гаврилов, доценты Г.В. Яковлев, С.П. Столяров, В.В. Медведев, М.А. Минасян, С.Р. Семионичев, И.В. Таневский, старший преподаватель В.В. Телегин, отличает самоотверженность в служении своему делу – воспитанию инженеров, всесторонне развитых, обладающих глубокими знаниями, отлично знающих технику и умеющих применять свои знания на практике. ■



**П.А. Гордеев**

Оптимизация судового оборудования невозможна без количественной оценки технических решений, принимаемых при проектировании оборудования. До настоящего времени достоверного метода объективной оценки принимаемых решений не создано, несмотря на то, что оценка эффективности вариантов оборудования на протяжении длительного времени привлекает внимание специалистов, занятых разработкой новых образцов изделий судового машиностроения [1, 2].

Например, оценка качества рулевой машины «PM160-2» проводилась путем ее сравнения с рулевой машиной «PM250-2» с использованием интегрального показателя качества ИП следующей структуры:

$$ИП = \frac{M_n}{P \cdot m \cdot V},$$

где  $M_n$  – номинальный крутящий момент на баллере;  $P$  – мощность приводного двигателя;  $m$  – масса рулевой машины;  $V$  – габаритный объем.

Машина «PM160-2» признана лучшей, поскольку у нее  $ИП = 0,0021$ , а у машины «PM250-2»  $ИП = 0,00088$  кНм/(кВт·кг·м³).

Объективность этого критерия эффективности, так же как и других иерархических моделей качества, никак не может быть оценена. Почему именно это сочетание параметров отвечает более эффективному варианту? Что объективно улучшится, если этот показатель увеличится? Вместе с тем разработаны методы системного анализа, позволяющие построить критерии эффективности, объективные и достоверные.

Судовое оборудование – палубные механизмы, рулевые машины, палубные краны, системы траверсной передачи грузов, корабельные механические системы – после установки на судно становятся элементами и подсистемами сложной технической системы – судна или корабля и должны вместе с другими элементами сложной технической системы обеспечивать решение ее конечных целей с наибольшей эффективностью. На рис. 1 представлена иерархическая схема сложной технической системы – грузового транспортного судна, иерархия которого целенаправленно развита применительно к объекту нашего рассмотрения – оборудованию с гидроприводом.

Между оборудованием различных уровней иерархии существуют сложные функциональные связи, которые должны быть установлены и учтены при разработке моделей и проведении оптимизационных исследований. Например, оборудование систем гидравлики питается электрической энергией, вырабатываемой судовой

# МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ СУДОВОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**В.Ф. Суслов,**

*канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «Пролетарский завод»*

электростанцией и тем самым косвенно определяет как установленную мощность судовой электрической системы (СЭС), так и затраты на топливо. Увеличивая мощность пропульсивного комплекса и скорость доставки грузов, мы одновременно увеличиваем требования к скорости обработки груза и характеристикам грузоподъемных устройств, поскольку теперь грузовая система в большей степени определяет продолжительность рейса, а значит и соответствующую долю расходов, связанную с омертвлением груза.

Расположение оборудования систем гидропривода определяет протяженность трубопроводов контуров гидросистемы, что, в свою очередь, определяет потери энергии на прокачивание этих трубопроводов и соответствующие потери электрической энергии и топлива в приводе генераторов СЭС.

Глобальный критерий эффективности – прибыль по транспортному судну от перевозки грузов, не приго-

ден для обоснования технических решений по судовому механическому оборудованию ввиду слабого влияния оборудования на этот критерий и большой погрешности его определения. Разработаны более информативные критерии эффективности согласованной системной оптимизации [3, 4] и модели для их определения.

Согласованный критерий применяем в двух формах:

– в форме приращения прибыли от эксплуатации судна с измененным вариантом расположения по сравнению с базовым вариантом:

$$Kr_c^1 = E_n(K_0 - K) + C_0 - C + D_0;$$

$$D_0 = FrZ_{рб} L_{нл} (G_n - G_{нб}) k_{об} k_u,$$

– в форме нормы прибыли на дополнительно вложенный капитал:

$$Kr_c^2 = \frac{Kr_c^1}{K - K_0},$$

где  $D_0$  – приращение дохода от уве-

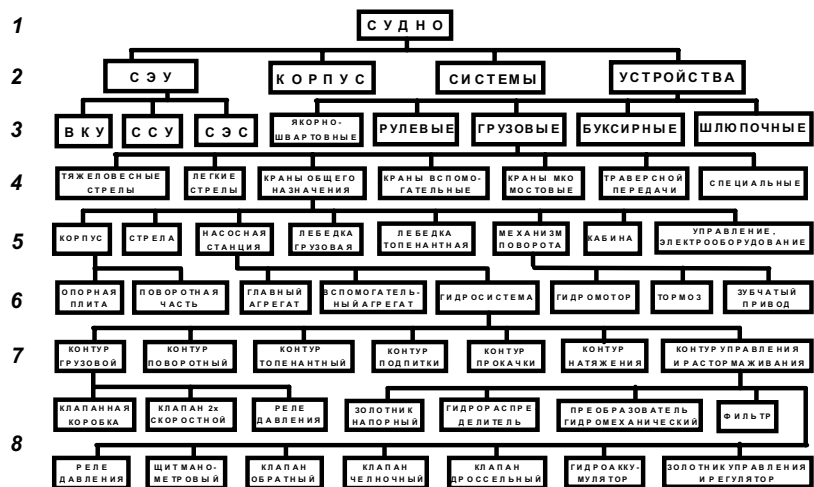


Рис. 1. Иерархическая схема сложной технической системы – транспортного судна.

**Иерархические уровни:** 1 – суперкомплекс – транспортное судно; 2 – комплексы широкого спектра функций в составе судна; 3 – функциональные комплексы; 4 – функциональное оборудование; 5 – узлы функционального оборудования; 6 – агрегаты и комплексы функциональных узлов; 7 – контуры гидросистемы; 8 – гидравлическое оборудование

личения провозоспособности судна;  $(K_6 - K)$  – приращение стоимости оборудования;  $(C - C_6)$  – приращение текущих расходов от эксплуатации оборудования;  $(G - G_6)$  – приращение полной массы – суммы массы оборудования, приготовленного к действию, и массы запасов рабочих тел на функционирование оборудования в течение рейса;  $Fr$  – фрахтовая ставка за перевозку груза на линии эксплуатации судна, дол. за тонно-милю;  $Z_{р6}$  – среднегодовое число рейсов на данной линии;  $L_{нл}$  – дальность плавания на линии эксплуатации судна, мили;  $k_{с6}$  – коэффициент готовности судна на данной линии;  $k_{н}$  – коэффициент использования свободного тоннажа.

Кроме расчета капитальных и текущих затрат, следует оценить также изменение дохода, связанного с изменением полной массы связей и возможности размещения дополнительного груза. При отсутствии такой возможности согласованная оптимизация выражается в локальную, проводимую на уровне объекта проектирования. Изложенная методика включает и такую возможность, как частный случай.

Изложенная методика позволяет проводить объективное сравнение двух вариантов судового механического оборудования на судне с определенными характеристиками. В случае прогнозирования применения оборудования на

определенном спектре судов в качестве критерия должна быть принята суперпозиция согласованных критериев, определенных для каждого из них в отдельности.

Необходимость прогнозирования области применения вновь проектируемого оборудования чрезвычайно затрудняет создателей этого оборудования – специалистов в иной предметной области. Однако это объективная необходимость – современный способ создания конкурентоспособной продукции на внутреннем и особенно внешнем рынке. В случае предстоящего вступления страны в ВТО и полного снятия таможенных барьеров разница между внешним и внутренним рынком будет нивелирована.

Характеристики судов перспективной постройки регулярно анализируются исследовательскими организациями отрасли. Например, в табл. 1 приведены характеристики судов перспективной постройки, рекомендованные кафедрой проектирования судов СПбГМТУ (проф. Б.А. Царев).

В табл. 1 приведены следующие характеристики типоразмеров судов:  $J$  – индекс типоразмеров судов. Всего предусмотрено двадцать типоразмеров; тип – сеткой предусмотрены два типа судов – сухогрузы ( $C$ ) без конкретизации способа грузообработки и танкеры ( $T$ );  $D$  – полное водоизмещение

судна, т;  $DW$  – дедвейт, т;  $V_3$  – эксплуатационная скорость, узлы;  $L_{нл}$  – длина судна между перпендикулярами, м;  $B$  – ширина на миделе, м;  $T$  – расчетная осадка, м;  $H_6$  – высота борта, м;  $K_{об}$  – коэффициент общей полноты;  $L_{нл}$  – дальность плавания, мили. Определение согласованных критериев эффективности реализовано в виде программных пакетов, настроенных на отдельные типы судового машиностроительного оборудования с учетом специфики его функционирования.

В табл. 2 и 3 приведены данные для расчета согласованной системной эффективности грузового устройства на сухогрузном судне. Табл. 2 содержит данные базового варианта оборудования.

В табл. 3 приведены данные анализируемого варианта оборудования.

Перечисленных данных базового и измененного вариантов оборудования достаточно для расчета показателей согласованной системой эффективности и объективного выбора лучшего варианта грузоподъемного оборудования, улучшающего характеристики транспортного судна.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе перехода к рыночным отношениям остро встал вопрос об объективной оценке эффективнос-

Таблица 1

Сетка типоразмеров судов модульной постройки

$J$	Тип	$DW$	$D$	$V_3$	$L_{нл}$	$B$	$T$	$H_6$	$K_{об}$	$L_{нл}$
1	C	8000	5000	12	115	17	5,5	8	0,67	4000
2	C	8000	5000	13	115	17	5,5	8	0,67	4000
3	C	8000	5000	14	115	17	5,5	8	0,67	4000
4	C	12000	7500	13	125	19	6,5	9	0,69	5000
5	C	12000	7500	14	125	19	6,5	9	0,69	5000
6	C	16000	10500	14	140	21	7,5	11	0,71	6000
7	C	23000	15500	14	155	23	8,5	12,5	0,73	7000
8	C	23000	15500	15	155	23	8,5	12,5	0,73	7000
9	C	23000	15500	16	155	23	8,5	12,5	0,73	7000
10	T	11000	7500	12	115	19	7	10	0,7	4000
11	T	11000	7500	13	115	19	7	10	0,7	4000
12	T	19000	13000	13	140	23	8	11	0,72	6000
13	T	19000	13000	14	140	23	8	11	0,72	6000
14	T	33000	23500	13	170	28	9	12,5	0,74	8000
15	T	33000	23500	14	170	28	9	12,5	0,74	8000
16	T	33000	23500	15	170	28	9	12,5	0,74	8000
17	T	52000	38500	13	200	33	10	14	0,76	10000
18	T	52000	38500	14	200	33	10	14	0,76	10000
19	T	52000	38500	15	200	33	10	14	0,76	10000
20	T	52000	38500	16	200	33	10	14	0,76	10000

## Характеристики судна с базовым вариантом оборудования

№	Наименование переменной	I	R	Z
1	Категория и вид оборудования	WID	-	1
2	Режим использования оборудования	REG	-	2
3	Наличие резерва (0/1)	REZ	-	0
4	Степень влияния на длительности режима	KDL	-	1
5	Степень влияния на провозоспособность	KGR	-	1
6	Фрахтовая ставка за перевозку груза	FR	долл./т-милю	0,023
7	Удельный расход топлива на СЭС	BE	кг/ кВт?ч	0,2
8	Нормы отчислений - на амортизацию	HA	1/год	0,06
9	- на текущий ремонт	HR	1/год	0,01
10	- на снабжение	HSN	1/год	0,005
11	- за пользование капиталом	EN	1/год	0,15
12	Коэффициент косвенных расходов	KKOS	-	0,055
13	Цена топлива на СЭС на экспл. режиме	CT	долл./т	188,1
14	Годовой период эксплуатации	TE	сут./год	340
15	Дальность плавания	LPL	мили	10000
16	Масса перевозимого груза в рейсе	GRP	т	8000
17	Планируемый объем работы за рейс	OBR	ед.	8000
Параметры базового варианта оборудования				
18	Число рейсов за год	ZRE	рейсы/ год	6,594
19	Ходовое время рейса	TPL	ч/рейс	789
20	Длительность грузовых операций	TGR	ч/рейс	160
21	Приведенные затраты	ZB	долл./ год	7000
22	Полная масса	GPB	т	4
23	Рабочая масса оборуд	GB	т	3,5
24	Стоимость базового оборудования	STOB	тыс. долл.	0,0
25	Коэффициент готовности	KGB	-	0,985
26	Ресурс до списания	REB	часов	5000

Таблица 3

## Характеристики анализируемого варианта оборудования

Наименование переменной	I	R	Z
Производительность на среднестатистическом режиме	PRS	ед/час	50
Спецификационная мощность привода	NN	кВт	15
Мощность привода на среднестатистическом режиме	NSR	кВт	10
Рабочая масса	GR	т	3
Коэффициент готовности	KG	рейсы/год	0,992
Ресурс до списания	RE	часы	5000
Первоначальная стоимость	STO	долл.	0,0

ти создаваемой продукции. Логического анализа относительных преимуществ недостаточно. Необходимо четкое, объективное, количественное доказательство преимущества того или иного варианта.

2. Для судового машиностроительного оборудования эта проблема стоит наиболее остро в связи с отсутствием критериев оценки эффективности. Комплексные кри-

терии качества утратили свое значение по причине их полной субъективности и недостоверности, подтвержденных сначала снижением уровня соответствующих стандартов, а потом и их полной отменой.

3. Судовое машиностроительное оборудование – часть сложной технической системы – судна или корабля. В составе других элементов сложной системы это оборудование должно обеспечивать достижение максимума показателей эффективности объекта верхнего иерархического уровня.

4. Разработаны и уточнены применительно к типу анализируемого оборудования методы и модели согласованной системной оптимизации оборудования, обладающие повышенной информативностью – комплексному свойству объективности и достоверности анализа эффективности, позволяющие анализировать вклад в системную эффективность оборудования с небольшой значимостью. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор развития и анализ достигнутого технического уровня судовых устройств, палубных механизмов и аппаратов судовых систем: Прогноз научно-технического прогресса изделий судового машиностроения. – Т.1-6. Науч.-техн. отчет по теме А-ХVIII-270 // Ю.П. Луговцев. – ЦНИИ «Компас», 1972.
2. РД5.2508-87. Система показателей качества продукции. Механизмы палубные. Номенклатура показателей, методы оценки технического уровня и качества (отменен без замены).
3. Пашин В.М. Критерии для согласованной оптимизации подсистем судна. – Л.: Судостроение, 1976.
4. Даниловский А.Г., Иванов Д.С., Архипов Г.А. Критерии для согласованной оптимизации судовых энергетических установок, систем и оборудования // Совершенствование конструкций судовых систем: Сб. научн. тр. – Л.: Изд. ЛКИ. – 1987. ■

Рецензенты:

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.,

Р.А. Иванов, д-р техн. наук

## ВВЕДЕНИЕ

Для второй половины XX в. был характерен неуклонный рост скоростей морского транспорта в сочетании с повышением его экономичности, комфортабельности, навигационной и экологической безопасности. Совершенствовались традиционные транспортные средства и создавались принципиально новые. К последним относится транспортное средство, использующее для своего поддержания явление экранного эффекта, – экраноплан.

Экраноплан можно назвать уникальным достижением современной науки и техники, объединившим в себе лучшие качества судна и самолета и воплотившим в реальность сказочную мечту человечества о летучем корабле.

Экранопланы (ЭП) обладают множеством удивительных способностей, они могут плавать по воде, как судно, летать с использованием экранного эффекта со скоростями, близкими к авиационным, над любой относительно плоской поверхностью (воды, льда, песчаной, болотистой, заснеженной и т.д. суши), а также перелетать через небольшие препятствия. В крейсерском режиме на них отсутствуют качка и все сопутствующие ей неприятные явления, они практически не имеют ограничений по достижимой мореходности, которые определяются только режимами взлета/посадки и размерами ЭП. Им не опасно мелководье, они могут обходить без дороговящих портов или аэродромов. Амфибийные экранопланы, используя «поддув» под крыло, способны преодолевать уклоны суши и передвигаться по ней на малых скоростях, что позволяет им самостоятельно выходить на пологий берег и спускаться с него, базироваться на берегу, осуществлять там погрузочно-разгрузочные операции и т.д.

Сфера возможного применения ЭП чрезвычайно широка. Это скоростные пассажирские и грузовые перевозки в различных регионах мира, включая арктические [1], туризм и отдых в местах, недоступных для других видов транспорта, противопожарные и поисково-спасательные операции, медицинская, почтовая, патрульная и пограничная служба, доставка сменных экипажей судов и буровых установок, экскурсии на Северный полюс, самое различное военное применение и многое другое. Имеются даже проекты использования ЭП в качестве устройства для взлета и посадки космических кораблей [2].

Экранопланы прошли долгий путь своего развития от возникновения идеи использования экранного эффекта до создания действующего аппарата как надежного транспортного средства.

# РАЗРАБОТКА ПЕРВЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ЭКРАНОПЛАНОВ

*А.И. Богданов, канд. техн. наук, доцент,  
ЗАО «ЦНИИ Морского флота»*

Явление экранного эффекта было обнаружено в начале XX в. на заре возникновения практической авиации и было связано с непредвиденными осложнениями, случавшимися с первыми самолетами на взлетно-посадочных режимах:

– самолет был не в состоянии совершить посадку должным образом и в нужном месте. Из-за неожиданно возросшей у земли подъемной силы он продолжал лететь на малой высоте почти до достижения нулевой скорости, а затем падал;

– перегруженный самолет, напротив, при взлете мог оторваться от земли и лететь на малой высоте, но не был способен ни подняться выше, ни совершить управляемую посадку в нужном месте, что нередко приводило к авариям.

Обнаруженное явление было названо «влиянием земли» («ground effect»). Однако оно наблюдается при движении крыла над любой относительно плоской поверхностью – зем-

ли, воды, льда, снега и т.д. Поэтому Р.Е. Алексеев в середине XX в. предложил называть такую поверхность более универсальным термином – «экранный эффект», а транспортное средство, основанное на его использовании, – «экранный план» («ekranoplan»). Эти термины используются в России и некоторых других странах, но на английский язык термин «экранный эффект» принято переводить как «ground effect».

Механизм возникновения экранного эффекта заключается в следующем. По мере приближения к экрану воздушного крыла, движущегося горизонтально с высокой скоростью и определенным углом атаки, воздух, попадающий между крылом и экраном, подтолкаивается, сжимается, и под нижней поверхностью крыла образуется зона повышенного давления – динамическая воздушная подушка, поддерживающая сила которой тем выше, чем ближе крыло к экрану.

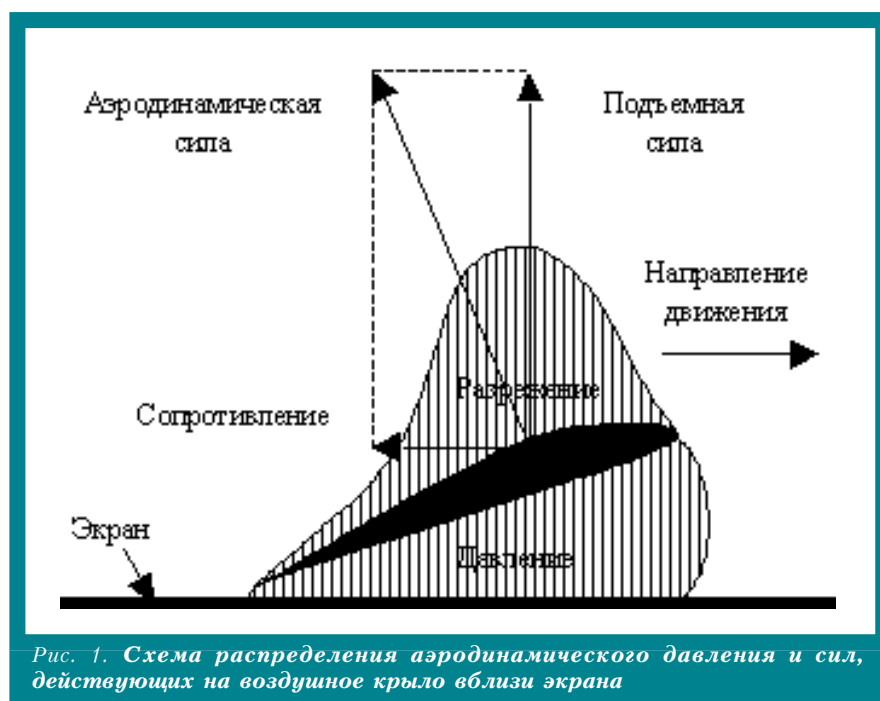


Рис. 1. Схема распределения аэродинамического давления и сил, действующих на воздушное крыло вблизи экрана

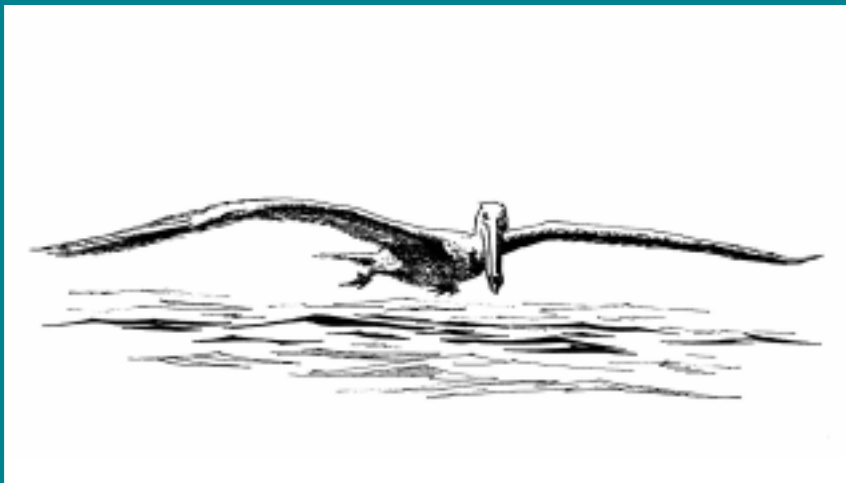


Рис.2. Полет пеликана над поверхностью воды



Рис.3. Экспериментальный экраноплан КМ



Рис.4. Транспортный экраноплан «Орленок»

(Поэтому ЭП еще называют судами на динамической воздушной подушке). При этом существенно изменяется характер обтекания крыла и вклад его верхней и нижней поверхностей в создание подъемной силы. Если на большой высоте до 90% подъемной силы создает верхняя (засасывающая) поверхность крыла, то с приближением к экрану основную роль начинает играть его нижняя (нагнетающая) поверхность (рис.1). На ее долю может приходиться до 60% подъемной силы и более. В результате таких изменений коэффициент подъемной силы воздушного крыла у экрана может в 1,5–2,0 раза и более быть больше, чем вдали от него. Это зависит от высоты полета, формы профиля крыла и формы крыла в плане, его относительного удлинения, угла атаки, наличия концевых шайб, механизации и др.

Было установлено, что экранный эффект характеризуется не только увеличением подъемной силы крыла. При этом еще уменьшается индуктивное сопротивление и значительно изменяются характеристики устойчивости воздушного крыла. В некоторых случаях они могут оказаться хуже, чем аналогичные характеристики устойчивости крыла в безграничном полете. Поэтому в авиации явление экранного эффекта считалось опасным и тщательно исследовалось, чтобы разработать меры для борьбы с ним на взлетно-посадочных режимах самолетов.

Тем не менее обнаруженное авиаторами явление указывало конструкторам на привлекательную принципиальную возможность создать более совершенный и экономичный аппарат, который, по сравнению с самолетом той же мощности и скорости, мог бы значительно увеличить полезную нагрузку или дальность полета. Осуществимость этого подтверждала живая природа, ведь некоторые водоплавающие птицы успешно используют явление экранного эффекта для экономии сил и увеличения дальности полета (рис.2).

Практические попытки использовать полезные свойства экранного эффекта (увеличение подъемной силы и уменьшение индуктивного сопротивления) при создании действующих объектов были предприняты в 30-е гг. XX в. [3]. Первыми из них, по-видимому, были проекты аппаратов, разработанные одновременно (1934–1936 гг.) финном Т. Каарио (аэросани) и советским авиаконструктором П.И. Гроховским.

Впоследствии многие конструкторы и исследователи в разных странах обращались к идее использования экранного эффекта. Было построено и испытано большое число экспериментальных моделей и малых полунатурных экранопланов, прорабатывались



перспективные проекты водоизмещением до 1000–2000 т. Однако никому не удавалось достаточно полно решить проблему практического обеспечения устойчивости полета вблизи экрана, в результате чего ряд экспериментальных ЭП потерпел аварию, и работы, как правило, прекращались.

Наивысшие результаты были достигнуты в бывшем СССР в 1958–1985 гг. в процессе создания экранопланов для ВМФ [4–7]. Под руководством выдающегося российского ученого-конструктора Ростислава Евгеньевича Алексеева (1916–1980), в созданном им ЦКБ по СПК\* (Нижний Новгород) была выполнена крупномасштабная программа работ, которая по широте поставленных задач, привлеченному научно-техническому потенциалу ведущих отраслей промышленности и достигнутым результатам не имеет аналогов в мире. Были исследованы и решены теоретические и практические задачи, необходимые для проектирования, постройки и эксплуатации натуральных ЭП, а именно: проблема устойчивости полета вблизи экрана и выбор соответствующих аэродинамических схем, создание системы поддува\*\* под крыло, значительно облегчающей режимы взлета/посадки на тихой воде и волнении и придающей судну амфибийные качества, создание морских турбореактивных двигателей, шасси, гидролыж, пневмобаллонов и многие другие проблемы. Созданы десятки самоходных радиоуправляемых и пилотируемых моделей ЭП, отражающих этапы разработки оптимальных гидроаэродинамических компоновок. Был спроектирован (1994 г.), построен (1966 г.) и всесторонне испытан (1966–1980 гг.) полномасштабный корабль-макет КМ с максимальной взлетной массой до 544 т, скоростью более 500 км/ч и мореходностью по взлетно-посадочному режиму до высоты волн 3 м (рис.3). За свои размеры КМ получил за рубежом прозвище «Каспийский монстр». В то время он был крупнейшим летающим объектом в мире. И до настоящего времени он остается крупнейшим и самым скоростным из построенных и успешно эксплуатировавшихся экранопланов.

Накопленный богатый опыт позволил России впервые в мире приступить к строительству серийных экранопланов. Были созданы: транспортный ЭП «Орленок» (построено пять судов, головное судно – в 1974 г., взлетная масса – до 140 т, скорость – до 400 км/ч), ударный ракетносец «Лунь» (головное судно построено в 1986 г., взлетная масса – 400 т, скорость – до



Рис.5. Ударный экраноплан-ракетоносец «Лунь»



Рис.6. Поисково-спасательный экраноплан «Спасатель»



Рис.7. Речной пассажирский экраноплан «Волга-2»

550 км/ч) и его модификация – поисково-спасательный экраноплан «Спасатель» (взлетная масса – до 410 т, скорость у экрана – до 550 км/ч и до 700 км/ч в самолетном режиме на высотах до 3000 м). Последний способен принять на борт и оказать первую ме-

дицинскую помощь до 500 пострадавших. Из-за отсутствия финансирования строительство, к сожалению, было законсервировано в состоянии 95%-ной готовности.

Внешний вид этих серийных экранопланов представлен на рис.4–6.

\* После смерти Р.Е. Алексеева в 1980 г. ЦКБ по СПК присвоено его имя.

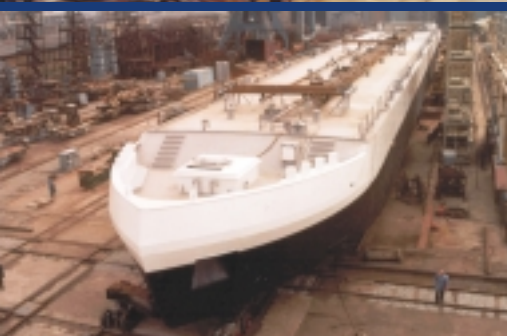
\*\* Создание системы поддува позволило также предложить принципиально новый тип высокоскоростного судна – транспортно-амфибийную платформу (ТАП), промежуточную между амфибийным СВП и ЭП.



**Строительство  
кораблей**



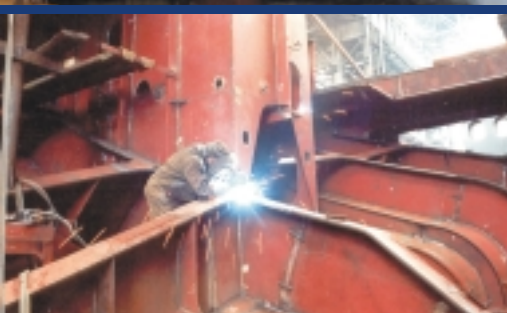
**Строительство  
судов  
из стали  
и алюминиевых  
сплавов**



**Строительство  
корпусов судов**



**Судоремонт  
и конверсия  
судов**



**Изготовление  
металло-  
конструкций**



**Машино-  
строительная  
продукция**



**SHIPYARD  
YANTAR**

ПРИБАЛТИЙСКИЙ  
СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ЗАВОД  
**ЯНТАРЬ**

**КАЧЕСТВО, ПРОВЕРЕННОЕ МОРЕМ**

**QUALITY TESTED BY SEA**



**ОАО ПСЗ "Янтарь"**

Россия, 236005, г. Калининград

ул. Транспортный тупик, 10

тел./факс: (0112) 44 75 40, 47 22 43

e-mail: office@shipyard-yantar.ru, marketing@shipyard-yantar.ru

Интернет: www.shipyard-yantar.ru



# СЕВКАБЕЛЬ

## ХОЛДИНГ

Открытое Акционерное Общество

Санкт-Петербург	(812) 329-7799
Москва	(095) 189-4511
Киев	(38044) 417-1296
Краснодар	(8612) 31-53-45
Казань	(8432) 78-17-10
Махачкала	(8722) 65-08-75
Мурманск	(8152) 38-63-72
Омск	(3813) 24-22-18

п о л н а я с в о б о д а э н е р г и и . . .

Весь ассортимент  
кабельно-проводниковой  
продукции!

Россия  
192148, г. Санкт-Петербург  
пр. Елизарова д. 31/2  
т. (812) 265-06-09  
ф. (812) 320-92-71  
e-mail: [mail@sevcable.spb.ru](mailto:mail@sevcable.spb.ru)  
internet: [www.sevcable.ru](http://www.sevcable.ru)

Исторически сложилось так, что промышленное экранопланостроение в России было ориентировано на оборонные цели, финансировалось государством и было строго засекречено. Это позволило в короткие сроки получить выдающиеся результаты, которые за рубежом до сих пор еще не достигнуты. Однако главный конструктор экранопланов Р.Е. Алексеев и его соратники прорабатывали также проекты гражданских ЭП. В 1980 г. под его руководством был разработан и по настоящее время серийно строится речной амфибийный ЭП «Волга-2» (рис.7) на восемь пассажиров (взлетная масса – 2,7 т, скорость – до 120 км/ч, дальность – 500 км). В 1970 г. был разработан проект морского пассажирского ЭП «Чайка» (70 пассажиров, взлетная масса – 20 т, скорость – 250-300 км/ч, дальность – более 700 км, высота полета – 0,5-1,0 м), который, к сожалению, не был осуществлен.

## **ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ВОПРОСА О РАЗРАБОТКЕ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ ЭКРАНОПЛАНОВ**

Перестройка и конверсия, начатые в России в 1985 г., открыли путь для широкого практического внедрения ЭП гражданского назначения, которые должны были обладать всеми качествами, предъявляемыми к современному гражданскому транспортному средству. Проектирование, строительство и коммерческая эксплуатация такого средства были невозможны без создания национальных или международных правил, гарантирующих обеспечение достаточного уровня безопасности и устанавливающих процедуру его освидетельствования. Сознавая важность и необходимость скорейшего решения этой проблемы, ведущие специалисты «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева», возглавившие направление гражданского экранопланостроения – канд. техн. наук Д.Н. Синицын и д-р техн. наук А.И. Маскалик (с 1993 г. – генеральный директор ЗАО «Технологии и транспорт»<sup>\*</sup> и его заместитель, соответственно) в 1991 г. впервые поставили вопрос о разработке правил сертификации гражданских ЭП и искали пути для выполнения этой актуальной задачи. Однако обращение в ведущие предприятия авиационной и судостроительной промышленности, а также в классификационные общества не имело успеха.

В связи с фундаментальными отличиями ЭП от всех существовавших транспортных средств в то время было неясно, какие специалисты должны и

могли бы решить такую проблему. Сложность и неопределенность задачи заключались в том, что необходимо было квалифицированно обосновать и решить не только технические и эксплуатационные, но в первую очередь принципиальные юридические вопросы, связанные с тем, к какому виду гражданского транспорта следовало отнести ЭП – авиационному или морскому. От этого зависели все дальнейшие действия, а также время, потребное на сертификацию, и главное – ее стоимость. Причем для морского транспортного средства они могли бы быть в десятки раз меньше, чем для авиационного.

По рекомендации профессора Л.Д. Волкова, взявшись за решение проблемы в 1991 г. предложили автору настоящей статьи. Еще будучи студентом ЛКИ (СПбГМТУ), под впечатлением замечательной монографии Н.И. Белавина «Экранопланы» [3] и лекций известного ученого, специалиста по гидроаэродинамике скоростных судов – профессора И.Т. Егорова, я увлекся этим перспективным видом транспорта и знал его специфику. В 1969 г. защитил дипломную работу по аэродинамике ЭП, в период работы в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова с 1969 по 1972 г. подготовил несколько публикаций и даже был соавтором изобретения на эту тему, занимался также исследованиями мореходных качеств амфибийных и скеговых СВП. В дальнейшем, работая в ЦНИИ Морского флота, специализировался на исследованиях по теории корабля и безопасности высокоскоростных судов (ВСС), являясь автором требований к остойчивости «Правил обеспечения безопасности судов с динамическими принципами поддержания (СДПП)» [8] Российского Морского Регистра судоходства (РМРС), а с 1991 г. – ответственным за подготовку предложений делегаций РФ в ИМО по вопросам переработки «Международного Кодекса безопасности СДПП» [9] и разработки нового «Международного Кодекса безопасности ВСС» [10]. Накопленный опыт, по-видимому, оказался наиболее подходящим для данной цели. Соглашаясь тогда на предложение, автору трудно было предположить, что на решение поставленной задачи потребуются более 12 лет напряженной, но интересной работы.

После предварительного изучения проблемы в декабре 1991 г. мною была представлена на рассмотрение «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева» программа работ, необходимых для ее решения. Предлагалось одновременно вести работы в двух взаимосвязанных сферах:

1. В сфере технической политики:

1.1. Добиваться включения ЭП как нового класса пассажирских СДПП в правила классификации и постройки при пересмотре действовавших тогда «Правил обеспечения безопасности СДПП» Регистра СССР (Правила РС) и «Кодекса СДПП» ИМО.

1.2. Добиваться включения требований по безопасности ЭП в предложения советской делегации в ИМО.

1.3. В составе делегации РФ принимать участие в работе ИМО для отстаивания собственных предложений.

2. В сфере техники непосредственно:

2.1 Разработать конкретные требования к безопасности ЭП в Правилах РС с учетом характерных особенностей этих судов, максимально используя положения действующих Правил РС.

2.2. Разработать организационно-технические и режимные мероприятия и требования по безопасности ЭП в эксплуатации.

Работы первой сферы предлагалось выполнять на базе заключенного тогда договора ЦНИИМФ с Регистром по переработке Кодекса ВСС ИМО и Правил РС. В ходе работ по второй сфере предстояло создать комплекс требований, выполнение которых при проектировании и эксплуатации должно обеспечить ЭП и людям на их борту уровень безопасности, равноценный предписываемому Конвенцией о грузовой марке водоизмещающим судам и Конвенцией по охране человеческой жизни на море.

Поскольку безопасность СДПП (и ЭП в том числе) принципиально не может быть обеспечена только техническими средствами, находящимися на самом судне, предлагался комплексный подход, предусматривающий совместное выполнение требований по п. 2.1 и 2.2, так как невыполнение любого из них может оказать пагубное влияние на безопасность судна, пассажиров и экипажа.

Эта программа была принята и взята за основу при дальнейших действиях.

В результате исследований по договору, заключенному с «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева», и при его консультативной помощи в ЦНИИМФ в 1992 г. была выполнена первая работа по сертификации гражданских ЭП. Она называлась «Разработка предложений по концепции и основным принципам нормирования остойчивости и обеспечения безопасности пассажирских экранопланов» [11]. В ней впервые была обоснована принципиальная возможность классифицировать ЭП не как

\* Впоследствии переименовано в ЗАО «Амфибийные транспортные технологии» (ЗАО «АТТ»)

самолет, а как судно на динамической воздушной подушке. Учитывалось, что эксплуатация ЭП осуществляется главным образом в окружении морских транспортных средств и объектов морской навигационной обстановки. Было показано, что российские «Правила по СДПП» в значительной степени могут быть применены к ЭП, часть из них потребует корректировки, а часть требований необходимо будет существенно переработать или разработать вновь с учетом специфических особенностей ЭП и включения уместных авиационных требований. Были разработаны основные положения концепции использования ЭП и обеспечения его безопасности как нового морского высокоскоростного гражданского транспортного средства. Сформулированы необходимые определения, предложены некоторые основные требования и намечены пути дальнейшей разработки Правил сертификации гражданских ЭП. На основе анализа существовавшей тогда ситуации в работе был сделан важный вывод о целесообразности добиваться включения экраноплана как нового типа ВСС в «Кодекс безопасности ВСС» ИМО и о целесообразности разработки и включения соответствующих требований в документ РФ, подготавливаемый к ближайшей 37-й сессии Подкомитета по остойчивости, грузовой марке и рыболовным судам (Подкомитет SLF). Проект таких требований был разработан и представлен в отчете по этой работе.

Предложения по ЭП после необходимых обсуждений и согласований ведущими организациями были включены в официальный документ РФ (SLF 37/15/2), представленный к SLF 37 по вопросу разработки «Кодекса безопасности ВСС» в части остойчивости. В нем, среди прочего, впервые в ИМО было сделано предложение о включении в Кодекс ВСС нового типа судна – экраноплана.

Подкомитет SLF 37 (состоявшийся 11–15 января 1993 г.) с интересом и пониманием отнесся к предложению РФ. Однако он обоснованно считал, что принципиальный вопрос о принадлежности ЭП к морскому транспорту и о его включении в Кодекс ВСС должен решаться на Подкомитете по проектированию и оборудованию (Подкомитет DE), который являлся ответственным за разработку Кодекса ВСС, и рекомендовал РФ представить свои предложения к ближайшей, 36-й, сессии.

Такие предложения также были разработаны и включены в документ РФ (DE 36/5/7) к 36-й сессии Подкомитета DE (состоявшейся 22–26 февраля 1993 г.). Для работы в деле-

гацию РФ были включены Д.Н. Силицын и А.И. Богданов. Подкомитет с большим интересом воспринял информацию РФ об экранопланах и обоснование их принадлежности к морскому транспорту. Особенно убедительным оказался показ во время сессии уникального видеофильма об истории создания российских экранопланов и достигнутых практических результатах. После всестороннего обсуждения вопроса Подкомитет в своих решениях (DE 36/28):

- положительно оценил перспективы развития ЭП и значительную степень их разработанности;

- согласился, что ЭП должны быть отнесены к морским транспортным средствам, а их эксплуатационные вопросы должны рассматриваться в ИМО;

- принял решение о включении в повестку дня ИМО вопроса о разработке требований к безопасности ЭП и о включении их в новый Кодекс ВСС либо издании в виде самостоятельного документа;

- предложил Подкомитету по безопасности навигации (Подкомитет NAV) рассмотреть эксплуатационные аспекты ЭП;

- предложил учредить совместную рабочую группу ИМО/ИКАО для рассмотрения аспектов навигационной безопасности ЭП.

Эти решения были утверждены Комитетом безопасности мореплавания (Комитет MSC) на его 62-й сессии (MSC 62/25 п.4.23) и вопрос о разработке требований по безопасности экранопланов включили в Программу работ ИМО. Таким образом, в 1993 г. ИМО сделало поистине исторический шаг, признав ЭП в качестве морского транспортного средства. Так, по инициативе РФ было положено начало международной работе по сертификации гражданских ЭП, к которой впоследствии присоединились другие страны.

В соответствии с принятыми ИМО решениями дальнейшая работа шла параллельно в двух Подкомитетах – DE и NAV, а с 2002 г. также и в Подкомитете по стандартам обучения и несению вахты (Подкомитет STW). Все сессии проходили в штаб-квартире ИМО в Лондоне. Автор в качестве ответственного по вопросу от РФ с 1993 г. принимал непосредственное участие в работе Подкомитетов SLF 37, DE 36 – DE 45, NAV 40 – NAV 46, STW 34 и STW 35, а также в подготовке всех документов, представленных РФ в ИМО по вопросам безопасности ЭП. Настоящая статья подводит итоги работ ИМО по созданию требований к безопасности ЭП, выполненных до настоящего времени. Остановимся коротко на их наиболее важных этапах и результатах.

## РАЗРАБОТКА ПОДКОМИТЕТОМ DE ВРЕМЕННОГО РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ ЭКРАНОПЛАНОВ

Эта работа была начата на 36-й сессии Подкомитета DE в 1993 г. и закончилась на его 45-й сессии в 2002 г. принятием «Временного Руководства (ВР) по безопасности ЭП» (далее ВР). Пункт повестки дня Подкомитета вначале назывался «Разработка требований для экранопланов». К сожалению, впоследствии в ИМО было принято решение термин экраноплан (“ekranoplan”) заменить на более понятный для иностранных экспертов термин “wing-in-ground craft”, или сокращенно “WIG Craft”, что на русский язык можно перевести как «транспортное средство на крыльях, использующих явление влияния земли». В России для обозначения этого термина по-прежнему используется более короткое и привычное слово «экрanoплан». На 37-й сессии Подкомитета DE была организована Международная Корреспондентская группа (МКГ), работающая по переписке и руководимая РФ. Координаторы – д-р техн. наук А.В. Пономарев (в период 1994–1998 гг.) и канд. техн. наук М.А. Кутейников (1998–2002 гг.), зам. координатора – канд. техн. наук А.И. Богданов (1994–2002 гг.). В работе МКГ в различное время участвовали представители ИКАО, России, Германии, Канады, Америки, Франции, Кореи, Китая, Японии, Австралии, Великобритании, Гонконга и др. Наибольший вклад в создание руководства внесли Россия, Германия и Австралия, которая активно подключилась к работе в 1999 г. От нашей страны в формирование концепции международных требований к безопасности экранопланов, подготовку предложений РФ и работу на Подкомитете DE наибольший вклад внесли ЦНИИМФ, ЗАО «Технологии и Транспорт», Российский Морской Регистр судоходства, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева.

В процессе создания ВР пришлось не только впервые решать сложнейшие вопросы юридического, технического и эксплуатационного характера, но также знакомить экспертов других стран с особенностями и преимуществами нового транспортного средства, чтобы преодолеть скептическое отношение к нему, предрешение и даже боязнь. При этом неоднократно уточнялись юридические аспекты принадлежности ЭП к морскому или авиационному транспорту. Для этого были использованы требования ИКАО.

По определению ИКАО, «воздушное судно – это любой аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счет его взаимодействия с воздухом, исключая

взаимодействие с воздухом, отраженным от земной поверхности». Экраноплан же в своем основном режиме эксплуатации взаимодействует именно с таким воздухом. Поэтому юридически он не может рассматриваться как воздушное судно. Согласно концепции, разработанной РФ [12-15], принятой в ИМО и согласованной с ИКАО, *экраноплан – это судно, которое способно летать, а не самолет, способный плавать*. Для всех ЭП экранный режим является основным эксплуатационным. В силу своих уникальных качеств ЭП были выделены в отдельный класс судов и для их идентификации введены следующие определения:

**Экраноплан** – многорежимное судно, которое в своем основном эксплуатационном режиме летит с использованием экранного эффекта над водной или иной поверхностью без постоянного контакта с такой поверхностью и поддерживается в воздухе главным образом аэродинамической подъемной силой, генерируемой на воздушном крыле (крыльях), корпусе, или их частях, которые предназначены для использования действия экранного эффекта.\*

**Экранный эффект** – явление увеличения подъемной силы и уменьшения индуктивного сопротивления воздушного крыла при приближении к поверхности. Область действия этого явления зависит от проекта транспортного средства, но обычно имеет место при высоте меньшей, чем длина средней хорды крыла.\*\*

Однако некоторые ЭП способны летать на различных высотах как с использованием, так и без использования экранного эффекта, что требовало разграничения сфер юрисдикции ИМО и ИКАО. Поскольку для всех ЭП основным является режим эксплуатации с использованием действия экранного эффекта, то представлялось логичным разделить их на три типа (А, В и С) в зависимости от способности эксплуатироваться за пределами высоты действия этого эффекта [14-16]. Такое предложение, содержащее определения каждого из типов, было разработано автором и вошло в документ РФ, представленный к 37-й сессии Подкомитета DE.

Среди прочих, оно обсуждалось на заседании совместной ИМО/ИКАО рабочей группы, состоявшейся на 38-й сессии Подкомитета DE в январе 1995 г. [15-16]. В ее работе участвовали эксперты Канады (Ф. Бустос), Республики Корея (С-Д. Кох), Франции (Дж.М. Шлиндер), РФ (А.И. Богданов), Германии (У. Петерсен – председатель), Великобритании (С.Г.Н. Фирс), ИКАО (М. Кадью) и ИМО (Б.Г. Мартин-Кастекс – секретарь). Группе было поручено: изучить юридические вопросы того, какие типы ЭП должны покрываться морскими требованиями, а какие – требованиями гражданской авиации; определить максимально возможную высоту эксплуатации.

Оба вопроса были взаимосвязаны и рассматривались совместно. Предложенный Россией принцип разделения на типы оказался удобным для разграничения сфер ответственности ИМО и ИКАО и был принят. Впоследствии, на 45-й сессии Подкомитета, по нашему предложению, поддержанному Австралией, было решено в определениях типов вместо способности эксплуатироваться за пределами высоты действия экранного эффекта указывать на наличие сертификата, разрешающего такую эксплуатацию. Что по-прежнему подразумевало наличие способности, не меняло сути принципа разделения на типы, но позволяло в зависимости от потребности пересертифицировать существующий ЭП на более низкий тип и эксплуатировать его далее уже в соответствии с правилами этого типа. Например, ЭП, построенный как тип С или В, стало возможным пересертифицировать для эксплуатации в качестве типа А.

Таким образом, во ВР окончательно была принята следующая классификация типов ЭП:

**тип А** – судно, которое сертифицировано для эксплуатации только внутри зоны действия «экранного эффекта». (Во всех режимах эксплуатации он подчиняется требованиям ИМО);

**тип В** – судно, которое сертифицировано временно и на ограниченную величину увеличивать высоту полета за пределы действия «экранного эффекта», но на расстояние от поверхности, не превосходящее 150 м. (Он

также подчиняется требованиям ИМО, способен (при необходимости) кратковременно увеличивать высоту полета для перелета через другое судно, препятствие или иных целей. Максимальная высота такого «перелета» должна быть меньше, чем минимальная безопасная высота полета воздушного судна по требованиям ИКАО (над морем – 150 м). Ограничение высоты в 150 м контролируется ИКАО.);

**тип С** – судно, которое сертифицировано эксплуатироваться вне зоны действия «экранного эффекта» при высоте, превосходящей 150 м. (Как и типы А и В, он подчиняется требованиям ИМО во всех режимах эксплуатации кроме «самолетного». В «самолетном» режиме его безопасность должна обеспечиваться только требованиями ИКАО с учетом особенностей экранопланов. Следует обратить внимание на то, что ЭП типа С принципиально отличается от гидросамолета, даже если последний был бы спроектирован так, чтобы мог использовать экранный эффект при движении у воды. Для ЭП «самолетный» режим является вспомогательным, ему экономически невыгодно летать в этом режиме, в то время как для гидросамолета, наоборот, полет на большой высоте – основной, а режим движения у воды – не основной и кратковременный).

Разделение сфер ответственности, принятое совместной ИМО/ИКАО группой, показано в табл.1.

Эксплуатационные режимы экранопланов определены следующим образом:

1. «*Амфибийный*» («Amphibian mode») – специальный кратковременный режим амфибийного ЭП, когда он поддерживается главным образом статической воздушной подушкой и медленно движется над поверхностью, иной, чем вода.

2. «*Водоизмещающий*» («Displacement mode») – режим, при котором вес судна как при движении, так и без движения полностью или преимущественно поддерживается гидростатическими силами.

3. «*Глиссирования*» («Planing mode») – режим нормальной эксплуатации судна на поверхности воды, при котором негидростатические силы су-

\* Суда, которые используют экранный эффект, но не отрываются полностью от водной поверхности (т.е. имеют постоянно погруженные в воду элементы конструкции), классифицируются ИМО не как ЭП, а как ВСС. Их безопасность обеспечивается новым Кодексом безопасности ВСС 2000, вступившим в действие 1 июля 2002 г.

\*\* Нами также предлагалось технически более точное определение высоты действия экранного эффекта: «Для целей настоящего ВР высота вертикального распространения экранного эффекта  $h_{se}$  определяется по формуле:  $h_{se} = k * h_{(C_{y_{\infty}}=1,0)}$ , где  $h_{(C_{y_{\infty}}=1,0)}$  – высота полета, при которой отношение коэффициента аэродинамической подъемной силы ЭП  $C_{yh}$  к таковой при полете на безграничном удалении от поверхности  $C_{y_{\infty}}$  становится превосходящим 1,0. Эта высота определяется по результатам расчетов или испытаний модели ЭП в аэродинамической трубе.  $k$  – коэффициент, учитывающий особенности конкретного проекта ЭП, его размеры и район эксплуатации. Он не должен превосходить 1,0 и должен быть согласован с Администрацией». К сожалению, это определение было признано слишком сложным для ВР.

**Ответственность международных организаций  
за безопасность экранопланов в зависимости от их типов  
и эксплуатационных режимов**

Эксплуатационные режимы	Типы экранопланов		
	А	В	С
Водоизмещающий	ИМО	ИМО	ИМО
Переходный	ИМО	ИМО	ИМО
Глиссирования	ИМО	ИМО	ИМО
Взлет / Посадка	ИМО	ИМО	ИМО
Экранный (основной)	ИМО	ИМО	ИМО
Перелет		ИМО/ИКАО	ИМО/ИКАО
Самолетный			ИКАО

цественно или преимущественно поддерживают вес судна.

4. «Переходный» («Transitional mode») – промежуточный режим между режимами водоизмещающим и глиссирования.

5. «Экранный» («Ground effect mode») – основной эксплуатационный режим полета судна вблизи поверхности воды или иной опорной поверхности в диапазоне высот действия «экранного эффекта».

6. «Взлета/Посадки» («Take off / Landing mode») – промежуточный режим между режимами глиссирования и экранным.

7. «Перелета» («Fly-over mode») – кратковременное и ограниченное увеличение высоты полета экранопланов типа В или С, превышающее высоту, при которой существует действие «экранного эффекта» и не превосходящее минимальной безопасной высоты полета воздушного судна по требованиям ИКАО.

8. «Самолетный» («Aircraft mode») – полет ЭП типа С за пределами высоты действия «экранного эффекта» и минимальной безопасной высоты полета воздушного судна по требованиям ИКАО.

Разбиение ЭП на типы и их основные эксплуатационные режимы иллюстрирует рис. 8.

Совместной ИМО/ИКАО рабочей группой были также согласованы **максимально и минимально допустимые высоты эксплуатации ЭП в воздухе**. Они установлены в зависимости от режимов полета следующим образом:

**Основной эксплуатационный режим (экранный режим) для типов А, В и С:** максимально допустимая высота соответствует максимуму вертикального распространения действия экранного эффекта, как это определено в его определении (см. выше).

**Режим перелета для типов В и С для аварийных ситуаций:**

максимально допустимая высота для полета вне экранного эффекта должна быть основана на технических свойствах судна, принимая во внимание район эксплуатации, но эта высота не должна превышать 150 м.

**Самолетный режим для типа С:**

– минимальная высота полета соответствует минимально безопасной высоте для самолета, предписанной требованиями ИКАО; при полете над водой она должна быть по крайней мере 150 м; и

– максимально допустимая высота полета определяется в соответствии с требованиями ИКАО.

В силу новизны и необычных качеств ЭП, при разработке требований

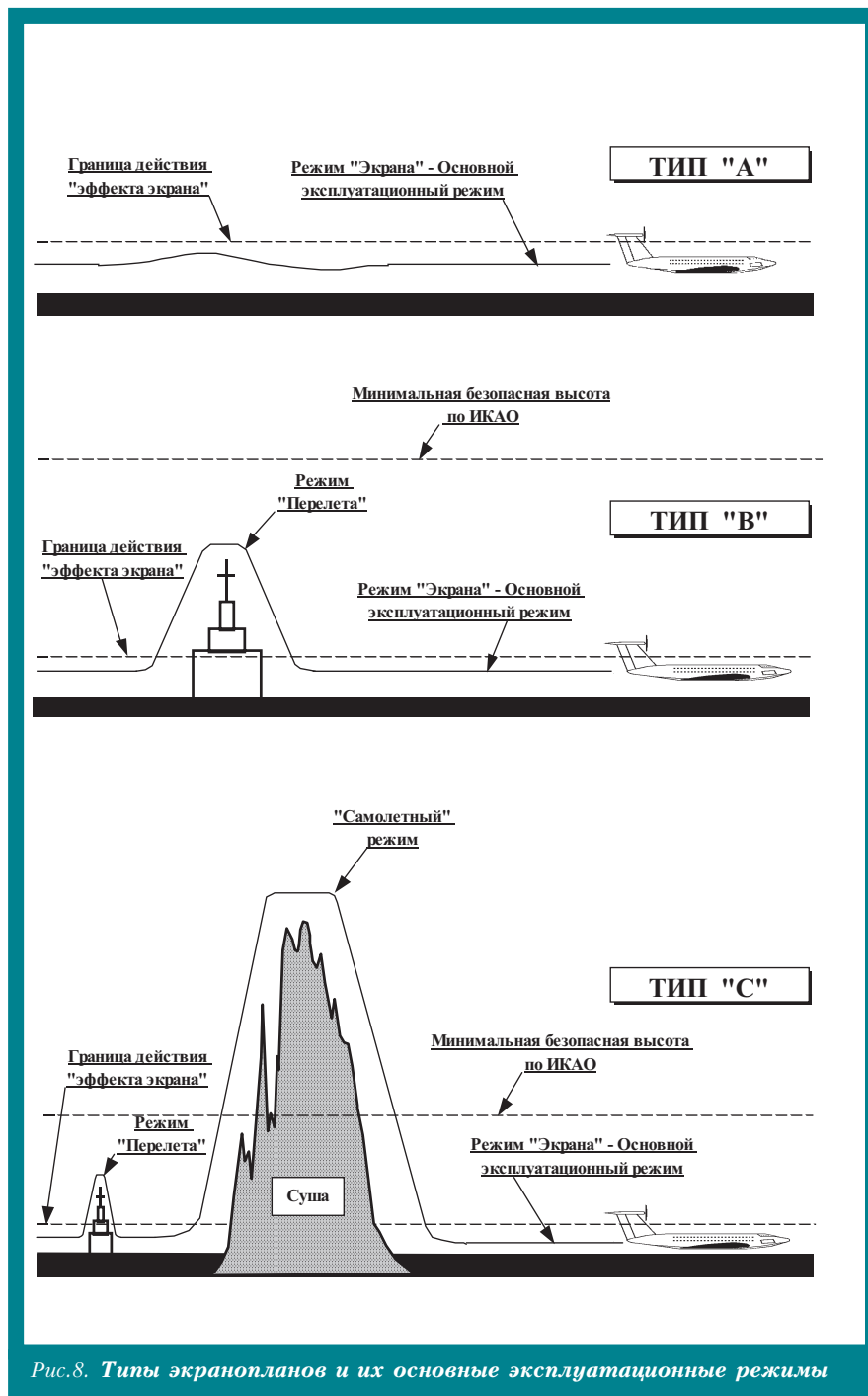


Рис. 8. Типы экранопланов и их основные эксплуатационные режимы

ИМО к их безопасности возникало множество сложных проблем, которые невозможно было решить без тщательного рассмотрения, всесторонних обсуждений и разумных компромиссов. Все это обусловило постепенное увеличение сроков завершения разработки и снижение статуса окончательного международного документа, от статуса Кодекса до статуса ВР, имеющего рекомендательный характер.

Уникальные способности каждого из трех типов ЭП, широкие возможности их применения, наличие восьми эксплуатационных режимов, сложность гидроаэродинамики, необходимость обеспечения и мореходных и летных качеств, эксплуатация у воды с самолетными скоростями и связанные с этим риски привели к необходимости фундаментального сдвига в философии и разработки нового подхода к обеспечению их безопасности.

На 43-й сессии Подкомитета DE, состоявшейся в апреле 2000 г., было признано, что традиционный принцип равновесия мероприятий по «предотвращению» и «уменьшению» опасностей, используемый для конвенционных и высокоскоростных судов, является недостаточно эффективным для ЭП. Было решено применить новый подход, основанный на комбинации традиционных мероприятий и мероприятий, основанных на риске, которые должны включать идентификацию опасности, оценку риска и меры по управлению риском (DE 43/WP.11). Проект таких требований был впоследствии подготовлен Германией с использованием авиационных требований ARP 4761. После соответствующего обсуждения и доработки они вошли в окончательную редакцию ВР отдельной, принципиально новой для морского транспорта, частью «С» – *Оценка безопасности и управление безопасностью*. Эта часть состоит из трех глав:

1. *Использование концепции вероятности*. В ней представлены общие положения и определения. Поясняется, что процесс оценки безопасности основывается на принципе существования обратной связи между вероятностью наступления события и тяжестью его последствий. Безопасность должна обеспечиваться на протяжении всего срока службы судна. Используемые для этого процессы и методы различаются по фазам жизненного цикла судна и сгруппированы в двух последующих главах;

2. *Оценка безопасности судовых систем ЭП*, в которой для этапов от начала проектирования судна до ввода в эксплуатацию рекомендованы процедуры тщательного исследования его функций и систем, обеспечивающих выполнение этих функций, а так-

же процедуры исследования потенциальных отказов и их последствий для судна и пассажиров, происходящих отдельно или в комбинации;

3. *Управление безопасностью*. В ней рекомендованы процедуры обеспечения безопасного управления судном и надлежащего применения систем управления, обеспечивающие выполнение стандартов безопасности на этапе эксплуатации.

В преамбуле к ВР по ЭП и в циркуляре MSC/Circ.1054, вводящем его в действие, подчеркнуты следующие особенности этого принципиально нового документа и необычного вида транспорта.

1. Комитет по безопасности на море на 76-й сессии (2–13 декабря 2002 г.), одобрил Временное Руководство для ЭП. ЭП поддерживаются в их основном эксплуатационном режиме исключительно аэродинамическими силами, которые позволяют им эксплуатироваться над морской поверхностью на низкой высоте, но без прямого контакта с этой поверхностью. Устройство, технические характеристики, проектирование, строительство и эксплуатация ЭП имеют много общего с аналогичными характеристиками самолета. ЭП вынуждены эксплуатироваться вместе с другими плавучими средствами и использовать те же правила предотвращения столкновения, что и обычное судоходство. Для учета эксплуатационных особенностей ЭП Подкомитетом по безопасности навигации были разработаны «Поправки к международным Правилам предупреждения столкновения судов в море (резолюция А.910(22))», принятые 22-й Ассамблеей ИМО 29 ноября 2001 г.

2. ВР для ЭП было разработано в связи с необычной конфигурацией ЭП, которая находится между морскими и авиационными регулирующими режимами. Основой для данного ВР является гибкое управление риском. Несмотря на то, что это является примером отклонения от традиционных стандартов, формирующих основу Кодекса ВСС 2000, намерение состоит в том, чтобы достичь требований безопасности, сопоставимых с таковыми из Конвенции СОЛАС 1974. Тем не менее уместные положения Кодекса ВСС 2000 были включены во ВР.

3. Значительные различия между ЭП и ВСС, отраженные во ВР, включают:

- существенно более высокие скорости ЭП и, следовательно, большее пройденное расстояние в заданное время на эксплуатационной скорости;
- возможность «амфибийных» ЭП работать с наземной базы;
- потребность в выравнивании уровней риска и безопасности на еди-

ном основании, признание того, что высокие уровни обучения операторов, всесторонние и тщательно осуществленные процедуры, высокие уровни автоматизации и сложного программного обеспечения, все это может внести значительные вклады в уменьшение риска;

– уменьшенная способность ЭП нести и развертывать оборудование и системы традиционно связанные с морским судном;

– измененное использование традиционной корабельной терминологии, типа остойчивости для безопасности ЭП в эксплуатационном режиме и соответствующее увеличение в использовании авиационной терминологии, типа управляемости;

– способность ЭП к смягчению опасности связанной с его воздушным режимом посредством его способности совершить посадку на воду в любое время.

4. Чтобы ВР было, насколько возможно, вовлечено в проектирование, строительство и эксплуатацию ЭП, оно подготовилось в трех частях:

– **А (Общие положения)**, представляющая общие положения, применяемые ко всем судам;

– **В (Временные рекомендации)**, которая включает 18 глав положений основанных на традиционных стандартах, которые могут быть зависимыми от мер, разработанных согласно рекомендациям по оценке безопасности части С, и могут быть аннулированными ими;

– **С (Оценка безопасности и управление безопасностью)**, которая подробно рассматривает оценки безопасности основанные на риске, подлежащие к выполнению для всех судов.

5. ВР не предназначено быть «руководством по проектированию» для разработки ЭП. Вернее, оно предназначено для применения совместно с надлежащим техническим анализом, проектными и доводочными испытаниями, чтобы добиться требуемой безопасности судна. В процесс проектирования, насколько это приемлемо, должны включаться оценки в аэродинамической трубе и на масштабной модели и использоваться как часть приемочных испытаний проекта и его освидетельствования.

6. При разработке этого ВР было предпринято все необходимое для гарантирования того, что ЭП не налагает неразумных требований на других пользователей морской окружающей среды и, наоборот, что эти пользователи идут на разумный компромисс, чтобы облегчить эксплуатацию ЭП.

7. Следует отметить, что ВР – это первоначальный документ, на котором следует основывать безопасное проек-



тирование, строительство и эксплуатацию этих новых судов, но он должен пересматриваться по мере необходимости (предпочтительно с интервалом не более четырех лет), чтобы отразить опыт, полученный при его применении, и далее улучшить безопасность этих судов, их пассажиров и экипажа.

### **РАЗРАБОТКА ПОДКОМИТЕТОМ NAV ПОПРАВОК К МППСС-72, УЧИТЫВАЮЩИХ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКРАНОПЛАНОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Работа на Подкомитете NAV была начата на его 40-й сессии в 1995 г., пункт повестки дня «Эксплуатационные аспекты ЭП» и завершилась на 46-й сессии в 2000 г. принятием «Поправок к Международным Правилам Предупреждения Столкновения Судов в Море 1972 года (МППСС-72).

Все документы, представленные в Подкомитет за период работы по данному вопросу (NAV 40/INF.10, NAV 41/16, NAV 43/10, NAV 44/9, NAV 45/4/2), были подготовлены только РФ, и активная работа осуществлялась ею одною. В этом были задействованы ЦНИИМФ (А.И. Богданов), при участии и консультативной помощи «АТТ» (Д.Н. Сеницын). Проекты документов РФ обсуждались на заседаниях представителей ведущих организаций по вопросам навигационной безопасности и утверждались Минтрансом для отправки в ИМО. Обсуждения документов РФ и дискуссии по вопросу на различных сессиях Подкомитета проводились на его пленарных заседаниях, а также в постоянно действующей рабочей группе по установлению путей движения судов, руководимой капитаном Дж. Ламейером (Голландия).

РФ также провела большую предварительную работу по ознакомлению членом Подкомитета ДЕ с новым транспортным средством. В ее документах были представлены технические характеристики построенных ЭП, их эксплуатационные возможности и особенности, а также предложены обоснования несколько последовательных редакций проекта конкретных поправок к МППСС-72 для учета этих особенностей. Кроме того, в соответствии с просьбой Подкомитета (на его 42-й сессии) РФ организовала специальную презентацию достижений технологии постройки и эксплуатации ЭП в мире. Для этого она показала с комментариями несколько отечественных и зарубежных (любезно предоставленных нам для этого иностранными коллегами) видеофильмов, иллюстрирующих особенности эксплуатации ЭП различных типов и размеров в различных усло-

виях и режимах. В делегацию РФ дополнительно был включен опытный пилот-испытатель ЭП В.Ф. Трошин (ЗАО «АТТ»), принимавший участие в испытаниях практически всех типов российский ЭП, и была проведена плодотворная дискуссия экспертов РФ с экспертами других стран [17]. Все это позволило членам Подкомитета всесторонне рассмотреть эксплуатационные аспекты ЭП, получить исчерпывающие ответы на интересующие их вопросы и квалифицированно сформировать впоследствии свое мнение по предложениям РФ относительно возможного изменения МППСС [17–19]. Учитывая чрезвычайную ответственность изменяемого международного документа, текст поправок тщательно обсуждался и дорабатывался на протяжении нескольких сессий.

В результате итогового рассмотрения и детального обсуждения проекта поправок к МППСС-72, предложенного РФ, Подкомитет постановил на своей 46-й сессии следующее:

1. Подкомитет пришел к мнению, что определение гидросамолета не подходит для ЭП, поскольку он не может быть расценен как самолет. Поэтому Подкомитет подготовил отдельное определение термина «экраноплан» для целей МППСС.

2. Подкомитет пришел к мнению, что целесообразно разработать новый параграф (f) к Правилу 18, требующий, чтобы ЭП при взлете, посадке и в полете около поверхности держался в стороне от всех других судов. Подкомитет также согласился с тем, что ЭП, эксплуатирующийся на воде, должен выполнять Правила плавания и маневрирования как судно с механическим двигателем.

3. Подкомитет пришел к мнению, что использование желтого проблескового огня, как предписано в Правиле 23(b), для судна на воздушной подушке будет неприемлемым по следующим причинам:

3.1. единственная цель желтого проблескового огня, предписанного в Правиле 23(b), указать, что расположение навигационных огней судна на воздушной подушке при эксплуатации в неводоизмещающем режиме не обязательно является признаком направления движения, однако этот огонь ни в коем случае не указывает на специальное обязательство для СВП в отношении Правил плавания и маневрирования;

3.2. СВП обязано выполнять Правила плавания и маневрирования как судно с механическим двигателем;

3.3. ЭП при взлете, посадке и полете около поверхности обязан держаться в стороне от всех других судов. Таким образом, в этих режимах

эксплуатации, любой вид расположения навигационных огней не является важным для других судов.

4. Подкомитет пришел к мнению, что важно указать путем выставления кругового красного проблескового огня высокой интенсивности, что ЭП находится в режиме взлета, посадки или полета около поверхности.

На основании вышеупомянутых рассмотрений Подкомитет согласовал проект поправок, изложенный в Приложении 7, которые Комитет приглашается одобрить. Итогом всей проделанной на Подкомитете NAV многолетней работы по данному вопросу явилось принятие и введение Комитетом в действие следующих **поправок к МППСС-72** [20], отражающих эксплуатационные аспекты ЭП:

**Правило 3.** Пункт (a) изменяется следующим образом:

(a) Слово «судно» означает все виды плавучих средств, включая неводоизмещающие суда, экранопланы и гидросамолеты, используемые или могущие быть использованными в качестве средства передвижения по воде.

Добавляется новый пункт (t) следующего содержания:

(t) Термин «экраноплан» означает многорежимное судно, которое в основном эксплуатационном режиме летит в непосредственной близости к поверхности, используя действие экранного эффекта.

**Правило 18.** Добавляется следующий новый пункт (f):

(f) (i) Экраноплан при взлете, посадке и в полете вблизи поверхности должен держаться в стороне от всех других судов и не затруднять их движение.

(ii) Экраноплан, находящийся на поверхности воды, должен выполнять Правила этой Части как судно с механическим двигателем.

**Правило 23.** Добавляется следующий новый пункт (c), а следующий за ним (прежний (c)) соответственно перенумеровывается.

(c) Экраноплан только при взлете, посадке и в полете вблизи поверхности должен, в дополнение к огням, предписанным пунктом (a) этого Правила, выставлять круговой красный проблесковый огонь большой силы света.

**Правило 31.** Изменяется следующим образом:

Если гидросамолет или экраноплан практически не может выставлять огни или знаки, которые по своим характеристикам или расположению отвечали бы требованиям Правил этой Части, он должен выставлять огни и знаки, которые по своим характеристикам и расположению были бы настолько близки к требованиям Правил, насколько это возможно.

## **НАЧАЛО РАЗРАБОТКИ ПОДКОМИТЕТОМ STW ТРЕБОВАНИЙ К ЗНАНИЯМ, НАВЫКАМ И ОБУЧЕНИЮ ЛИЦ КОМАНДНОГО СОСТАВА НА ЭКРАНОПЛАНАХ**

Успешное завершение в ИМО разработки ВР и поправок к МППСС-72 явилось большим достижением в обеспечении безопасности ЭП, но не решило эту многогранную проблему полностью. Последний, очень важный, ее аспект, относящийся к учету «человеческого фактора» и связанный с обучением и дипломированием лиц командного состава на ЭП, еще оставался нерассмотренным. Без его решения безопасная эксплуатация ЭП не могла быть признана обеспеченной.

Считая этот вопрос срочным и важным для эксплуатации уже построенных и строящихся в разных странах ЭП, Австралия и РФ в 2001 г. обратились в КБМ с предложением (MSC 76/20/6), поручить Подкомитету по стандартам обучения и несению вахты (Подкомитет STW) рассмотреть «Требования к знаниям, навыкам и подготовке командного состава на экранопланах». Комитет рассмотрел предложение, счел его обоснованным и одноименный пункт был включен с высоким приоритетом в Повестку дня Подкомитета STW.

В работе Подкомитета STW по данному вопросу приняли непосредственное участие две страны – РФ и Австралия. В России работа велась в ЦНИИМФ (А.И. Богданов) при участии и консультативной помощи «АТТ» (Д.Н. Сеницын, А.И. Маскалик). Подготовленные проекты документов РФ рассматривались на секции «Человеческий фактор» НТС Российского Морского Регистра судоходства и одобрялись Минтрансом для отправки в ИМО.

Новая задача представлялась не менее сложной, чем уже решенные на Подкомитетах DE и NAV. Опыт подготовки экипажей гражданских ЭП в мире еще очень мал и относится к малым ЭП, а имевшийся в России до перестройки богатый опыт подготовки комсостава больших военных ЭП во многом уже устарел, не соответствует международным стандартам гражданского морского транспорта, и его трудно непосредственно использовать на современных гражданских ЭП.

В качестве первого шага Австралия и РФ совместно подготовили и представили к 34-й сессии Подкомитета (февраль 2002 г.) документ STW 34/13, в котором предложили список заголовков возможных требований к лицам командного состава на ЭП и изложили предварительные соображения по их разработке. В последующий межсессионный период эксперты этих стран интенсивно работали по переписке. Российской

Федерацией был подготовлен и представлен для обсуждения первоначальный проект требований, который показал совпадение общих идей. Странами была проделана большая и важная работа по сближению позиций и формированию совместного документа. Однако по техническим причинам в ИМО к 35-й сессии Подкомитета STW (январь 2004 г.) были представлены отдельные документы Австралии (STW 35/11/1) и Российской Федерации (STW 35/11/2), которые были согласованы и взаимно дополняли друг друга.

Сторонами сознавалась необычность и сложность решаемой задачи, связанная с уникальными особенностями нового транспортного средства, объединившего в себе качества судна и самолета. Чтобы оптимизировать работу, на данном этапе было признано целесообразным не разрабатывать требования сразу для всех лиц командного состава, а также для всех размеров и типов экранопланов, а разработать концепцию и отладить методику разработки таких требований в деталях сначала на одном примере, чтобы использовать ее на последующих этапах. В качестве такого примера была выбрана должность вахтенного помощника капитана на экраноплане взлетным весом от 10 до 500 т.

К настоящему времени уже сформирована в первом приближении общая концепция международного документа, который должен иметь рекомендательный статус. Он был назван «Рекомендации по знаниям, навыкам и подготовке командного состава на экранопланах». Было согласовано, что, поскольку ЭП эксплуатируются, главным образом в морском окружении, то рекомендации должны обеспечить лиц командного состава такими знаниями, навыками и подготовкой, которые привели бы к уровню безопасности, по крайней мере, эквивалентному предъявляемому Конвенцией STCW-95 к лицам командного состава на обычных судах. По этим же соображениям структура требований должна быть близка к Конвенции STCW-95. Не вдаваясь в подробности, приведем с сокращениями лишь основные положения концепции разработанных «Рекомендаций».

### **Общие принципы и требования к квалификации офицеров на ЭП**

#### **1. Общие принципы**

1.1. Командный состав на ЭП должен иметь базовую квалификацию, достигаемую под международными морскими или авиационными системами квалификации.

1.2. В дополнение к базовой квалификации лица командного состава на ЭП должны пройти специальное обучение и продемонстрировать соответствующие знания и навыки в соответствии с этими Рекомендациями, к

удовлетворению Администрации или органа, уполномоченного действовать от имени Администрации.

1.3. Завершение обучения должно быть удостоверено присвоением специальной квалификации, которая учитывает специфические особенности ЭП вообще и особенно тех моделей, для которых лицо командного состава дипломируется, вместе с любыми географическими ограничениями на работу.

1.4. Там, где специфическое положение этих Рекомендаций неуместно для ЭП или района эксплуатации, для которого лицо командного состава дипломировано, Администрация может отказать от такого положения при условии, что детали отказа указаны в специальной квалификации, выданной лицу командного состава.

### **2. Общие требования к базовой квалификации**

2.1. Морская базовая квалификация должна удовлетворять требованиям ИМО, перечисленным в Международной Конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты с поправками (STCW-95). Точно так же авиационная базовая квалификация должна удовлетворять требованиям Международной организации гражданской авиации (ИКАО), перечисленным в Чикагской Конвенции о международной гражданской авиации (1944), с поправками.

2.2. Базовая квалификация должна удостоверять, что лицо командного состава подготовлено для выполнения функций на судне или самолете, имеющем приблизительно равные или более высокие характеристики веса, мощности двигателя, пассажироместности, дальности и т.д., как у ЭП, для которого лицо командного состава дипломируется.

2.3. Для целей этих Рекомендаций ЭП классифицируется по максимальному взлетному весу (водоизмещению) следующим образом: до 10 т – малые; от 10 до 500 т – средние; более 500 т – большие.

2.4. Базовые квалификации лиц командного состава на ЭП типов А и В должны предпочтительно быть морскими квалификациями, такими, например, как капитан, старший помощник капитана, вахтенный помощник капитана и т.д.

2.5. Авиационные базовые квалификации не предпочтительны для лиц командного состава на ЭП типа А, но могут быть приняты там, где Администрация убедится, что кандидат обладает требуемым знанием и навыками.

2.6. Лица командного состава на ЭП типа С должны иметь авиационные базовые квалификации. Для службы на ЭП всех типов лица командного состава, имеющие авиационную базовую квалификацию, должны удовлет-

ворительно закончить краткий курс морского обучения и получить свидетельство (диплом) для исполнения своих функций на судне, согласно требованиям Конвенции STCW-95, по крайней мере, в следующих областях морского знания:

- радио ГМССБ (GOC или ROCР как приемлемо);
- САРП (система автоматической радиолокационной прокладки);
- система отображения электронных карт и информации (ECDIS);
- борьба с огнем, основная и/или по расширенной программе;
- выживание;
- скорая помощь и/или медицинское обучение;
- человеческие факторы/средства управления с мостика;
- эксплуатация ВСС;
- пассажиры;
- планирование и осуществление местного судовождения.

### 3. Общие требования к специальной квалификации, учитывающей специфику ЭП

3.1. Количество и содержание подготовки предусмотренной для лиц командного состава и специальная квалификация, отражающая знание и достигнутые навыки должны охватить все аспекты выполнения ими эксплуатационных функций и функций безопасности на ЭП.

3.2. Для обретения специальной квалификации лица командного состава должны получить подготовку и пройти экспертизу, по крайней мере, по следующим областям специальных знаний:

- аэродинамика и гидродинамика ЭП;
- конструкция, постройка и обслуживание ЭП;
- судовождение ЭП;
- высокоскоростная навигация на низкой высоте;
- режимы водоизмещающий, переходный и глиссирования;
- взлет и посадка в различных условиях;
- крейсерский полет в режиме экрана;
- режим перелета;
- сползание и амфибийный режим (для амфибийных ЭП);
- швартовка и буксировка;
- распределение веса (пассажиров/ груза, инерция, и остойчивость);
- экстремальные ситуации;
- движители, двигатели и машинное оборудование ЭП;
- приборное обеспечение ЭП (полетное, навигационное, связи, двигателей, и т.д.);
- системы ЭП (топливная, электрическая, гидравлическая, кондиционирования воздуха, водопроводная, и т.д.);

- спасательные и аварийные системы и процедуры ЭП;
- человеческие факторы в эксплуатации ЭП (бдительность, предвидение, понимание риска, и т.д.);
- правила, относящиеся к квалификации экипажа и их применимость;
- правила, касающиеся медицинской пригодности и срока ее действия;
- эксплуатационные правила;
- предполетные проверки;
- персональные проверки человеческого фактора экипажа;
- дозаправка;
- погрузка пассажиров и грузов;
- разгрузка и проверка;
- документация.

3.3. Детали этих требований, представленных на примере поста вахтенного помощника капитана для ЭП среднего размера, разработаны. Соответствующие требования для других должностей и судов других размеров еще подлежат разработке.

Таким образом, это лишь начальный этап разработки «Рекомендаций», впереди – еще много работы.

В соответствии с решениями последней, 35-й сессии, Подкомитета STW, к его 36-й сессии (январь 2005 г.) должны быть разработаны дальнейшие предложения. Кроме того, с целью содействия экспертам других стран – членам ИМО в рассмотрении предложений и принятии решений по данному вопросу, заинтересованным странам было предложено представить к сессии дополнительную информацию по ЭП, их особенностям и существующим национальным системам подготовки их командного состава.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По инициативе РФ в 1993 г. в ИМО был поставлен вопрос о разработке требований к безопасности ЭП. В процессе этой работы на международном уровне были успешно решены принципиальные вопросы юридического, технического и эксплуатационного характера и впервые созданы следующие международные документы:

- поправки в МППСС-72, включающие новый тип судов – ЭП, отражающие их эксплуатационные аспекты и позволяющие им безопасно эксплуатироваться среди других судов. Поправки приняты 22-й Ассамблеей ИМО (Резолюция А.910(22) от 29 ноября 2001 г.) и вступили в силу 29 ноября 2003 г. [20];
- международное «Временное Руководство по безопасности экранопланов», дающее рекомендации их по их проектированию, постройке и эксплуатации. Руководство принято решением 45-й сессии Подкомитета DE (документ DE 45/27), которое утверждено и введено в действие Циркуляром Комитета по безопасности мо-

реплавания (MSC/Circ. 1054 от 16 декабря 2002 г.) на его 76-й сессии [21].

2. Создание этих документов ИМО имеет историческое значение, так как они впервые констатировали международное признание экранопланов в качестве нового перспективного морского транспортного средства и обеспечили юридическую основу для его дальнейшего развития и коммерческой эксплуатации на международных линиях [22]. Эти документы известили о фактическом рождении нового направления в мировой морской индустрии.

Об этом свидетельствуют значительные успехи в создании новых ЭП, достигнутые за истекший период в России и Германии, начало строительства и эксплуатации экранопланов в Австралии, Китае, США, а также усиливающийся интерес других стран к этому виду транспорта. В ряде стран развитие ЭП стимулируется и поддерживается правительством. Например, оно включено в последние два пятилетних плана Китая.

3. Вышеуказанные документы охватывают еще не все аспекты обеспечения безопасности ЭП. Очень важный аспект, относящийся к учету человеческого фактора, отсутствовал. С целью ликвидации этого пробела по инициативе Австралии и РФ в ИМО в 2003 г. начата разработка требований к знаниям, навыкам и подготовке командного состава на ЭП. К настоящему времени разработана концепция документа и подготовлены первые предложения по таким требованиям. С окончательным завершением их разработки и вступлением в силу ЭП получат полный набор международных документов, регламентирующих их безопасность как нового гражданского морского транспортного средства. Путь для их широкого международного использования будет открыт.

4. Первые международные документы к безопасности ЭП по мере их применения, несомненно, потребуют своего дальнейшего развития и совершенствования. Россия, как признанный лидер в области экранопланной технологии, должна продолжить свое активное участие в этой работе.

5. За истекший период в России были разработаны и в 1999 г. введены в действие первые в мире национальные правила классификации и постройки гражданских ЭП, которые относятся к малым ЭП типа А [23, 24]. Они создавались одновременно и во многом послужили основой для подготовки предложений РФ при разработке Временного руководства ИМО [21]. В настоящее время назрела необходимость в создании российских правил для ЭП остальных типов и размеров.

6. Широкое применение амфибийных технологий на базе ЭП и реализация их уникальных возможностей могло бы помочь РФ в решении важнейших народно-хозяйственных задач, например, в создании скоростных грузопассажирских перевозок на уже существующих и принципиально новых для морского транспорта маршрутах, где использование амфибийных и летных качеств ЭП позволит значительно сократить протяженность и длительность рейсов; в организации скоростной паромной линии Санкт-Петербург–Калининград; в решении вопросов круглогодичного функционирования СМП и освоения труднодоступных регионов Севера и Дальнего Востока, где применение традиционных видов транспорта либо неэффективно, либо затруднено и т.д. Решение этих вопросов, имеющих государственное значение, не под силу отдельным организациям или частным фирмам. Необходим комплексный государственный подход, включающий создание соответствующей Федеральной программы, координируемой и финансируемой государством, а также создание благоприятных условий для привлечения отечественных и иностранных инвесторов и организаций.

В заключение автор хотел бы выразить свою искреннюю признательность и благодарность коллегам и специалистам всех стран, внесшим значительный вклад в организацию работ, разработку и обсуждение требований к безопасности ЭП, содержащихся в уже принятых и еще разрабатываемых документах ИМО. В особенности канд. техн. наук Д.Н. Синицын, д-ру техн. наук А.И. Маскалик, академику АТ В.И. Пересыпкину, г-ну В.В. Кузовкину, д-ру техн. наук А.В. Пономареву и канд. техн. наук М.А. Кутейникову (из России), канд. техн. наук У. Петерсену (из Германии), м-ру Р. Гелингу и м-ру Дж. Лесли (из Австралии), капитану Дж. Ламейеру (из Голландии), а также ЗАО «Амфибийные транспортные технологии» и ЗАО «Арктическая торгово-транспортная компания», которые, в отсутствие государственной поддержки и в сложной экономической ситуации в России, взяли на себя тяжелую ношу и финансировали работу российских экспертов по созданию международных требований к безопасности ЭП. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданов А.И.* Новейшие амфибийные средства – недостающее звено арктической транспортной системы, необходимое для решения комплексной проблемы ее круглогодичного использования. – Сб. трудов ЗАО ЦНИИМФ «Перспективные транспортные средства

для Арктики». – СПб., 2003, с. 114-147.

2. *Nebylov A.V., Tomita N.* Ekranoplan designing experience revision in view of its use for aerospace plane (ASP). – Proceedings of a Workshop «WISE up to ekranoplan GEMs», University of NSW, Sydney, NSW, Australia, 1998, p.191-199.

3. *Белавин Н.И.* Экранопланы. – Л.: Судостроение, 1968, с. 176.

4. *Синицын Д.Н., Маскалик А.И.* Амфистар – Первый гражданский экраноплан. – СПб.: Судостроение, 2000, 112 с.

5. *Маскалик А.И., Колызаев Б.А., Жуков В.И., Радовицкий Г.Л., Синицын Д.Н., Загорюлько Л.К.* Экранопланы: Особенности теории и проектирования. – СПб.: Судостроение, 2000, 320 с.

6. *Белавин Н.И.* Корабли, самолеты, экранопланы. СПб.: Изд. СПбГУ, 2000, 389 с.

7. *Небылов А.В.* Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. – СПб., 1994, 307 с.

8. Правила обеспечения безопасности судов с динамическими принципами поддержания, Регистр СССР, 1980, 247 с.

9. Code of Safety for Dynamically Supported Craft (DSC Code), Resolution A.373(X) on 14 November 1977, ИМО.

10. International Code of Safety for High Speed Craft (HSC Code), Resolution MSC. 36(63) on 20 May 1994, ИМО.

11. Разработка предложений по концепции и основным принципам нормирования остойчивости и обеспечения безопасности пассажирских экранопланов. – Научно-техн. отчет ЦНИИМФ. Рук. А.И. Богданов. – ХД №-4-315, 1992, 50 с.

12. *Богданов А.И., Синицын Д.Н.* Разработка нового Кодекса ИМО по высокоскоростным судам и проблемы сертификации экранопланов. – Тр. I международ. конфер. по экранопланам. – СПб.: Судостроение, 1993, с. 66-71.

13. *Bogdanov A.I., Synitsin D.N.* New IMO High Speed Craft Code and the Problems of Ekranoplanes Certification. – Proceeding of the Second International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'93). Yokohama, Japan.: The Society of Naval Architects of Japan, Tokyo, 1993. - Vol. 2, p.1457-1465.

14. *Богданов А.И.* Разработка Правил обеспечения безопасности – актуальная задача современного этапа развития транспортных экранопланов. Тр. II Международной конференции по экранопланам, Россия, Нижний Новгород, 1994.

15. *Bogdanov A.I.* Development of IMO

Safety Requirements for a new High Speed Seagoing Transportation - WIG Craft. Present State. – Proceedings of the Third International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'95), Lubeck-Travemunde, Germany, 1995, vol.1, p.631-639.

16. *Bogdanov A.I.* The Problems of Ekranoplan Certification. Conception and Development of IMO Safety Requirements; Proceedings of a Workshop «Twenty-First Century Flying Ships. – University of NSW, Sydney, NSW, Australia, 1995, p.128-147.

17. *Bogdanov A.I.* Discussions on the operational aspects of WIG Craft at the IMO Sub-Committee on Safety of Navigation; Proceedings of a Workshop «Ekranoplans & Very Fast Craft. – University of NSW, Sydney, NSW, Australia, 1996, p.213-229.

18. *Bogdanov A.I., Peresyppkin V.I.* Operational aspects of WIG Craft - Possible amendments to COLREGs; Proceedings of a Workshop «WISE up to ekranoplan GEMs. – University of NSW, Sydney, NSW, Australia, 1998, p.145-153.

19. *Богданов А.И., Пересыпкин В.И.* Эксплуатационные аспекты экранопланов – возможные изменения в МППСС-72. – Тр. II Междун. выставки и конференции по гидроавиации в России, Геленджик, Россия, 1998.

20. Amendments to the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972. – Resolution A.910(22), adopted on 29 November 2001, entered in force on 29 November 2003.

21. Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft. – MSC/Circ.1054, adopted 16 December 2002, 176 p.

22. *Bogdanov A.I.* The First International Requirements to Safety of Wing in Ground Craft. – Proceedings of the PACIFIC'2004 International Maritime Conference, Sydney, NSW, Australia, 2004, Vol. 1, p. 330-345.

23. Правила классификации и постройки малых экранопланов типа «А». – СПб.: Российский Морской Регистр судоходства, 1988, 66 с.

24. *Bogdanov A.I., Evenko V.I., Maskalik A.I.* Rules of Classification and construction of a type «А» small ekranoplans of the Russian Maritime Register of Shipping – a first in the world the regulatory document for civil ekranoplans. Proceedings of an International conference «Ground Effect Machines» (GEM'2000). St. Petersburg, Russia, 2000, p. 73-80. ■

Рецензент:

*Э.А. Паравен, д-р техн. наук*

# АВАРИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

Ю.Ф. Тарасюк, д-р техн. наук, проф.

В книге «Подводники. Записки командира первой атомной подводной лодки» (М., Золотая аллея, 2002) ее автор – Л.Г. Осипенко – командир лодки «К-3» пишет, что на высокоскоростных атомных ПЛ рекомендуется «не производить больших перекладок, особенно носовых горизонтальных рулей, чтобы не доводить дело до заклинивания их». Эти слова всколыхнули во мне воспоминания о событиях на «К-19» в апреле 1961 г.

Но, прежде чем рассказать об одном малоизвестном факте начала испытаний и эксплуатации первого в стране атомного подводного ракетноносца «К-19», который зафиксирован документально и навсегда запечатлен в моей памяти, сделаю небольшое вступление.

В конце 1999 г. попала на глаза газета «Гудок» с неожиданным для железнодорожников броским заголовком: «Дневник командира атомного подводного крейсера стратегического назначения «К-19» капитана 2 ранга Николая Затеева». Однако такого дневника, посвященного выходу «К-19» в Атлантику 18 июня 1961 г. и трагическим событиям на ней 4 июля 1961 г. могло и не быть из-за аварии на этой подлодке в Баренцевом море в ночь с 13 на 14 апреля 1961 г.

В начале марта 1961 г. меня вызвал командир нашей АПЛ капитан 2 ранга Ю.Н. Калашников и сказал, что я включен в состав Комиссии на ходовые испытания АПЛ «К-19». Кроме того, я должен был одновременно выполнять обязанности врио командира БЧ-1, так как тот заболел. В конце первой декады апреля АПЛ «К-19» вышла в Баренцево море на скоростные испытания, которые в экипаже называли «десятисуточной автономкой». Мне выдали экземпляр инструкции, как поступать с носовыми горизонтальными рулями в случае ожидаемых изменений скорости подводного хода, поскольку в моем подчинении были команда рулевых и боцман. Боцман и управлял горизонтальными рулями при движении АПЛ в подводном положении. Подменяли его старшины из команды рулевых, подготовленные к управлению горизонтальными рулями. Однако необходимого опыта у них, безусловно, не было.

Мне же приходилось нести штурманскую вахту практически одному и отдыхать по два-три часа в сутки около автопрокладчика в штурманской рубке. На это время меня «подменял» старшина команды штурманских электриков.

На третий или четвертый день «автономки», когда мы маневрировали в полигоне севернее п-ова Рыбачий на скорости хода 12–14 уз, около 22 ч в Центральный пост (ЦП) взглянул командир капитан 2 ранга Н. Затеев.

Командир, открыв переборочную дверь и высунувшись в ЦП, громко приказал старпому: «Дать ход 22 узла!». Услышав такую команду (а я стоял в двери штурманской рубки), взял со стола автопрокладчика инструкцию и обратился к нему: «Товарищ командир, согласно инструкции, перед тем как дать такой ход, нужно «завалить» носовые рули». Тогда Затеев зашел в ЦП и спро-

сил меня «грозным» голосом: «А Вы кто такой?» Я доложил: «Врио командира БЧ-1 капитан-лейтенант Тарасюк», после чего мне было приказано заниматься своим делом. Ход был увеличен. Командир ушел во 2-й отсек.

Я зашел в рубку, присел в кресло у автопрокладчика. Позади меня стоял старшина электриков. Работал эхолот в режиме записи глубины на ленту самописца.

Через некоторое время после увеличения скорости хода произошло чрезвычайное происшествие, которое могло кончиться гибелью «К-19» – заклинило носовые рули на погружение. Лодка стала быстро приобретать дифферент на нос и проваливаться. Повидимому, мы шли на горизонте 80 м, а глубина моря была 280–290 м.

Старпом упал. Механик и еще кто-то стали крутить клапана системы воздуха высокого давления. Вентилятор свалился на голову штурманского электрика, когда лодка ударилась носом в грунт. Как выяснилось потом, лодку спасли «машинисты-турбинисты». На свой страх и риск, так как в этот момент команду телеграфом или по громкоговорящей связи подать было некому, они перекрыли пар на турбину переходного хода и дали пар на турбину заднего хода. Старпому удалось подняться и поставить ручки «телеграфа» (реверс) на «задний ход».

Погружение заняло 20–25 секунд, так как глубины под килем оставалось метров 200. Лодку спасли от катастрофы вовремя выполненный реверс и продувка цистерн воздухом высокого давления.

Однако своевременно остановить работу турбин на задний ход не удалось, и корма лодки с вращающимися винтами оказалась в воздухе. Корпус затрясло так, что стал подкрадываться страх, или (как бывшему «надводнику») чувство «некомфортности». Настоящее осознание опасности происшедшего произошло на берегу через несколько дней. А аварийное погружение и удар, очевидно, из-за шока воспринимались скорее как рабочий момент.

Тряска быстро закончилась. Лодка оказалась «на плаву» в надводном положении. Осмотрелись в отсеках, отдраили рубочный люк. Командование поднялось наверх. Я включил радиопеленгатор, чтобы определить место АПЛ.

Заканчивая определение координат ПЛ, я услышал доклад гидроакустика о том, что близко слышен шум подводной лодки. Раздалась команда: «Срочное погружение», так как на мостике увидели рубку всплывающей иностранной под-

лодки (возможно, во всяком случае так рассказывали потом на берегу, это была ракетная АПЛ США «Джордж Вашингтон»). После маневрирования в подводном положении нам удалось уклониться от встречи с ней.

Поступила команда на всплытие. Когда дали ход, стало ясно, что лаг не работает. По-видимому, из-за удара о грунт погнулась или забилась его трубка гидродинамического давления. Автопрокладчик пришлось выключить. Была дана команда идти в Мотовский залив, а затем в Западную Лицу в надводном положении.

Когда проходили о. Кувшин (он был справа на близком расстоянии), вышел из строя гирокомпас. Картушка покатила вправо, и рулевой, не понимая причины, стал переключать руль, чтобы удерживать заданный курс. Нос лодки покатила на остров. Времени на передачу команды практически не было.

Я сильно толкнул рулевого в бок или в спину, он, видимо, понял назначение этого толчка и стал отворачивать нос лодки от острова. После этого поступили необходимые команды. Гирокомпас выключили и перешли на управление АПЛ по магнитному компасу, навигационным створам и другим береговым ориентирам. Ошвартовались у причала в Западной Лице без особых происшествий. Начала работать комиссия. По требованию офицера я передал комиссии выписку из навигационного журнала, кальку маневрирования и отрезок ленты самописца эхолота с записью моментов аварийного погружения и всплытия.

Как видим, причиной аварийного происшествия с АПЛ «К-19» (удар о грунт Баренцева моря) был человеческий фактор, т.е. нарушение инструкции по управлению подлодкой командиром. На саму аварию, вероятно, повлияли также конструктивные несовершенства корпуса лодки, ее горизонтальных рулей, недостаток опыта «рулевого-горизонтальщика», который оказался заложником существенного увеличения скорости движения, и др.

Следствием аварии по линии БЧ-1 были выход из строя лага, автопрокладчика, затем гирокомпаса. Несомненно, что из-за удара о грунт и сильного давления на корпус АПЛ на большой глубине могли пострадать другие приборы и механизмы, в том числе и упоминаемая в «дневнике» командира «К-19» («Гудок», 1999, 23 января, с.5) «импульсная трубка первого контура», которая из-за аварии охлаждения реактора привела 4 июля 1961 г. к катастрофе.

Но этого я тогда не мог знать... ■

Преодоление торосистых гряд и создание в них прохода для транспортнх судов всегда считалось одной из задач, возлагаемых на ледоколы при проводке ими караванов в ледовых условиях. Тактические приемы форсирования ледоколами торосистых перемычек, полученные эмпирическим путем судоводителями [1, 2], получили теоретическое подтверждение в результатах научных исследований [3]. Основным режимом движения судна в торосистых льдах является работа набегамн. При работе в таком режиме ледокол разгоняется до максимально безопасной допустимой скорости и врзается в торосистое образование. Кинетическая энергия, запасенная ледоколом, а также тяга движительного комплекса тратятся на внедрение корпуса в торос. Когда запас кинетической энергии будет израсходован полностью, цикл движения повторяется: ледокол отходит по своему каналу назад, разгоняется и ударяет о торос. Число необходимых для создания проходов циклов существенным образом зависит от размеров торосистой преграды.

Движение ледокола набегамн достаточно эффективно при форсировании одиночных гряд торосов при плавании в открытом море. Однако такая тактика не может быть использована для проведения швартовочной операции ледокольного судна снабжения к ледостойкой платформе, около которой образовался торосистый барьер. Для осуществления таких швартовочных операций финскими специалистами была разработана специальная технология, которую можно использовать на ледокольных судах, оборудованных винто-рулевыми колонками типа «Азипод» [4]. Суть этой технологии заключается в том, что судно швартуется к платформе кормой, двигаясь при этом задним ходом. Винто-рулевые колонки используются для разрушения фрезерованием и отбрасывания льды, составляющего киль тороса. Ими все время совершают колебательные движения относительно оси поворота колонки. В освобожденное ото льда пространство перемещается корма судна. Таким способом судно, хотя и крайне медленно, может пройти к платформе.

# ФОРСИРОВАНИЕ ЛЕДОКОЛАМИ ТОРОСОВ ЗАДНИМ ХОДОМ

К.Е. Сазонов, канд. техн. наук, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова

Финские исследователи неоднократно проводили в ледовом опытовом бассейне испытания, которые подтверждают принципиальную возможность применения такой технологии для форсирования торосов. Также эта технология была проверена и в ходе проведения натурных экспериментов [4]. Тем не менее до настоящего времени отсутствуют какие-либо теоретические оценки ледовой ходкости судов, преодолевающих торос задним ходом. В то же время подобные оценки необходимы для выявления сильных и слабых сторон данной технологии и нахождения оптимальных условий для ее использования. Данная работа призвана в какой-то мере заполнить этот пробел, в ней предпринята попытка оценить некоторые показатели ледовой ходкости судна при использовании этой технологии.

Рассмотрим движение судна задним ходом через торосистые образования. Примем, что в плане парус и киль торосистой гряды представляют собой треугольник. Соотношения между основными параметрами тороса (см. рис.1,а) примем такими же, как в работе [5]:

$$\frac{h_k}{h_s} = 4.4; \quad \frac{L_r}{h_s} = 17.57,$$

где  $h_s$  и  $h_k$  – высота паруса тороса и глубина его киль соответственно;  $L_r$  – протяженность тороса в направлении движения судна.

Тогда функцию  $H(x)$ , характеризующую распространение льда по льдине тороса, в системе координат, связанной началом тороса, можно записать следующим образом:

$$H(x) = \begin{cases} 0.5x, & x \geq 7.23h_s; \\ 1.15x - 4.7h_s, & 7.23h_s < x \leq 8.79h_s; \\ 15.51h_s - 1.15x, & 8.79h_s < x \leq 10.34h_s; \\ 9.57h_s - 0.5x, & x > 10.34h_s. \end{cases} \quad (1)$$

Среднее распределение льда по длине тороса определяется как  $\bar{H} = 2h_s$ .

Если торосистое образование сформировалось у борта ледостойкого инженерного сооружения (рис.1,б), то соотношения между основными параметрами торосистого образования могут быть следующими:

$$h_s = 4.4h_w; \quad L'_r = 8.79h_s.$$

Здесь  $h_w$  – глубина моря в месте расположения стационарного инженерного сооружения;  $L'_r$  – длина не взаимодействующей с дном части торосистого образования.

Общая длина тороса определяется по формуле

$$L_r = L'_r + L''_r,$$

где  $L''_r$  – длина застамушенной части торосистого образования.

Для такого торосистого образования функция  $H(x)$  определяется первыми двумя выражениями формулы (1) при  $x \leq 8.79h_s$  и  $H(x) = 5.4h_s$  для  $x \in L''_r$ . Среднее распределение льда по длине торосистого образования определится как

$$\bar{H} = \frac{2h_s L'_r + 5.4h_s L''_r}{L_r}.$$

Уравнение движения ледокола задним ходом через торосистое образование может быть записано в виде

$$B\chi [H(x) - H^*] \frac{dx}{dt} = Q, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина ледокола;  $Q$  – секундный расход льда, проходящий через движители ледокола при фрезеровании ими льда;  $\chi \approx 0.75$  – коэффициент заполнения тороса льдом, равный отношению объема льда в торосе к объему тороса;  $H^*$  – толщина торосистого образования, в которой ледокол может двигаться непрерывным задним ходом, не прибегая

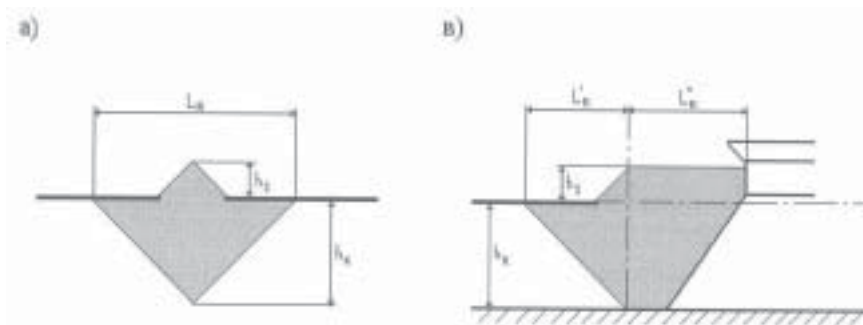


Рис. 1. Геометрические характеристики торосистого образования, сформировавшегося в открытом море (а) и у шельфового инженерного сооружения (б)

к технологии фрезерования льда винтами. Эта величина может быть определена по полуэмпирической формуле, полученной финскими специалистами [6] при подстановке в нее вместо величины ледового сопротивления тяги движительного комплекса ледокола на задний ход:

$$R_{IR} = C_1 T H_R \left( \frac{B}{2} + H_R \operatorname{tg} \psi \cos \alpha \right) \cdot (0.15 \cos \alpha + \sin \psi \sin \alpha) + C_2 T L_{PM} \left[ 0.27 H_R + \left( \frac{H_R}{T} - \frac{1}{2} \right) B \right], \quad (3)$$

где  $H_R$  – максимальная глубина торосистого образования;  $B, T, L_{PM}$  – ширина, осадка и длина цилиндрической вставки судна соответственно;  $\alpha$  – угол наклона ватерлинии к диаметральной плоскости на 0-м теоретическом шпангоуте;  $\psi$  – угол наклона форштевня;  $C_1 = 7,5 \text{ кН/м}^3$ ,  $C_2 = 172 \text{ Н/м}^3$ .

Первое слагаемое этой формулы описывает внедрение в торос носовой оконечности судна. Второе слагаемое учитывает силу трения, возникающую при прохождении сквозь торос цилиндрической вставки. Для расчета последовательных значений сопротивления по мере внедрения носовой оконечности ледокола в торос в формулу (3) вместо максимальной глубины тороса  $H_R$  необходимо подставить уравнение профиля тороса  $H=H(x)$ . Эта формула справедлива только для несмерзшегося тороса, так как она не учитывает наличие у него консолидированного слоя.

Уравнение (2) связывает скорость расчистки ото льда пространства для перемещения кормы вперед с объемом льда, который разрушается движителями при фрезеровании за одну секунду. Фактически ледокол сможет продвинуться вперед только после того, как толщина оставшегося в данном сечении тороса льда будет равна  $H^*$ . Уменьшение толщины льда происходит за счет постоянного подтока льда сверху и снизу в зону расположения гребных винтов. Торос может содержать консолидированный слой. Тогда величина  $H^*$  должна определяться с учетом толщины консолидированного слоя. В первом приближении можно считать, что сопротивление консолидированного слоя движению ледокола эквивалентно сопротивлению ровного льда той же толщины и может быть рассчитано по известным методикам. Добавочное сопротивление, вызванное наличием кия тороса, определяется по формуле (3). При учете наличия консолидированного слоя величина  $H^*$  может уменьшаться вплоть до нуля.

Для нахождения решения уравнения (2) необходимо определить величину  $Q$ , которая может быть получена на основе вычисления объема пространства, занимаемого гребным вин-

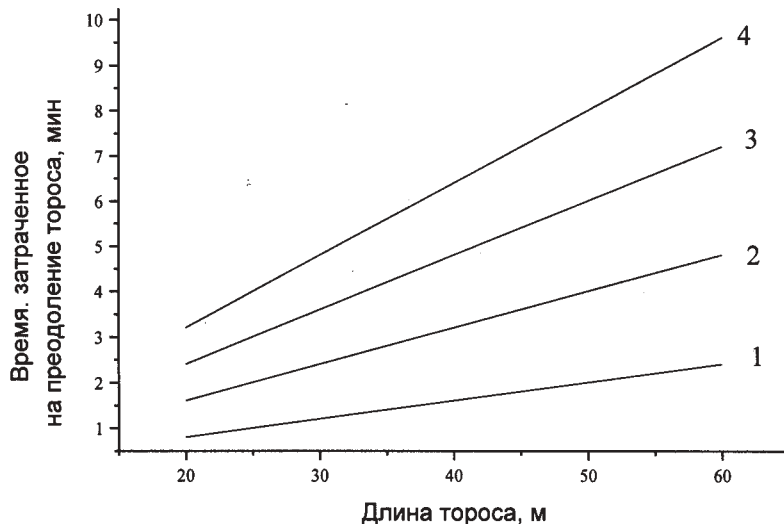


Рис. 2. Зависимость времени преодоления тороса ледоколом при движении кормы вперед от длины тороса и разности

1 –  $\bar{H} - H^* = 2 \text{ м}$ ; 2 –  $\bar{H} - H^* = 4 \text{ м}$ ; 3 –  $\bar{H} - H^* = 6 \text{ м}$ ; 4 –  $\bar{H} - H^* = 8 \text{ м}$

том при повороте колонки на  $180^\circ$ :

$$Q = n \frac{\pi D^3 \omega}{4}, \quad (4)$$

где  $n$  – число движителей;  $D$  – число лопастей гребного винта;  $\omega$  – угловая скорость поворота винто-рулевой колонки при фрезеровании льда.

Тогда решение уравнения (2) может быть записано как

$$t = \frac{4 \chi B}{n D^3 \omega} \int_0^{L_r} [H(x) - H^*] dx \quad (5)$$

или, переходя к средним значениям,

$$t = \frac{4 \chi B L_r (\bar{H} - H^*)}{n D^3 \omega}. \quad (6)$$

В этих выражениях величины, стоящие в квадратных и круглых скобках, могут принимать только положительные значения. Если указанные разности будут меньше нуля, то они должны быть приравнены нулю.

Соотношения (5) и (6) позволяют легко выявить основные факторы, влияющие на время прохождения ледоколом тороса при использовании новой технологии, основанной на фрезеровании льда гребными винтами. К факторам, увеличивающим временные затраты на прохождение тороса, относятся геометрические характеристики тороса и ширина ледокола. Ускоряют процесс прохождения тороса увеличение числа движителей, рост их диаметра, увеличение скорости перекадки колонок при движении в торосе. К снижению времени прохождения тороса приводит также увеличение мощности, подводимой к гребным винтам. При увеличении мощности возрастает тяга движительного комплекса, что приводит к увеличению величины  $H^*$ .

Рассматриваемые выражения позволяют наложить некоторые ограничения на использование рассматриваемой технологии. Очевидно, что если торос обладает развитым консолидированным слоем, толщина которого превышает предельную ледопроездимость ледокола на заднем ходу, то преодолеть торос с помощью предлагаемой технологии невозможно. Предельная ледопроездимость на заднем ходу большинства ледоколов лежит в пределах 0,7–20 м. В то же время, данные натурных наблюдений за торосами показывают, что толщина консолидированного слоя быстро возрастает при увеличении времени жизни тороса. В работе [7] приведены следующие данные о средней толщине консолидированного слоя тороса в зависимости от продолжительности его смерзания: через 0,5 месяца после образования торос имел толщину консолидированного слоя, равную 1,4 м; через 1 месяц – 2,9 м, а через 2 месяца – 4,1 м. Из этого следует, что технология, основанная на фрезеровании льда винтами может применяться только для форсирования свежих несмерзшихся торосов.

Оценим временные затраты на преодоление ледоколом торосистой гряды. Примем, что ширина ледокола равна 20 м, он оборудован двумя винто-рулевыми колонками, несущими винты диаметром 5 м. Скорость поворота колонки составляет  $0,2 \text{ } 1/\text{с}$ , расстояние гребного винта от оси поворота колонки 3 м. Толщина скола равна 0,1 м. Результаты расчетов по формуле (6) с приведенными выше данными представлены на рис. 2.

Как показывает рис. 2, результаты расчетов сопоставимы с натурными данными [8, 9]. Однако особо следует подчеркнуть, что в течение всего этого времени гребные винты ледокола постоянно фрезеруют лед, т.е. работают в крайне

тяжелых условиях. Относительное время взаимодействия винта со льдом равно 1, тогда как для кормовых винтов, эксплуатирующихся в средних и легких ледовых условиях, эта величина не превышает 0,1 и лишь в очень тяжелых условиях может достигать 0,3 [10]. Кроме этого, в отличие от кормовых винтов ледоколов, у которых со льдом обычно взаимодействует только одна лопасть, в рассматриваемом случае со льдом одновременно взаимодействует не менее двух лопастей. Все это приводит к существенному увеличению частоты и уровня ледовых нагрузок на элементы винто-рулевой колонки. Поэтому можно ожидать их более быстрый выход из строя по сравнению с обычным режимом эксплуатации.

Сделанные в статье выводы базируются на теоретических оценках, приведенных в данной работе. Несомненно, эти выводы нуждаются в экспериментальной проверке. Тем не менее уже на основании этих результатов можно констатировать, что предложенная финскими специалистами технология, по-видимому, не должна оставаться основным тактическим приемом форсирования торосистых образований. Ее необходимо использовать в экстренных случаях, когда применение традиционных технологий затруднено или невозможно. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арикайнен А.И., Чубаков К.Н. Азбука ледового плавания. – М.: Транспорт, 1987. – 224 с.
2. Безопасность плавания во льдах / А.П. Смирнов, Б.С. Майногашев, В.А. Голохвастов, Б.М. Соколов. – М.:

Транспорт, 1993. – 335 с.

3. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
4. Arpiainen M. at al. Development of the new icebreaker supply vessel for Northern Caspian Sea / Proc. The 15<sup>th</sup> Int. Conf. On Port and Ocean Eng. Under arctic Conditions, Helsinki, 1999. – Vol. 2. – P. 545-551.
5. Марченко А.В. Модели торошения морских льдов // Успехи механики. – 2002. – т. 1. – № 3. – С. 67-129.
6. Куликов Н.В., Сазонов К.Е. Буксировка судов во льдах. – СПб., 2003. – 158 с.
7. Алексеев Ю.Н. и др. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 360 с.
8. Wilkman G. at al. Full scale experience of double acting tankers (DAT) Mastera and Tempera / Proc. 17<sup>th</sup> Int. Symp. On Ice. St.-Petersburg, Russia. – 2004. – Vol. 1. – P. 488-497.
9. Nyman T. at al. The ice capability of the multipurpose icedreaker Botnica – Full scale results / Proc. The 15<sup>th</sup> Int. Conf. On Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC'99, Espoo, Finland, August 23-27, 1999. – Vol. 2. – P. 631-643.
10. Меркулов В.А., Яковлева М.В. Нагруженность валопроводов судов ледового плавания и рекомендации по их проектированию // Вопросы судостроения: Сер. Судовые энергетические установки. – 1980. – Вып. 19. – С. 82-98. ■

**В** связи с ростом интереса к освоению месторождений нефти и газа на шельфах Баренцева и Карского морей намечается увеличение судов активного ледового плавания. Так, для вывоза энергетического сырья требуются крупнотоннажные танкеры и газозовы, для обустройства месторождений – транспортные суда и специальные суда-снабженцы. Все они должны удовлетворять специфическим условиям судоходства в Арктике, которые предъявляют особые требования к прочности и долговечности элементов движительного комплекса.

Как известно, для ледоколов и судов активного ледового плавания определяющими при назначении прочных размеров деталей движительного комплекса являются ледовые нагрузки, обусловленные силовым взаимодействием лопастей гребного винта со льдом. Данное взаимодействие носит ярко выраженный ударный характер. Уникальные данные, полученные сотрудниками ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова [1] в результате натурного тензометрирования валов большого количества судов, позволяют следующим образом охарактеризовать ледовые нагрузки:

- они существенно превышают гидродинамические усилия, свойственные работе гребного винта в чистой воде: по крутящему моменту – в 6–10 раз, по изгибающему моменту – в 8–15 раз, по упору – в 1,5–2,5 раза;

- проявляются в виде случайных крутильных, осевых и изгибных колебаний валопровода движительного комплекса;

# РАСЧЕТ НАГРУЗОК ОТ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛОПАСТЕЙ ГРЕБНОГО ВИНТА СО ЛЬДОМ

**В.К. Румб**, канд. техн. наук, доцент,  
**Д.В. Андреев**, аспирант, СПбГМТУ

- величина ледовых нагрузок примерно пропорциональна толщине льда;

- действию ледовых нагрузок наиболее подвержены бортовые гребные винты, в меньшей степени – винты, расположенные в диаметральной плоскости.

Заслуживает внимания также работа [2], авторы которой подвергли статистической обработке экспериментальные тензограммы крутильных колебаний валопроводов. Записи тензограмм проводились во время эксплуатации судов в различных ледовых условиях. На основании их обработки установлено, что частота ударов о лед, интенсивность и длительность ледового кру-



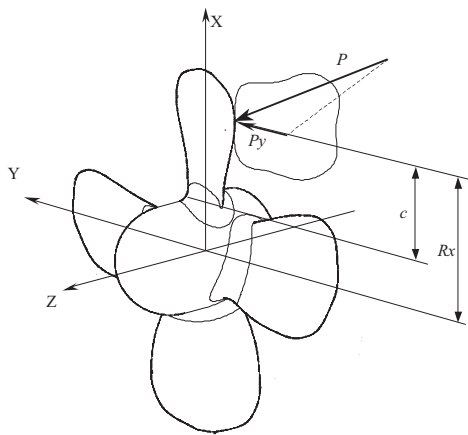


Рис.1. Схема приложения нагрузки на лопасть

тящего момента – случайные величины. Они подчиняются следующим законам распределения: время между ударами и длительность взаимодействия со льдом соответствуют экспоненциальному закону, а максимальная величина ледового момента отвечает закону Вейбулла. Параметры этих законов зависят от толщины льда и снежного покрова, скорости движения судна и частоты вращения гребного винта, его геометрии и ледовой обстановки.

Теоретические положения расчета ледовых нагрузок были сформулированы М.А. Игнатьевым еще в 60-е гг. прошлого столетия. В дальнейшем эти положения получили развитие в работах С.В. Яконовского, В.А. Ягодкина, Б.С. Юдовина. Во всех этих работах основополагающим допущением является гипотеза о статическом действии ледовых усилий. В действительности, и это очевидно, взаимодействие лопастей гребного винта со льдом носит динамический характер. Иначе говоря, удар лопасти о лед – это функции времени. Экспериментально установлено, что время взаимодействия с обломками льдин может превышать 1 с.

Для установления зависимости изменения ударной силы во времени предлагается рассматривать упругие деформации лопасти гребного винта совместно с движением льдины. При этом будем предполагать следующее:

- скорость судна за время удара лопасти о лед не меняется;
- между силой удара и деформацией лопасти существует линейная зависимость;
- изогнутая ось лопасти при ударе имеет такую же форму, как и при статическом изгибе.

Определить деформацию лопасти можно энергетическим методом. Его теоретические предпосылки основаны на законе сохранения энергии, т.е. равенстве потенциальной энергии упругой деформации работе внешних сил. В свою очередь, работа – это произведение силы на деформацию. В случае пространственной задачи формула для деформации содержит шесть членов, в полном соответствии с числом внутренних усилий. Эта формула имеет вид

$$f_0 = \sum \int_{l_i} \left( \frac{N_i}{EA_i} \times \frac{\partial N_i}{\partial P_0} + k_y \frac{Q_{yi}}{GA_i} \times \frac{\partial Q_{yi}}{\partial P_0} + k_z \frac{Q_{zi}}{GA_i} \times \frac{\partial Q_{zi}}{\partial P_0} + \frac{M_{xi}}{GJ_{pi}} \times \frac{\partial M_{xi}}{\partial P_0} + \frac{M_{yi}}{EJ_{yi}} \times \frac{\partial M_{yi}}{\partial P_0} + \frac{M_{zi}}{EJ_{zi}} \times \frac{\partial M_{zi}}{\partial P_0} \right) dl_i, \quad (1)$$

где  $f_0$  – деформация в месте приложения обобщенной силы  $P$ ;  $A_i$  – площадь  $i$ -го сечения;  $E$  – модуль упругости;  $G$  – модуль сдвига;  $J_{yi}, J_{zi}$  – моменты инерции  $i$ -х сечений относительно соответствующих осей;  $N_i, Q_{yi}, Q_{zi}, M_{xi}, M_{yi}, M_{zi}$  – силы и моменты, действующие вдоль соответствующих осей;  $k_{y,z}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность касательных напряжений в сечениях.

Если лопасть гребного винта идеализировать консольной балкой, жестко заземленной в корневом сечении, и учесть, что для развития крутильных колебаний системы гребной винт–валопровод–двигатель нас интересует сила  $P_y(t)$  (рис. 1), то уравнение (1) в проекции на ось  $Y$ :

$$f_y = \int_0^c \left( k_y \frac{P_y(t)}{GA(x)} + \frac{P_y(t)}{EJ_z(x)} (c-x)^2 \right) dx, \quad (2)$$

где  $c$  – координата приложения ударной силы, отсчитываемая от заделки до точки приложения ударной силы.

Для рассмотрения движения льдины воспользуемся теоремой об изменении количества движения в проекции на ось  $Y$ :

$$V_{ty} - V_{0y} = -\frac{1}{M} \int_0^t P_y(t) dt, \quad (3)$$

где  $V_t$  – скорость в момент времени  $t$ ;  $V_0$  – скорость в начальный момент времени;  $M$  – масса льдины; минус учитывает уменьшение начальной скорости льдины, за счет противодействия силы упругости лопасти.

Проинтегрируем уравнение (3) по времени:

$$f_y = V_{0y} t - \frac{1}{M} \int_0^t \left( \int_0^t P_y(t) dt \right) dt. \quad (4)$$

Движение взаимодействующих тел в начале удара следует рассматривать как сложное, состоящее из относительного (скорости судна  $V_c$ ) и переносного (вращения гребного винта  $\omega R_0$ ) при допущении, что скорость дрейфа льдины равна нулю. Таким образом,

$$V_0 = V_c + \omega R_0$$

где  $\omega$  – вектор угловой скорости гребного винта;  $R_0$  – радиус точки приложения импульса силы.

Отметим, что  $V_c$  совпадает с осью  $Z$ , поэтому проекция скорости в начале удара на ось  $Y$

$$V_{0y} = \omega R_0.$$

Таким образом, условие совместности деформации лопасти (2) и перемещения льдины (4) позволяет составить уравнение, в котором неизвестной величиной будет сила удара:

$$\omega R_{0x} t - \frac{1}{M} \int_0^t \left( \int_0^t P_y(t) dt \right) dt = \int_0^c \left( k_y \frac{P_y(t)}{GA(x)} + \frac{P_y(t)}{EJ_z(x)} (c-x)^2 \right) dx$$

или

$$P_y(t) = \frac{\omega R_{0x} t - \frac{1}{M} \int_0^t \left( \int_0^t P_y(t) dt \right) dt}{\int_0^c k_y \frac{dx}{GA(x)} + \int_0^c \frac{(c-x)^2}{EJ_z(x)} dx} \quad (5)$$

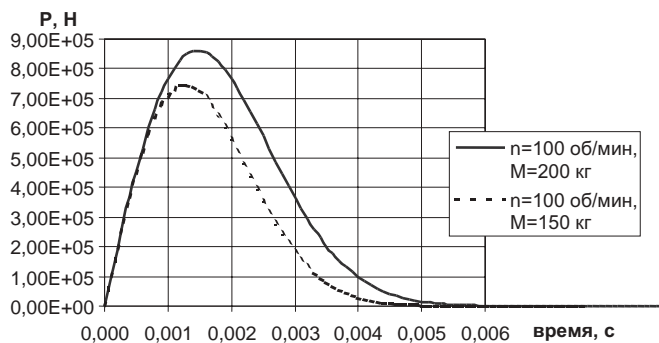


Рис.2. Формы импульса ударной силы

Решение уравнения (5) осуществляется методом последовательных приближений, при известных координатах соударения и массы льдины. В первом приближении можно считать  $\omega = \text{const}$ , так как время удара мало; для поперечных сечений лопасти, идеализированных эллиптической формой, коэффициент  $k_y = 1,18$  [2]. Следовательно, алгоритм реализации (5) предусматривает следующее. Определяются геометрические характеристики нескольких сечений лопасти, устанавливаются функциональные зависимости для  $A(x)$  и  $J_z(y)$  и вычисляется знаменатель (5). Далее в заданный дискретный момент времени  $t$  осуществляется итерационный процесс, цель которого сделать (5) тождеством. Для этого в правую часть уравнения (5) подставляем пробное значение силы

$P_y^I$ , получаем новое значение силы. Сравниваем два значения

$P_y^I$  и  $P_y^{II}$ , если расхождение превосходит заданную точность расчета, то подставляем в (5)  $P_y^{II}$  и полу-

чаем  $P_y^{III}$  и т.д. Число таких итераций обычно составляет 12–15. Аналогично вычисляются силы и в другие дискретные моменты времени. Вычислительный процесс продолжается до тех пор, пока значение силы остается больше нуля.

После итерационного решения уравнения (5) получаем график, представленный на рис.2.

Строго говоря, предлагаемая процедура позволяет моделировать единичный удар. Как свидетельствуют наблюдения, такое взаимодействие винта сопровождается отбрасыванием льдины или ее разламыванием. Существует и другой вид взаимодействия гребного винта со льдом – фрезерование крупных льдин в течение 5–7 оборотов винта. Физически явление фрезерования можно рассматривать как серию последовательных ударов лопастей о льдину. В данном случае промежуток времени между отдельными ударами должен удовлетворять неравенству

$$t \leq \frac{60}{n \cdot z},$$

где  $n$  – частота вращения гребного винта,  $z$  – число лопастей винта.

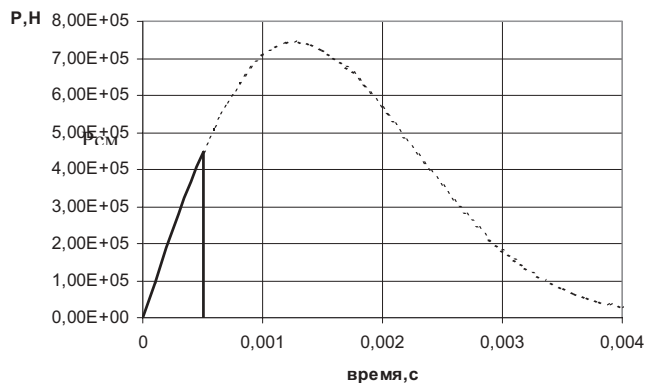


Рис.3. Зависимость силы, действующей на гребной винт в результате удара его лопасти о льдину, от времени

Следует отметить, что изложенный выше подход справедлив, когда лопасть и льдина взаимодействуют друг с другом как два абсолютно твердых тела. Однако льдина, так же как и лопасть, имеют конечный предел прочности, свидетельствующий о разрушении одного из тел. Логично предположить, что разрушаться будет льдина. Тогда силу, необходимую для достижения необратимых деформаций льдины, можно определить из зависимости

$$P_{cl} = \sigma_{cl} S_{cm}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{cl}$  – прочность льда на смятие. По данным [3]  $\sigma_{cl} = 1,8 - 2,5$  МПа;  $S_{cm}$  – площадь смятия;  $S_{cm} = l_{cm} \times h_{cm}$ ;  $h_{cm}$  – ширина смятия,  $l_{cm}$  – длина смятия, являющиеся случайными величинами.

При известных значениях  $\sigma_{cl}$  и  $S_{cm}$  определяем по формуле (6) силу, при которой лед раскалывается и ударного воздействия нет (вертикальный участок на графике).

Таким образом, получаем временную зависимость для силы, действующую на гребной винт в результате удара лопасти о льдину (рис.3).

Изложенное выше позволяет моделировать силовое взаимодействие лопастей гребного винта со льдом и может использоваться при расчетах элементов движительного комплекса на ледовую прочность. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Меркулов В.А., Тимофеев В.Н., Яковлева М.В. Исследование нагрузок на валопроводах ледоколов и транспортных судов ледового плавания // Судостроение. – 1981. – №3. – С. 22-25.
2. Румб В.К., Кондратьев И.А. Применение метода статистического моделирования для расчета судовых валопроводов на ледовую прочность. / Сб. науч. тр. «Проблемы повышения эффективности СЭУ». – Л.: Изд. ЛКИ, 1985, с. 63-70.
3. Игнатев М.А. Гребные винты судов ледового плавания. – Л.: Судостроение, 1966. – 114 с.
4. Юдовин Б.С. Энергетические установки ледоколов. – Л.: Судостроение, 1967. – 238 с.
5. Ягодкин В.Я. Аналитическое определение момента сопротивления вращению гребного винта при его взаимодействии со льдом. – Сб. науч. тр. «Проблемы Арктики и Антарктиды». – 1963. – №13. – С.23-26 ■

**Б**езопасность эксплуатации морских судов и плавучих технических средств в условиях обледенения – крупная научно-техническая проблема. Ее актуальность растет в связи с освоением континентального шельфа в северных и восточных морях. Анализ аварий судов при обледенении показывает, что действующие нормативы нагрузки льда в условиях интенсивного обледенения достигаются практически за 1,5–2,0 ч. При интенсивном обледенении резкое уменьшение остойчивости может привести к опрокидыванию и гибели судна и экипажа. Обледенение судов считается опасным при скорости нарастания льда от 1 до 2 см/ч и особо опасным – при более 2 см/ч [11].

Обледенение особенно опасно для малотоннажных промысловых судов, имеющих обычно небольшой надводный борт. При этом увеличивается масса судна, снижается высота надводного борта, вследствие чего центр тяжести перемещается вверх, что ухудшает остойчивость и маневренность судна.

Остойчивость судна определяется следующими параметрами:

- положением центра тяжести от основной линии;
- высотой надводного борта;
- площадью парусности судна;
- запасом плавучести;
- наличием в цистернах свободной поверхности жидкости.

Чем выше центр тяжести, меньше величина надводного борта и запас плавучести, чем больше площадь парусности и свободной поверхности жидких грузов, тем хуже остойчивость судна.

Обледенение вызывает ухудшение всех указанных параметров, характеризующих остойчивость. Масса льда снижает запас плавучести и уменьшает надводный борт судна. Высокое расположение льда вызывает повышение центра тяжести. Эти факторы вызывают уменьшение восстанавливающего момента, характеризующего остойчивость судна. В то же время кренящий момент от ветра, действующего на судно, возрастает, так как при обледенении увеличивается площадь парусности надводной части судна. Когда величина кренящего момента от ветровой нагрузки становится больше восстанавливающего момента, возникает угроза опрокидывания судна.

Наличие свободной поверхности жидких грузов уменьшает остойчивость. Если в трюмах и на палубах появляется вода, то даже небольшое ее количество создает значительную свободную поверхность, вызывающую резкое ухудшение и без того пониженной при обледенении остойчивости судна.

Особую опасность представляет постоянный крен, который появляется от неравномерного распределения льда.

# ОБЛЕДЕНЕНИЕ МОРСКИХ СУДОВ КАК ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

**В.А. Бондарев**, канд. техн. наук, доцент,  
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота,  
Калининград

Один из наиболее характерных признаков ухудшения остойчивости – увеличение периода качки. Если замеренный период качки на 15–20% превышает обычный для данного судна, то следует принимать меры для улучшения остойчивости. Обледенение, неравномерное по длине судна, часто преобладает в носовой части, увеличивает осадку носом. При этом ухудшается управляемость, снижается скорость, судно начинает зарываться носом, что еще больше увеличивает обледенение носовой части из-за забрызгивания и заливаемости. При обледенении судна следует избегать резких поворотов, так как это может вызвать критический крен и создать угрозу опрокидывания. Уменьшение запаса плавучести судна отрицательно сказывается на его непотопляемости. Интенсивность обледенения зависит от крутизны и высоты волны, силы и курсового угла ветра, от скорости и обводов судна [7,13,14].

Географию районов обледенения можно кратко и схематизировано описать по срокам начала и окончания опасности.

Обледенение промысловых судов в северной части Берингова моря начинается со второй половины ноября. В декабре–феврале очень быстрое обледенение наблюдается к северу от 55 с. ш. в восточной и центральной частях Берингова моря, включая районы Командорских островов, и у восточного побережья Камчатки.

Угроза опасного обледенения промысловых судов типов СРТМ-К, РС и судов, близким им по размерам, в Охотском море возникает во второй половине ноября и сохраняется до апреля следующего года.

В восточной части Баренцева моря и у Шпицбергена угроза обледенения рыболовных судов появляется со второй половины ноября и продолжается до марта. В районах Северо-Западной

Атлантики наиболее часто и интенсивно обледенение промысловых судов происходит в проливах Датском и Дейвиса, у полуострова Лабрадор и севернее Исландии. В отдельные годы интенсивное обледенение судов наблюдалось в районе Большой Ньюфаундлендской банки, Северном и Балтийском морях.

Исследованию процессов, определяющих обледенение, уделяется большое внимание [1, 2, 6, 12]. Судоводитель всегда может получить достаточно полную информацию об этом явлении в «Атласах опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений» для северных и южных частей Мирового океана, а также в логиях и руководствах для мореплавания [3–5]. Целесообразно дать краткий анализ материалов, дополняющих имеющиеся [39, 78], с точки зрения судоводителя, а также привести конкретные решения для обеспечения безопасности мореплавания в условиях обледенения, как особо опасного гидрометеорологического явления.

Обледенение судна происходит при отрицательной температуре воздуха в результате замерзания воды, попавшей из гидросферы или (и) атмосферы на поверхность судна. В соответствии с этим выделяются три типа обледенения судна:

- морское брызговое обледенение – образование льда из-за забрызгивания и заливания наружной надводной поверхности судна морской водой;
- атмосферное обледенение – образование льда, обусловленное сублимацией пара и замерзанием капель дождя, мокрого снега, мороси, тумана;
- смешанное обледенение – примерзание снега, пропитанного забортной водой, а также сочетание обледенений первых двух типов.

В Мировом океане чаще всего отмечается морское брызговое обледенение.

Размеры рыбопромысловых судов и массы льда, образующегося за 1 ч при обледенении [по 10]

Судно	Высота надводного борта, м	Ширина, м	Длина, м	Водоизмещение, т	Масса льда (т/ч) при обледенении		
					медленном	быстром	очень быстро
СРТМ					0-2,0	>2,0-6,0	>6,0
БМРТ "Пушкин"; РТМ "Атлантик"; РТМ "Тропик"	3,0-3,9	13,5	80-85	3300	0-1,5	>1,5-3,0	>3
БМРТ "Лесков"; БМРТ "Пионер Латвии"	2,5	144,0	84	3700	0-1,5	>1,5-3,0	>3,0
ПР "Скрыплев"; ПР "Таврия"	3,0	15,0	100	5500	0-1,5	>1,5-3,0	>3,0
БМРТ "Грумант"; БМРТ "Рембрандт"	3,4-3,9	16,0- 16,6	103,5	5600	0-1,5	>1,5-3,0	>3,0
ПР "Севастополь"	2,8	16,8	131	8970	0-1,8	>1,8-3,2	>3,2
ТР "Русский Остров"	4,9	20,5	150	16000	0-0,8	>0,8-2,4	>2,4
ТР "Охотское море"	6,8	25,0	186	22100	0-0,1	>0,1-1,0	>1,0

Примечание: БМРТ – большой морозильный траулер, РТМ – рыболовный морозильный траулер; ПР – приемный рефрижератор, ТР – транспортный рефрижератор.

Таблица 2

Расчетные значения удельного потока массы воды при скорости судна 10 – 12 уз и курсовом угле волны 0 – 30 ° [по 10]

Судно	Удельный поток массы воды, кг/(м <sup>2</sup> ч)	Скорость ветра U, м/с	Высота борта, h, м
Атомоход "Ленин"	10	10	8
	69	15	8
	783	25	8
Ледокол "Ермак"	27	10	6
	188	15	6
	2127	25	6

Таблица 3

Расчетные значения средней скорости нарастания толщины льда при скорости судна 10 – 12 уз и курсовом угле волны 0 – 30 °, по [10]

Судно	Линейная скорость нарастания льда, см/ч	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Часть судна
Атомоход "Ленин"	1,0-0,2	-12, -16	11-14	палуба
	4,4-1,2	-15	25	"
Ледокол "Ермак"	3,0-1,8	-10	12-18	"
	3,0-1,5	-10	25	"
	2,2-2,0	-5	20	"
	1,3-0,5	-10	15	борт
	2,0-1,5	-5	19	шлюпки палуба
Судно типа Река-море "Балтийский"	2,8-3,0	-10	15	"

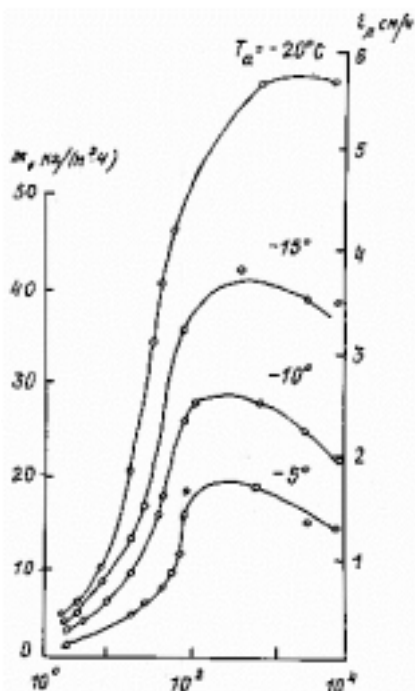


Рис.1. Средние скорости нарастания льда по толщине  $i_n$  и массе  $m_n$  при морском брызговом обледенении вертикальной плоской поверхности в зависимости от удельного потока массы воды  $W$  при температуре  $-1,9-0,0^\circ\text{C}$ , солёности  $33-35\text{‰}$  и скорости ветра  $5-27\text{ м/с}$  (число случаев – не менее  $n$ , плотность льда –  $900\text{ кг/м}^3$ ); по [10]

Масса льда, образующегося на судне, зависит от температуры воздуха и массы воды, попавшей на него. Атмосферное обледенение происходит, как правило, при температуре воздуха ниже  $0^\circ\text{C}$ . В результате атмосферного обледенения пресноводным льдом покрываются все надводные поверхности высоко расположенных конструкций судна (мачты, антенны, такелаж, надстройка и т.д.). Толщина льда при этом типе обледенения, как правило, не превышает 5 см.

Морское и смешанное обледенения происходят при температуре воздуха  $-1,8^\circ\text{C}$  (температура замерзания морской воды) и ниже. Масса воды, попадающей на судно, зависит от частоты встречи судна с волной, высоты борта судна, его площади, курса судна по отношению к фронту распространения волн. Крупнотоннажные (водоизмещением более 1000 т) рыболовные суда забрызгиваются и обливаются морской водой при скорости ветра  $10\text{ м/с}$  и более. В результате морского и смешанного обледенения солёноводный лёд нарастает на главной палубе, палубных механизмах, рангоуте, стенках рубки, надстройке и других конструкциях судна. Толщина наростшего льда составляет  $20-30\text{ см}$ , а в некоторых случаях может достичь  $1\text{ м}$  (на палубе). Морской и смешанный типы обледенения могут привести к нарушению устойчиво-

сти судна, его опрокидыванию и гибели.

Исходя из скоростей нарастания льда по толщине и весу (массе), установлены [3, 11] следующие градации обледенения судна и соответствующие им комплексы элементов гидрометеорологических условий.

**Медленное обледенение:** средняя скорость нарастания толщины льда  $m_n \leq 1\text{ см/ч}$ , а массы  $M_n \leq 2\text{ т/ч}$ . Происходит при  $0 > T_a \geq -3^\circ\text{C}$ ,  $V_a > 0\text{ м/с}$  и при  $T_a < -3^\circ\text{C}$ ,  $V_a \leq 10\text{ м/с}$ .

**Быстрое обледенение:** средняя скорость нарастания толщины льда  $1 < m_n \leq 3\text{ см/ч}$ , массы  $2 < M_n \leq 6\text{ т/ч}$ . Происходит при  $T_a < -3^\circ\text{C}$ ,  $10 < V_a \leq 15\text{ м/с}$  и при  $-3 > T_a \geq -8^\circ\text{C}$ ,  $V_a > 15\text{ м/с}$ .

**Очень быстрое обледенение:** средняя скорость нарастания толщины льда  $m_n > 3\text{ см/ч}$ , а массы  $M_n > 6\text{ т/ч}$ . Происходит при  $T_a < -8^\circ\text{C}$  и  $V_a > 15\text{ м/с}$ .

Пределную ледовую нагрузку  $65\text{ т}$  судно типа СРТМ при медленном обледенении получит через 32 ч, при быстром – через 11 ч и при очень быстром – менее чем за 10 ч.

Приведенные градации обледенения относятся к крупнотоннажным судам, однако приращения массы льда за единицу времени и время достижения ими критической ледовой нагрузки для них другие, чем приведенные для СРТМ: они пропорциональны суммарной площади поверхности надводной части этих судов и уменьшаются с ростом высоты надводного борта (табл. 1.).

Сезонный ход распределения повторяемости градаций обледенения судна имеет следующие особенности: в теплую часть года преобладает медленное и быстрое обледенение (в высоких широтах), в холодную – градации обледенения усиливаются до очень быстрого. Интенсивность обледенения судна очень тесно связана с повторяемостью штормовых ветров (скорость ветра  $\geq 15\text{ м/с}$ ) и волнением.

Качественно брызговое обледенение судна можно представить следующим образом. При скорости ветра, превышающей критическую  $V_c \gg 5\text{ м/с}$  для судов типа РС, СРТ, СРТМ и РТ;  $10\text{ м/с}$  – для судов типов НИС, БМРТ, ледокол и др., ветровые волны, взаимодействуя с судном, разбиваются на брызги, которые заносятся ветром на судно (процесс забрызгивания от взаимодействия). При скорости ветра более  $8,5\text{ м/с}$  брызги попадают на поверхность любого судна в результате срыва капель с вершин волн (волноветровое забрызгивание). При скорости ветра, превышающей критическую  $V_2$  ( $9\text{ м/с}$  для судов типа РС, СРТ, СРТМ и РТ;  $13\text{ м/с}$  для судов типа НИС, БМРТ, ледокол и др.), судно заливается волной (заливание судна).

Средний удельный поток массы воды  $W$  [9], приходящей на вертикальную или горизонтальную поверхность, установленные на расстоянии  $1\text{ м}$  от

борта и  $3\text{ м}$  от форштевня судна, определяется на основании обработки эмпирических данных [2] средней скоростью курсового ветра  $U$ :

$$W_1^{a+c} = 1.7 \cdot 10^{-3} U_{a+c}^{4.75}. \quad (1)$$

Масса воды в брызговом облаке с высотой уменьшается, а поэтому средний удельный поток массы воды на уровне  $h_1$  над поверхностью воды

$$W_z = W_{1e}^{-0.55(h_1+h_2-1)}, \quad (2)$$

где  $W$  – удельный поток массы воды, приходящий на вертикальную поверхность на высоте  $h_1$  над уровнем моря;  $h_2$  – высота надводного борта, м. Удельный поток массы воды, которая будет поступать на судно с определенной высотой надводного борта, определен (табл.2), если известны  $U$  и  $h$ .

По среднему удельному потоку массы воды (рис.1) определяется средняя скорость нарастания массы льда для определенных значений температуры воздуха и скорости ветра (табл. 3) для разных судов.

Из сравнения значений (см. табл. 3) расчетных скоростей нарастания толщины льда на поверхности судна следует, что они отличаются от наблюдаемых не более, чем на 20%. Это свидетельствует о том, что закономерности брызгового обледенения судов типа СРТ и СРТМ можно распространить и на крупнотоннажные суда.

Скорости нарастания массы льда на судах различного типа и назначения рассчитывались как сумма масс льда, нарастающего на горизонтальной и вертикальной поверхностях (табл.4). При этом площадь горизонтальной поверхности судна определялась по длине полета брызг и ширине судна.

Из опыта мореплавания в высоких широтах известны меры борьбы с брызговым обледенением. К сожалению, в большинстве своем эти меры до настоящего времени пассивны (выход из зоны обледенения, изменение скорости и курса и т.п.). Существующие активные меры предотвращения и борьбы (нанесение специальных паст, лаков, гидрофобных покрытий и т.п.) пока дают удовлетворительные результаты лишь при слабом обледенении.

При интенсивном обледенении наиболее важным считается своевременный выход из зоны обледенения. Для этого нужно располагать всеми видами оперативной прогностической информации, включая штормовые предупреждения и оповещения, а также сведениями о текущей погоде.

Для безопасности мореплавания важно также знать, в какой зоне по климатическим данным находится судно (медленное обледенение и т.п.).

Средняя скорость нарастания толщины льда на некоторых частях судна при морском брызговом обледенении, по [10]

Тип судна	Высота надводного борта,	Температура, °С		Скорость		Курсовой угол волн, град.	Скорость нарастания льда, см/ч	Конструкция
		воздуха	воды	ветра, м/с	судна, уз			
Атомоход «Ленин»	8,0	-12,0...-16,0	1,0...-1,8	11,0-14,0	18,0	0-30	0,4	палуба
СРТ	3,5	-12,0...-16,0	1,0...-1,8	11,0-14,0	9,0	0-30	2,7	“
СРТМ	5,0	-12,0...-16,0	1,0...-1,8	11,0-14,0	10,0	0-30	1,7	“
СРТ	3,5	-5,0	1,0...-1,8	21,0-22,0	9,0	0-30	0,9	“
СРТМ	5,0	-5,0	1,0...-1,8	21,0	10,0	0-30	0,6	“
Ледокол «Ермак»	6,0 9,0* 6,0	-10 -10 -5	0 0 0	12-18 12-18 19	15 15 19	40-80 40-80 90	2,0 0,3 3,0	“ борт шлюпки
Судно типа река-море «Балтийский»	2,2	-10	0	15	10	0-30	3,2	палуба “

\* Высота, на которой располагается шлюпка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аксютин Л.Р. Обледенение судов. – Л.: Судостроение, 1979, 232 с.
2. Арикайнен А.И., Чубаков К.Н. Азбука ледового плавания. – М.: Транспорт, 1987, 224 с.
3. Атлас опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений. ГУНиО. – 1980. – С.1-78.
4. Атлас ледовых образований. /Изд. ААНИИ. – 1990. – С.1-67.
5. Атлас Арктики. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды // Тр. ААНИИ. Главное управление геодезии и картографии при СМСССР. – М.: 1985, 204 с.
6. Брызгин Н.Н., Деметьев А.А. Опасные метеорологические явления в Российской Арктике. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1996, 127 с.
7. Буянов Н.Ф. Плавание судов в тяжелых условиях. Владивосток: Боевая вахта. – 1968. – 93 с.
8. Визе В.Ю. Климат морей Советской Арктики. – Л-М.: Изд. Главсевморпути, 1940, 124 с.
9. Измайлов В.В. Трансформация и перенос нефтезагрязнения в системе океан-лед-атмосфера. Работа на соискание ученой степени доктора географических наук. Санкт-Петербургский университет, 1996, 224 с.
10. Латухов С.В. Экологическая безопасность морских операций в Западном регионе Российской Арктики. – СПб.: МАНЭБ, 1998, 150 с.
11. Опасные метеорологические явления в Российской Арктике / Под ред. Н.Н. Брызгина. – Л.: Гидрометеоиздат, 1996, 156 с.
12. Панов В.В. Обледенение морских судов // Тр. ААНИИ. – 1978. – Т. 274. – С.86-90.
13. Шарапов В.И. Охрана труда рыбаков океанического лова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984, 144 с.
14. Шарапов В.И. Об интенсивности обледенения малых судов // Сб. Теоретические и экспериментальные условия обледенения судов. – Л.: Судостроение, 1971, с. 95-97. ■

Рецензенты:

И.А. Рябишин, д-р техн. наук, проф.,  
А.Н. Павлов, д-р геол.-минер. наук, проф.

**В** Советском Союзе работы по ограничению шума, создаваемого судами внутреннего плавания в прибрежной жилой и курортной зонах, были начаты в 1975 г. В 1982 г. был введен ГОСТ 17.2.4.04–82 «Охрана природы. Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания».

С изменением экономических отношений и функций Министерства транспорта надзор за влиянием судов на экологическую обстановку поручен Речному Регистру РФ. После принятия закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» повысились требования к выполнению экологических нормативов, в том числе и со стороны судов внутреннего и прибрежного плавания.

В связи с этим публикуем статью, посвященную влиянию шума судов на экологическую обстановку в прибрежной зоне.

## 1. НОРМИРОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ШУМА СУДОВ

**Историческая справка.** Необходимость нормирования внешнего шума судов возникла прежде всего в странах, где реки с интенсивным судоходством проходят через густонаселенные районы. Первой страной, которая ввела ограничения по внешнему шуму, является Германия (1957 г.). Нормы распространяются на суда, работающие на Рейне и Баварских озерах, и определяют допустимые уровни звука на расстоянии 25 м от борта судна. Для судов водоизмещением свыше 15 т нормы допускают 75 дБ·А; для Баденского озера (курортная зона) та же характеристика равна 72 дБ·А [1,2].

Затем предельно допустимые уровни внешнего шума судов были установлены в бассейнах Дуная и Рейна в Чехии [3], Венгрии [4], Австрии, Нидерландах, Швейцарии и других европейских странах. Нормы периодически уточняются, например, в Германии в 1982 г. они составляли 72 дБ·А, а с 1984 г. – 70 дБ·А [5].

В нашей стране работы по ограничению шума, создаваемого судами внутреннего плавания в прибрежной жилой и курортной зонах, были начаты в 1975 г. по рекомендациям ЕЭС ООН в связи со строительством канала Майн–Рейн–Дунай.

Для определения влияния шума судов на зону прибрежной застройки специалистами ЦНИИМФ и ЛИВТ с 1975 по 1985 г. были проведены экспериментальные и теоретические исследования зависимости внешних шумовых характеристик

# ВЛИЯНИЕ СУДОВ НА ШУМ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Г.Д. Изак, д-р техн. наук

судов от условий их эксплуатации и скорости движения.

Исследования внешнего шума судов велись на основании международного стандарта ИСО 2922–75, который рекомендует в качестве основной внешней шумовой характеристики принимать уровень звука в дБ·А, измеренный на расстоянии 25 м от плоскости борта при движении судна на номинальной скорости по прямому участку.

**Принцип нормирования внешней шумовой характеристики судна.** На территории Российской Федерации допустимые уровни звукового давления, эквивалентные и максимальные уровни звука для районов жилой застройки установлены Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [6] и Строительными нормами и правилами СНиП 23-03–2003 [14]. Нормативная внешняя шумовая характеристика судна должна быть установлена таким образом, чтобы гарантировать выполнение требований норм в прибрежной жилой зоне (табл. 1).

Шум, создаваемый судами, зависит от расстояния от судового хода до зоны прибрежной жилой застройки, интенсивности судоходства и скорости движения судов.

**Удаленность судового хода от жилой зоны.** Анализ лодийных описаний основных судоходных рек России позволяет оценить минимальные расстояния от основного судового хода до зоны жилой застройки и ее протяженность для населенных пунктов, расположенных вблизи судового хода.

Минимальное расстояние от судового хода до жилой застройки составляет 50 м (г. Повенец). Длина этого участка не превышает 200 м. В табл. 2 представлены сводные данные о протяженности жилой застройки, расположенной вблизи судового хода, для Единой глубоководной системы.

**Интенсивность судоходства.** Она особенно высока в районе крупных городов и меняется в широких пределах в зависимости от периода навигации, времени суток и дней недели. В табл. 3 приведены значения интенсивности [9, 10] судоходства в

1975–1980 гг. в пределах городов, расположенных на берегах рек.

**Влияние шума судов на зону прибрежной жилой застройки.** Суда создают в прибрежной зоне непостоянный шум: он возрастает при приближении судна, а затем снижается при удалении. Нормируемым параметром непостоянного шума является эквивалентный (по энергии) уровень звука.

Рассмотрим распространение шума от судна, начиная от расстояния 25 м от борта и далее, без учета атмосферных условий. Считаем, что распространение шума происходит по сферическому закону. Тогда уровень звука на расстоянии  $R$  от борта судна

$$L = L_{25} - 20 \lg R/R_{25}, \quad (1)$$

где  $L_{25}$  – внешняя шумовая характеристика судна, т.е. уровень звука на расстоянии  $R_{25} = 25$  м от борта судна.

Время воздействия шума принято равным времени, в течение которого в контрольной точке прибрежной жилой зоны наблюдается превышение над санитарными нормами без учета поправки на длительность воздействия.

Расстояние от точки, начиная с которой судно будет превышать нормы, получим из условия, что в момент нахождения судна на расстоянии  $R$  шум, создаваемый им в контрольной точке (рис.1), равен санитарной норме

$$L_n = L_{25} - 10 \lg R^2 + 10 \lg R_{25}^2. \quad (2)$$

Тогда  $10 \lg R^2 = L_{25} - L_n + 10 \lg R_{25}^2$ ;

$$R^2 = 10^{0.1(L_{25} - L_n)} \cdot R_{25}^2.$$

Длина участка, при движении по которому шум от судна будет превышать норму, составит

$$l = 2\sqrt{R^2 - r^2},$$

где  $r$  – расстояние от судового хода до контрольной точки, м.

## Допустимые уровни шума на территории жилой застройки, дБ·А

Наименование	СН 2.2.4/2.1.8.562-96		СНиП 23-03-2003	
	Эквивалентные уровни звука	Максимальные уровни звука	Эквивалентные уровни звука	Максимальные уровни звука
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев:				
день	45	60	50	65
ночь	35	50	40	55
Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха, домам-интернатам для престарелых и инвалидов:				
день	-	-	55	70
ночь	-	-	45	60
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек:				
день	55	70	-	-
ночь	45	60	-	-
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям поликлиник, школ и других учебных заведений, детских дошкольных учреждений, площадки отдыха микрорайонов и групп жилых домов				
	-	-	55	70
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий:				
день	60	75	-	-
ночь	50	65	-	-
Площадки отдыха на территории больниц и санаториев				
	35	50	-	-
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений				
	45	60	-	-

Таблица 2

## Характеристика жилой застройки по берегам Единой глубоководной системы

Показатель	Расстояние от жилой застройки до судового хода, м		
	от 50 до 80	от 80 до 150	от 150 до 200
Протяженность жилой застройки, км	5	40	75
Отношение протяженности жилой застройки к общей протяженности системы в процентах	0,05	0,4	0,8
Число населенных пунктов	10	35	45



## Интенсивность движения судов, число судов в час

Величина	Нижний Новгород	Самара	Волгоград	Астрахань	Новосибирск	Омск
<b>Дневное время</b>						
Средняя интенсивность	28	10	28	11	13	8
В том числе скоростные суда	6	0,6	4,5	1	3,5	-
Максимальная интенсивность	35	14	30	14	17	11
В том числе скоростные суда	9	1	7	2	6	-
<b>Ночное время</b>						
Средняя интенсивность	8	4	4	5	3	2
Максимальная интенсивность	18	11	14	8	6	5

Таблица 4

## Значения внешней шумовой характеристики судов, при которой выполняются требования санитарных норм в жилой зоне в дневное время суток, дБ·А

Расстояние до судового хода, м	Тип судна	Интенсивность судоходства, судов в час				Суда, работающие на якорях
		до 4	от 4 до 16	от 16 до 70	свыше 70	
До 40	Нескоростное	69	65	61	57	55
	Скоростное	73	69	65	61	
От 40 до 80	Нескоростное	74	70	66	62	61
	Скоростное	78	74	70	66	
От 80 до 150	Нескоростное	79	75	71	67	67
	Скоростное	82	78	74	70	
От 150 до 300	Нескоростное	84	80	76	73	73
	Скоростное	87	83	79	76	
Свыше 300	Нескоростное	89	85	81	78	79
	Скоростное	92	88	84	81	

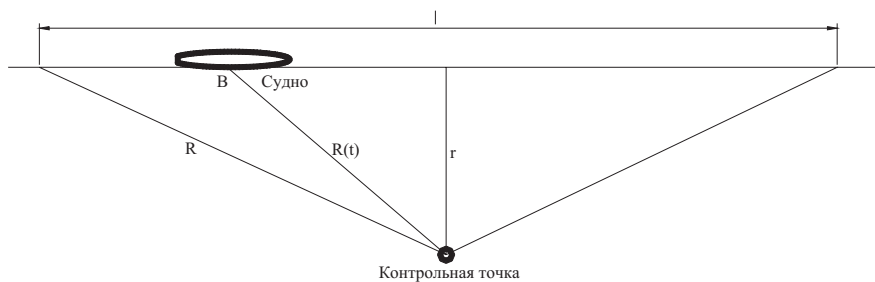


Рис.1. Схема движения судна относительно контрольной точки

Время прохождения этого участка

$$T = l / V,$$

где  $V$  – скорость движения судна, м/с.

Уровень звука в момент времени  $t$ , когда судно находилось в точке  $B$  (рис.1), будет равен

$$L_e = L_{25} - 10 \lg R_{25}^2 - 10 \lg R^2(t). \quad (3)$$

Величину  $R^2(t)$  можно представить как

$$R^2(t) = (l/2 - Vt)^2 + r^2. \quad (4)$$

Тогда эквивалентный уровень, действующий на контрольную точку, можно записать в виде

$$L_{эке} = 10 * \lg \left( \frac{1}{T_1} \right) \int_0^{T_1} 10^{0,1 * (L_{25} + 10 \lg R_{25}^2 - 10 \lg ((\frac{l}{2} - v * t)^2 + r^2))} dt, \quad (5)$$

где  $T_1$  – время усреднения, равное 1 часу.

Интеграл решаем численным методом и определяем эквивалентные уровни звука в зоне прибрежной жилой застройки для фиксированных значений расстояния до судового хода – 25; 50; 100; 200 и 400 м. Скорость движения нескоростных судов принята минимальной для буксирных судов с составом 10 км/ч, а для скоростных – 40 км/ч. Интенсивность судоходства рассмотрена в диапазоне от 4 до 70 судов в час и выше.

По результатам расчета определены значения внешней характеристики судов, при которой эквивалентные уровни звука в жилой зоне не превышают в дневное время нормы, равной 55 дБ·А (табл.4).

Для ночного времени все значения внешней шумовой характеристики, приведенные в табл.4, должны быть уменьшены на 10 дБ·А.

**Требования к внешней шумовой характеристике судна.** На базе этих исследований разработан ГОСТ 17.2.4.04–82 [8], действующий до настоящего времени, в котором установлены предельно допустимые значения внешней шумовой характеристики судов в зависимости от степени влияния их шума на прибрежную зону. Суда разбиты на три группы:

I группа – эксплуатируемые круглосуточно преимущественно вне зоны жилой застройки и движущиеся по основному судовому ходу;

II группа – эксплуатируемые в дневное время суток вблизи жилой зоны и движущиеся по основному судовому ходу;

III группа – эксплуатируемые в дневное время суток вблизи жилой зоны и движущиеся вне основного судового хода ближе к берегу.

К судам группы I относятся транзитные пассажирские, грузовые и буксирные суда. Они двигаются со скоростями от 5 до 35 км/ч. Время движения в районе населенных пунктов не превышает 1–3% от ходового времени. Как правило, они осуществляют перевозки на большие расстояния. Продолжительность плавания составляет от 5 до 20 суток.

К группе II относятся пассажирские суда для внутригородских, пригородных и местных линий. Они эксплуатируются в дневное время суток и двигаются по основному судовому ходу, где гарантированы для них необходимые глубины.

К группе III относятся суда для внутригородских экскурсий, переправы и суда маломерного флота (катера и мотолодки). Они так же, как и суда II группы, эксплуатируются в дневное время суток, но двигаются вне основного судового хода, главным образом, вблизи береговой зоны.

В качестве основной внешней шумовой характеристики установлен

уровень звука в дБ·А, измеренный на расстоянии 25 м от плоскости борта при движении судна на номинальной скорости по прямому участку. В качестве дополнительной – октавные уровни звукового давления в диапазоне частот 31,5–8000 Гц.

Время воздействия на прибрежную зону скоростных судов существенно меньше, чем нескоростных. Поэтому суда, подразделяются на скоростные (имеющие скорость выше 40 км/ч) и нескоростные.

### Допустимые значения внешней шумовой характеристики, дБ·А

Группа судна	Нескоростные	Скоростные
I	75	75
II	75	80
III	75	78

Из табл.4 видно, что суда, внешние шумовые характеристики которых не превышают 75 дБ·А, обеспечивают выполнение санитарных норм шума в подавляющем большинстве прибрежных населенных пунктов. В то же время на участках, где судоводитель ход расположен вблизи жилой зоны и интенсивность судоходства достаточно высока, при допустимых значениях внешней шумовой характеристики 75 дБ·А, требования норм для жилой зоны будут превышены.

## 2. ЗНАЧЕНИЯ ВНЕШНИХ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ

**Измерения внешней шумовой характеристики судов.** Значения внешних шумовых характеристик судов определены экспериментально. Измерения проведены на расстояниях 20–35 м от борта судна.

Выбор дистанции измерения объясняется тем, что на этом расстоянии волновой фронт звуковой волны успевает сформироваться и может рассматриваться как сферический. Затухание звука в воздухе, зависящее от его влажности и температуры, направления и силы ветра, градиентов температуры и ветра по высоте, на таком расстоянии незначительно и может не приниматься во внимание. В то же время уровень звука, как и его октавные составляющие, имеют достаточно большое значение, позволяющее надежно фиксировать их на фоне шумовых помех.

Испытания проводились на канале им. Москвы на участке между первым и вторым шлюзами. Участок удовлетворяет требованиям методики

измерений. Суда на этом участке движутся на номинальных оборотах. Глубина фарватера в средней части 8 м, что исключает влияние мелководья на шум судна. Длина прямолинейного участка составляет 2 км. Это дает возможность судну пройти мимо микрофона с установившейся скоростью. Ширина канала – 100 м. Берега пологие, каменистые с максимальной высотой 4 м от уровня воды, на берегах отсутствуют отражающие звук объекты. Канал на этом участке возвышается над окружающей местностью более чем на 10 м. Микрофон устанавливается на плотике на высоте 3 м от уровня воды. Плотик закрепляется на якоре в 20 м от берега. Это позволяет выдерживать расстояние от микрофона до борта судна в пределах от 20 до 35 м без дополнительного маневрирования.

Диспетчерами шлюзов по радиосвязи с вахтенными начальниками судов оговариваются условия прохождения судном мерного участка и уточняется режим работы энергетической установки. Прохождение судов по середине канала осуществляется судоводителями по судоходной обстановке, обеспечивающей высокую точность ориентировки судна по оси канала.

Одновременно с замерами с берега проводятся измерения характеристик основных источников внешнего шума на борту судна с целью оценки вклада каждого из них во внешнюю шумовую характеристику судна.

На канале им. Москвы эксплуатируются в основном грузовые, буксирные и пассажирские туристские суда. Внешняя шумовая характеристика скоростных пассажирских судов, судов для внутригородских и пригородных линий и экскурсионных судов измерялись на реке Волге на участках в районе выходных аванпортов Чебоксарской и Горьковской ГЭС, с катера в районе поселков Бормино и Парижская Коммуна. Кроме того, проводились оценочные измерения с борта судна уровней звука проходивших мимо судов на участке от Нижнего Новгорода до Углича.

Всего внешние шумовые характеристики измерены более чем на 200 судах 40 проектов на номинальных, средних и малых ходах.

**Оценка результатов измерений.** Внешняя шумовая характеристика грузовых судов на номинальном режиме лежит в пределах 71–74 дБ·А. Буксирные теплоходы на том же режиме имеют более высокие уровни – 75–77 дБ·А, а пассажирские туристские суда более

низкие – 68–74 дБ·А. Пассажирские суда для внутригородских и пригородных линий имеют уровни в пределах 74–76 дБ·А, а суда для внутригородских экскурсий – 72–75 дБ·А. Земснаряды создают шум, соответствующий 82–84 дБ·А. Наибольший диапазон значений внешней шумовой характеристики имеют катера и мотолодки с подвесным мотором. Уровни шума, создаваемые ими, лежат в пределах 72–83 дБ·А. Скоростные пассажирские суда на подводных крыльях с дизельными двигателями (типа «Ракета», «Метеор», «Комета», «Восход») имеют внешнюю шумовую характеристику 79–86 дБ·А, а судно на подводных крыльях с турбореактивным двигателем «Буревестник» – 98 дБ·А. Самым шумным было пассажирское судно на воздушной подушке «Сормович» – более 100 дБ·А. В настоящее время оно не эксплуатируется.

На испытанных судах отсутствовали специальные средства снижения внешнего шума, за исключением глушителей шума газовыхлопа дизелей.

**Источники внешнего шума.** В зависимости от акустической мощности источников внешнего шума максимальное значение внешней шумовой характеристики отмечается при различном расположении судна относительно микрофона. На рис.2,а [7] видно, что максимальный уровень звука теплохода на подводных крыльях типа «Ракета» имеет место при расположении судна относительно микрофона несколько в корму от миделя – в районе газовыхлопа. На рис.2,б максимальный уровень зарегистрирован после прохода судном «Метеор» микрофона, что указывает на основной вклад, вносимый кормовым буруном. У грузового теплохода «Енатаевск» (рис.2,в) вклад всех источников примерно одинаков. Характер акустического поля экскурсионного теплохода «Кронверк» (рис.2,г) объясняется наличием водометного движителя и газовыхлопа дизеля, выведенного через транец судна.

Для крупных грузовых судов грузоподъемностью свыше 2000 т характер распределения уровней звука вдоль судна аналогичен, приведенному на рис.2,в, однако уровень звука в районе кормовой оконечности превышает уровни звука в носовой части на 2–6 дБ·А. Для составов и грузовых судов с приставками наблюдалось повышение уровней звука в районе носовых бурунов каждой приставкой в шпеле.

Уровень звука от носового буруна теплохода смешанного «река-

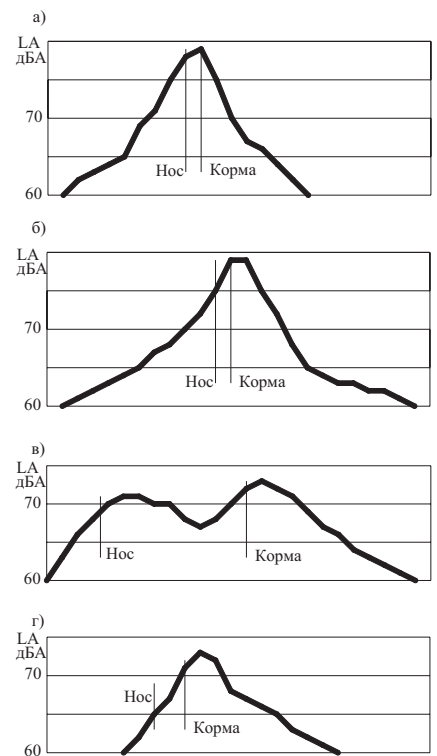


Рис.2. Уровни звука судов при движении относительно микрофона: а – т/х «Ракета», б – т/х «Метеор», в – контейнеровоз «Енатаевск», г – т/х «Кронверк»

море» плавания «Нефтерудовоз-30М», полностью загруженного и идущего полным ходом со скоростью 18,5 км/ч на 1–4 дБ·А превышают уровни шума вдоль судна. Носовые обводы, при максимальной осадке в пресной воде, для него более полные, чем для чисто речных судов, а винты погружены глубже, что способствует повышению уровней шума от носового и уменьшению их от кормового бурунов.

Спектр внешнего шума пассажирских скоростных судов (рис.3,а) имеет низкочастотный характер с максимумом на 63–125 Гц, равномерно спадающая к более высоким частотам. Для водоизмещающих судов отмечается более резкий спад на частотах до 500 Гц. Выше этой частоты спад замедляется.

У грузовых и буксирных судов характер спектра, так же как у скоростных, низкочастотный, равномерно спадающий к высоким частотам (рис.3,б).

### 3. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВНЕШНЕГО ШУМА СУДОВ И СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ УРОВНЕЙ ЗВУКА

Экспериментально доказано, что основными источниками внешнего шума судов являются:

газовыпуск главных и вспомогательных двигателей;

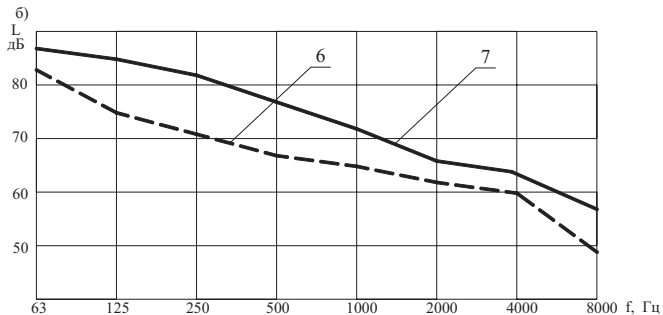
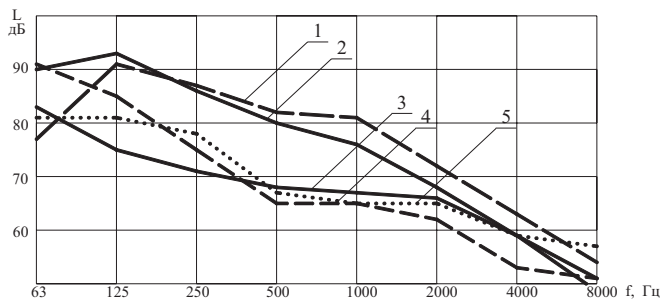


Рис.3. Спектр внешней шумовой характеристики судов для внутригородских и пригородных линий (а) и буксирных и грузовых судов (б)  
1 – типа «Метеор»; 2 – типа «Ракета»; 3 – типа «Москва»; 4 – типа «Нева»; 5 – типа «Фонтанка»; 6 – типа «Большая Волга»; 7 – типа «ОТА».

открытые световые люки машинных отделений;

гидродинамические источники (кормовой и носовой буруны);

устройства приема и выброса воздуха систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Газовыпуск двигателей внутреннего сгорания.** С целью исследования акустической мощности, создаваемой газовыпускным устройством, и его влияния на внешнюю шумовую характеристику судна производились измерения уровней звукового давления на различных расстояниях от среза фальштрубы вверх и на борт. Измерения в одном метре от среза трубы проводились под углом в 30°.

Характер спектра шума от газовыпускного тракта двигателей имеет низкочастотный характер с максимумом в октавных полосах частот 63–250 Гц. Значения уровней звукового давления на этих частотах лежат в широких пределах от 112 до 82 дБ. Большой разброс значений объясняется разнообразием типов главных и вспомогательных двигателей, конструкций газовыпускного трубопровода, наличием глушителей или утилизационных котлов. В некоторые фальштрубы одновременно осуществляется выпуск от главных двигателей и дизель-генераторов.

От газовыпускного тракта шум распространяется как от точечного источника. Уровни звукового давления, измеренные на расстоянии 1, 2 и 4 м от среза фальштрубы убывают пропорционально квадрату расстояния,

т.е. на 6 дБ при удвоении расстояния (рис.4).

На долевых режимах работы главных двигателей шум снижается на 5–8 дБ на частотах свыше 500 Гц (рис.5).

Уровни звуковой мощности газовыпускного тракта можно определить по формуле

$$L_{pr} = L_u + 10 \lg (4\pi r_o^2 / S_o), \quad (6)$$

где  $L_u$  – уровни звукового давления на расстоянии  $r_o$  от газовыпускного тракта, дБ;  $S_o = 1 \text{ м}^2$ .

Значения  $L_u$  могут быть рассчитаны по формулам работы [11] или измерены экспериментально.

**Световые люки машинных отделений.** Результаты измерений уровней звукового давления в районе открытых световых люков отличаются большим разнообразием как по характеру спектра, так и по значениям уровней звукового давления.

Уровень звуковой мощности, излучаемой открытым световым люком машинного отделения, можно определить как для проема, излучающего в открытое пространство, по формуле

$$L_{pc} = L - \Delta L_o + 10 \lg a_c b_c + 10 \lg n_c, \quad (7)$$

где  $L$  – уровень звукового давления в шахте машинного отделения в плоскости светового люка, дБ;  $\Delta L_o$  – снижение уровней звукового давления при отражении звука от открытого

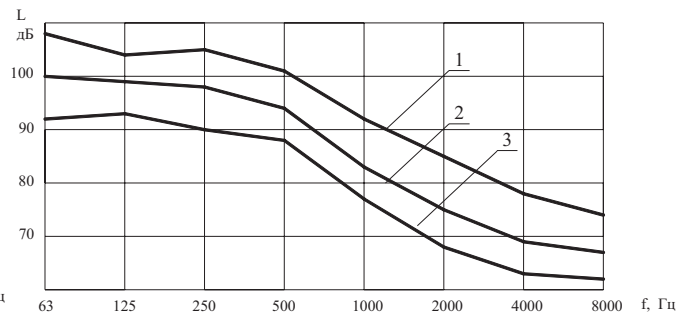


Рис.4. Уровни звукового давления на различных расстояниях от фальштрубы на теплоходе «ОТА-930»

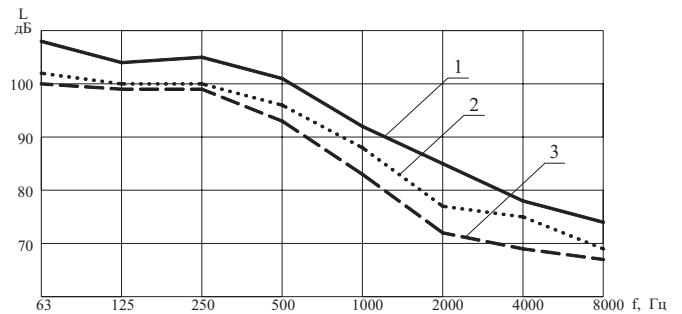


Рис.5. Уровни звукового давления на расстоянии 1 м от фальштрубы на теплоходе «ОТА-930» при различных частотах вращения главных двигателей

проема светового люка, определяемое в зависимости от эквивалентного диаметра по рис.6, дБ:

$$d_o = \sqrt[4]{4 a_c b_c / \pi},$$

где  $a_c$ ,  $b_c$  и  $n_c$  – размеры (м) и количество открытых на один борт световых люков.

**Кормовой бурун.** Формирование акустического поля в кормовой части судна, в районе буруна, происходит в результате возмущения гребными винтами потока воды и излучения пластинами наружной обшивки корпуса и палубы судна.

Анализ результатов измерений показал, что характер спектра шума кормового буруна равномерный, спадающий к высоким частотам. Значения уровней звукового давления на высоте фальшборта на расстоянии 1 м за борт в ДП для большинства водоизмещающих грузовых, буксирных, пассажирских туристских судов и пассажирских судов для внутригородских и пригородных линий лежит в диапазоне 60–95 дБ.

Характер спектра шума при работе энергетической установки на долевых режимах практически не меняется. Значения уровней звукового давления при этом уменьшается с полного хода до малого в среднем 3–10 дБ (рис.7).

Уровень звукового давления, создаваемого потоком воды на расстоянии 1–2 м над ее поверхностью можно определить по формуле

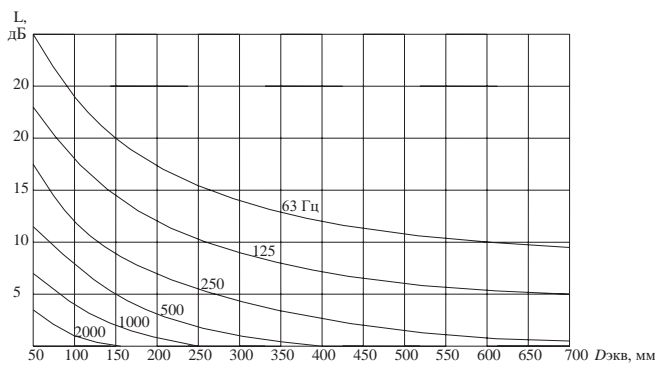


Рис.6. Снижение уровней звуковой мощности в ре-

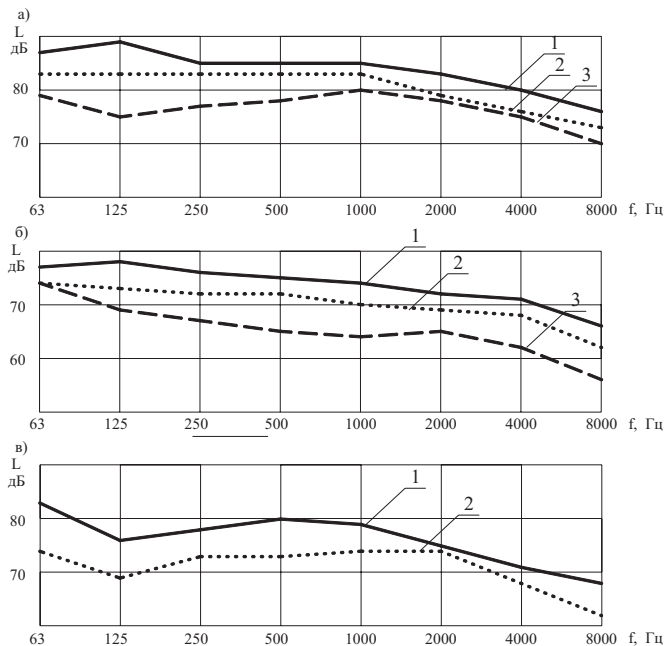


Рис.7. Уровни звукового давления, создаваемые кормовым буруном на высоте фальшборта на расстоянии 1 м за борт при различной частоте вращения главных двигателей:

а – на т/х «Маяк»

1 –  $n = 700 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 –  $n = 550 \text{ мин}^{-1}$ ; 3 –  $n = 400 \text{ мин}^{-1}$ ;

$$L_{\sigma} = L_0 + 10 \lg (k \cdot N / B * n^3 / n_n^3), \quad (8)$$

где  $L_0$  – отвлеченные октавные уровни звукового давления, создаваемого кормовым буруном;  $k$  – параметр, зависящий от мощности  $N$  энергетической установки и ширины  $B$  судна. Для речных судов  $k = 0,01 \text{ м/кВт}$ ;  $n$ ,  $n_n$  фактическая и номинальная частоты вращения винтов,  $1/\text{с}$ .

#### Отвлеченные октавные уровни звукового давления

$n$ , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_0$ , дБ	80	80	79	79	78	78	73	73

Дополнительный вклад в уровни звукового давления в районе кормового буруна вносит излучение вибрирующих в звуковом диапазоне частот пластин кормовой части корпуса.

Расчетная формула для определения уровней звукового давления в точке, расположенной на расстоянии 1 м от корпуса, имеет вид [11]

$$L = N_k + L_{\gamma}, \quad (9)$$

где  $N_k$  – уровни виброскорости пластин ахтерпика, дБ;  $L_{\gamma}$  – фактор излучения.

Уровень звукового давления, излучаемый пластинами, может быть уменьшен с помощью вибродемпфирующих покрытий.

**Носовой бурун.** Шум, создаваемый носовым буруном, возникает в результате вытеснения воды носовой частью корпуса.

Значения уровней звукового давления на высоте фальшборта на расстоянии 1 м от борта для большинства водоизмещающих судов лежит в диапазоне от 60 до 90 дБ.

Характер спектра шума при работе энергетической установки на долевых режимах практически не меняется, а значение уровней уменьшается на 10–15 дБ.

Характер спектра и значение уровней звукового давления на частотах от 250 до 8000 Гц кормового и носового бурунов совпадают. Это говорит об общей природе их шумообразования, поэтому уровни звукового давления на расстоянии 1–2 м над поверхностью воды, создаваемые носовым буруном, можно определить по той же формуле, что и для кормового буруна. Снижение уровней звукового давления при удалении от носового буруна, также сопоставлено со снижением от кормового буруна. Однако спад идет несколько быстрее. Это можно объяснить меньшей акустической мощностью носового буруна.

**Устройства приема и выброса воздуха систем вентиляции и кондиционирования** создают аэродинамический шум, излучаемый устройствами приема и выпуска воздуха. Наибольшее влияние на внешнюю шумовую характеристику оказывает устройство приема воздуха системы вентиляции машинного отделения, поскольку оно излучает шум, как вентилятора, так и главных и вспомогательных двигателей [13]. Испытания показали, что доля звуковой мощности остальных систем в суммарной характеристике внешнего шума мала, и для большинства судов ее можно не учитывать. В случае необходимости уровень звуковой мощности систем вентиляции и кондиционирования воздуха можно определить по формуле

$$L_p = L_m + 10 \lg (S / S_0), \quad (10)$$

где  $L_m$  – средний уровень звукового давления в полосах частот на измерительной поверхности площадью  $S$ ,  $\text{м}^2$ ;  $S_0 = 1 \text{ м}^2$ .

#### 4. ВНЕШНЯЯ ШУМОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУДНА И СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА

##### Вклад источников шума.

Анализ экспериментальных данных показывает, что уменьшение интенсивности звука источников на расстоянии 25 м от борта судна происходит пропорционально квадрату расстояния от источника.

**Газовыпускной тракт.** Поскольку шум от газовыпускного тракта распространяется как от точечного источника, уровни звукового давления, создаваемые им на расстоянии 25 м от борта равны

$$L_r = L_{pr} + 10 \lg [1/2 \rho(25 + b_r)^2], \quad (11)$$

где  $L_{pr}$  – уровень звуковой мощности газовыпускного тракта, дБ;  $b_r$  – расстояние от фальштрубы до борта судна, м.

**Световые люки машинных отделений.** Аналогично, уровни звукового давления, создаваемые на расстоянии 25 м от борта открытым световым люком машинного отделения, можно определить по формуле

$$L_c = L_{pc} + 10 \lg [1/2 \rho(25 + b_c)^2], \quad (12)$$

где  $L_{pc}$  – уровни звуковой мощности открытого светового люка, дБ;  $b_c$  – расстояние от середины светового люка до борта судна, м.

**Кормовой и носовой буруны.** Уровни звукового давления, создаваемые в расчетной точке кормовым  $L_k$  и носовым  $L_n$  бурунами (дБ), равны

$$L_k = L_{pk} + 10 \lg [1/2 p(25 + 0,5 B)^2]; \quad (13)$$

$$L_n = L_{pn} + 10 \lg [1/2 p(25 + 25B)^2]; \quad (14)$$

**Внешняя шумовая характеристика судна.** Внешняя шумовая характеристика судна представляет собой график распределения уровней звука по линии, отстоящей от борта на 25 м. Значения уровней звука судна получают логарифмическим суммированием уровней всех источников. По оси ординат откладываются уровни звука в дБ·А, а по оси абсцисс расстояние (м). Затем в масштабе наносят размеры судна, расположение основных источников внешнего шума с учетом их размеров. Значение рассчитанных уровней шума откладывают по оси ординат напротив середин соответствующих источников шума.

В нос и в корму от точки, соответствующей середине источника, откладывают значения уровней звука, определяемые по формуле

$$L_{ei} = L_i - \Delta L_i, \quad (15)$$

где  $L_i$  – уровень звука на расстоянии 25 м от борта напротив  $i$ -го источника, дБ·А;  $L_{ei}$  – уровень звука  $i$ -го источника вдоль линии отстоящей от борта на 25 м, дБ·А;  $\Delta L_i = 10 \lg [1 + l_i / (25 + b_i)^2]$  – снижение уровней звука с удалением от источника;  $l_i$  – расстояние, отсчитываемое вдоль линии, отстоящей от борта на 25 м в нос и в корму от середины  $i$ -го источника, м;  $b_i$  – расстояние от центра  $i$ -го источника до борта судна, м.

Точки, соответствующие каждому источнику, полученные в пределах графика, соединяют плавными кривыми. Просуммировав по формуле

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{ei}} \quad (16)$$

уровни звука отдельных источников в интервалах через каждые 2–5 м, строят кривую уровней звука судна на расстоянии 25 м от борта (рис.8). За расчетную внешнюю шумовую характеристику принимают максимальное значение этой кривой.

Расчет внешней шумовой характеристики судна выполняют по «Методическим указаниям РД 212.0125–88. Ограничение внешнего шума судов речного флота. Порядок проектирования и методика расчета» [12]. Точность расчета по методике

оценивалась по данным измерений внешнего шума 17 судов 14 проектов. Среднеквадратичное отклонение разности между результатами расчета и измерения составляет  $\pm 3,5$  дБ·А с доверительной вероятностью 0,9.

**Средства снижения внешнего шума.** Для того, чтобы обеспечить выполнение требований ГОСТ 17.2.4.04–82, необходимо снизить шум всех источников, создающих на расстоянии 25 м от борта уровень звука, превышающий нормативный уровень. При этом следует учитывать и источники, которые при суммировании с другими могут превысить норму.

Для снижения шума газовыпускного тракта главных двигателей, дизель-генераторов и устройств приема и выброса воздуха систем вентиляции необходимо установить более эффективные глушители.

Для снижения шума открытых световых люков машинного отделения могут быть использованы звукопоглощающие конструкции, устанавливаемые в шахтах машинного отделения.

## 5. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ШУМА СУДОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

В Советском Союзе работы по ограничению шума, создаваемого судами внутреннего плавания в прибрежной жилой и курортной зонах были организованы следующим образом. Требования к внешней шумовой характеристике судна были установлены Госстандартом (ГОСТ 17.2.4.04–82), контроль за их выполнением был поручен органам Госсанэпиднадзора. Главная лаборатория судовой акустики Министерства речного фло-

та по заданию Министерства (и на его средства) разрабатывала методики расчета и проектирования средств ограничения внешнего шума судна (РД 212-0125–88). Та же лаборатория проводила техническую экспертизу проектов судов и измерения шума на головных судах при сдаче их в эксплуатацию. Органы Госсанэпиднадзора на транспорте осуществляли согласование проектов судов, приемку построенных судов в эксплуатацию и надзор за эксплуатируемыми судами. В доперестроечные времена эта схема организации работ действовала достаточно успешно как в части снижения шума в помещениях судов, так и в части снижения внешнего шума. Единственным несоответствием в этой схеме было то, что требования к внешней шумовой характеристике были предъявлены Госстандартом, а не Госсанэпиднадзором как контролирующим органом.

С изменением экономических отношений и функций Министерства транспорта исчезла головная лаборатория судовой акустики – научное подразделение, выполнявшее важную работу в схеме надзора за влиянием судов на экологическую обстановку. В связи с этим было принято решение поручить функции надзора за экологическим состоянием судов внутреннего и смешанного плавания Речному Регистру.

Регистр – надзорный орган с богатой историей. Подразделения Регистра осуществляют надзор за безопасностью судна и груза, формулирует требования и контролирует их выполнение на всех этапах от проектирования судна до его списания. В обоснованных случаях Регистр может пересмотреть требования в сторону ужесточения или смягчения своих требований. Надзор за кон-

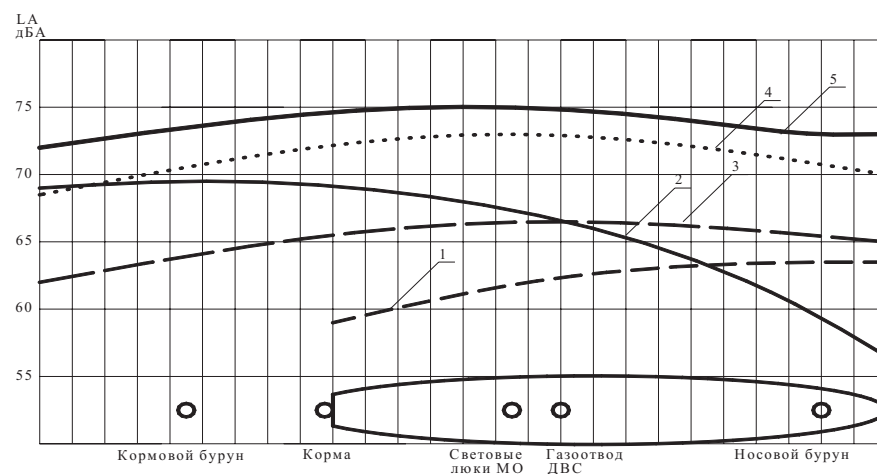


Рис.8. График распределения уровней на расстоянии 25 м от плоскости борта от основных источников: носового (1) и кормового (2) бурунов, системы газоотвода главных двигателей и дизель-генераторов (3), открытых световых люков машинного отделения (4) и всего судна в целом (5).

струкциями противозумового комплекса Регистр ведет только в части их влияния на безопасность судна (например виброизолирующее крепление надстроек или глушители шума выхлопа главных двигателей), не интересуясь их акустической эффективностью.

С передачей Регистру функций надзора за экологическим состоянием судов надзорных органов становится два Регистр и Госсанэпиднадзор. Неясно, как будут распределены функции между ними. Окончательный вариант объема надзора должен быть принят по согласованию между Госсанэпиднадзором и Речным Регистром. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Effenberger E.* Larmbelastigung der Anwohner durch Schiffe und Boote // *Hansa.* – 1967. – Vol.104. – № 23. – S. 2085-2090.

- Verkehrsblatt. – 1968. – Hft. 18. – S. 473.
- Материалы XVII сессии рабочей группы по внутреннему водному транспорту ЕЭК ООН.
- Kis A.* Korlenede stud szemle. – 1964. – Vol. 14. – № 10. – S. 456-459.
- DDR Schiffs-Revision und Klassifikation. Vorschriften fur die Larm- und Schwingungs-bekampfung auf Schiffen. – 1982, S. 10.
- Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». – М.: Изд. Минздрава России, 1997.
- Изак Г.Д., Гомзиков Э.А.* Шум на судах и методы его уменьшения. – М.: Транспорт, 1987. – 303с.
- ГОСТ 17.2.4.04–82 Охрана природы. Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания.

- Дудолодов А.А.* Безопасное расстояние между судами при пересечении курса // *Речной транспорт.* – 1972. – № 9. – С. 51.
- Он же.* Расхождение судов на Горьковском рейде // *Речной транспорт.* – 1973. – № 11. – С. 51.
- РД 212.0060–92. Комплекс противозумовых мероприятий на судах речного флота. Порядок проектирования и методика расчета. 1992.
- РД 212.0125–88 «Методические указания. Ограничение внешнего шума судов речного флота. Порядок проектирования и методика расчета».
- РД 212.0112–81. Комплекс противозумовых мероприятий на судах речного флота. Требования к проектированию и методика расчета для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – М., 1993.
- СНиП 23-03–2003. Защита от шума. – М.: Стройиздат, 2004. ■



198260, Санкт-Петербург,  
пр. Народного Ополчения, д.168/1  
т/ф. 159-69-93  
185512, Ломоносов, ул.Победы, д.24  
т/ф. 422-35-93

ПОСТАВКА, НАЛАДКА И РЕМОНТ  
судового оборудования и запасных частей  
производства России и стран СНГ

НАВИГАЦИЯ • СВЯЗЬ • РАДИОЛОКАЦИЯ



Поставка как со склада,  
так и по предварительным заявкам

e-mail: [pips@mail.wplus.net](mailto:pips@mail.wplus.net)  
[lomonspb@mail.wplus.net](mailto:lomonspb@mail.wplus.net)

- Радиостанции "Ангара РБ", "КАМА-РМ", Р-625, "Рег", "Бирюза", "Бомакс"
- Лазеры ИЭЛ-2М, ЛЭ-1
- Гироскопы "Амур-3М", "Амур-М", "Хоро-4М", "Хоро-10"
- Гидроакустические "Вель-М", ГКУ-2
- Эхолоты НЭП-М2, НЭП-М3, НЭП-М1, НЭП-М4 и аппараты к ним
- Устройства громкоговорящей связи "Рябина", "Глушеница", "Каштан"
- Запасные части к эхолотам, ласам, гироскопам
- Чувствительные элементы к гироскопам "Амур", "Амур-3М", "Хоро-4М"
- Антенно-фидерные устройства
- Различные судовые приборы, электромашины, трансформаторы
- Кабельная продукция
- Измерительные приборы
- Преобразователи АМГ-221, АМГ-222, АТО-2-400Р, АТТ-20-400Р и др.
- Тара упаковочная, в том числе экспортная

Более полная информация на сайте  
[www.stepixel.spb.ru](http://www.stepixel.spb.ru)

ООО "ТехноТрейд"

www.sverilika.narod.ru  
tel/факс (812) 442-8319, 587-7971  
e-mail: [technot@devn.ru](mailto:technot@devn.ru)



**Ручные электрические машинки для зачистки кромок, удаления заусенцев и снятия фаски** на изделиях из стали, нержавеющей стали, цветных металлов и пластмасс. Обрабатывают прямые кромки, внутренние и внешние радиусы, отверстия от 22,0 мм. Величина фаски до 10,0 мм. Угол фаски 30 или 45 град.



**Переносные электрические устройства для снятия фаски** на кромке металлических листов и проката. Угол фаски от 15 до 60 град. Величина до 20,0 мм. Возможна обработка торцов труб diam. от 160 мм. Электронная защита от перегрузок.



**Переносные электрические сверлильные устройства на магнитном основании.** Диаметры получаемых отверстий до 50мм - обычные сверла, до 130мм - кольцевые фрезы. Имеется модель с пневматическим двигателем и включением магнитного основания. Электронная защита от перегрузок.



**Кольцевые фрезы (HSS)** - быстрорежущая сталь. Глубина сверления до: 30, 50, 75 и 110мм. Диаметры от 12 до 130 мм.  
**Кольцевые фрезы (HNM)** - с твердым сплавом. Глубина сверления до 50мм. Диаметры от 18 до 110 мм.  
Производство фирм США и Германии.



**Станок для перезаточки кольцевых фрез HSS и HNM любых фирм - изготовителей.** Диаметры от 12 до 50 мм. Количество перезаточек HSS фрез от 10 до 25 раз в зависимости от длины. Быстро, точно, качественно!

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ