

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПРОМЫСЛОВОГО СУДНА ДЛЯ ПРИБРЕЖНОГО ЛОВА

М. Э. Францев, канд. техн. наук,
e-mail: gepard629@yandex.ru, И. М. Францев,
e-mail: ilya.frantsev@gmail.com

УДК 629.12.001

Большую часть мирового малотоннажного промыслового флота составляют суда с корпусами из композитов, однако в современной России они не проектируются и не строятся. При этом необходимость в судах такого типа существует и в России. Это приводит к переориентации ряда отечественных судовладельцев на продукцию зарубежного судостроения (рис. 1). В качестве примеров, подтверждающих этот тезис, можно привести многочисленные факты приобретения рыбаками Дальнего Востока промысловых композитных судов, бывших в употреблении в Японии, где в эксплуатации находится более трехсот тысяч судов этого типа. Приобретают промы-

са проектирования. Необходима разработка способов проектного обоснования таких судов, учитывающих различные аспекты их последующей эксплуатации и обеспечивающих их конкурентоспособность.

Современные стандарты проектирования предусматривают последовательное снижение затрат на такие наиболее дорогие и сложные разделы проекта, как, например, разработка гидродинамического комплекса, которые реализуются на базе единожды выполненных научных исследований и накопленного опыта эксплуатации. Этим же обусловлена все более широкая замена при разработке проекта натурного эксперимента численным расчетом.

может изменять элементы проектируемого судна.

Новое судно должно обладать сбалансированной совокупностью эксплуатационных качеств, отвечающих ожиданиям потенциальных заказчиков. Поэтому в современных условиях быстрого технологического развития экономики весьма остро стоит вопрос оптимизации конструкции малотоннажного судна, проектирование которого ограничено ресурсами, когда у разработчика нет возможности искать оптимальное решение методом проб и ошибок.

Способ параметрического проектирования позволяет формализовать процессы выбора оптимальной структуры характеристик проектируемого судна с помощью разработанной методической общности задач анализа информации о ранее построенных судах подобного типа и синтеза проектных обоснований. При этом проектировщик оперирует на единой основе множеством технических показателей характеристик судов (масса, размеры, мощность и их соотношения) и показателей качества функционального использования (эксплуатационные и экономические характеристики) с помощью специфических экономико-информационных и математических моделей различного типа и вида.

Основной принцип, реализуемый в способе структурно-параметрического проектирования промыслового судна, заключается в выявлении и оптимизации макропеременных, опирающейся на анализ связанных с ними технико-экономических показателей, определяемых показателями функционального использования судна в рассматриваемом размерном интервале. При этом применяется двухуровневая иерархия упрощенной логико-математической модели, в которой верхний уровень связан с эксплуатационными качествами судна, а нижний представляет собой систему основных проектировочных уравнений, в которые в качестве переменных входит небольшое количество характеристик судна (параметров), к которым подстраиваются остальные [3, 4].

Физической моделью способа структурно-параметрического проектирования судов из композитов, в том числе скоростных, является подобие гидродинамических процессов на расчетных режимах движения в рамках единой компоновки всего



Рис. 1. Промысловые скоростные суда из композитов производства Норвегии (слева) и Японии (справа)

ловые суда из композитных материалов в Норвегии и рыбаки европейского Севера России, в первую очередь ведущие промысел в бассейне Белого моря [1, 2].

Для расширения возможностей создания отечественных композитных промысловых судов прибрежного лова для работы на удалении 4–20 миль от берега в настоящее время необходимо решить ряд проблем как в области совершенствования проектных характеристик судов и их оптимизации, так и в области улучшения структуры всего процес-

В этой связи представляется востребованной вариативная модель проектирования, опирающаяся на использование параметрических методов. Она позволяет проектанту, в рамках экономической целесообразности, быстро переходить от одного размера судна к другому, связывая конструктивные элементы судна и определяющие их параметры посредством проектных ограничений, определяемых условиями эксплуатации. Накладывая и удаляя такие ограничения, а также изменяя значения параметров, разработчик

судна. Подобие обусловлено относительно небольшим различием геометрических размеров наибольшего и наименьшего судов ряда (как правило, не более чем в пять раз).

Непосредственному структурно-параметрическому синтезу характеристик проектируемого судна предшествует разработка базы данных моделей множества возможных технических решений. Проектные характеристики построенных судов при этом организуются в виде множества возможных решений, а затем упорядочиваются по степени их относительной предпочтительности. Задача проектирования судна имеет несколько критериев оптимизации, из которых на последующих этапах проектирования выбирается основной критерий, поэтому при формировании базы данных необходимо стремиться к максимально возможному учету всех технико-экономических показателей, а также показателей функционального использования (эксплуатационных качеств) [3, 4].

Параметрический ряд судов — это упорядоченная совокупность числовых значений их проектных характеристик. В параметрических рядах, наряду с размерами судов, характеристиками их массы и мощности, важную роль играют отдельные элементы нагрузки масс, расходные характеристики судовой энергетической установки, особенности их движительных комплексов и пр. В случае группировки судов в параметрическом ряду по одному или нескольким ключевым признакам, например таким как особенности гидродинамического комплекса, а также другим конструктивно-технологическим решениям, можно говорить о типоразмерном параметрическом ряду.

При выборе параметров для параметрических рядов прежде всего решается вопрос о мерности рядов. Параметрический ряд, построенный для одного главного параметра, будет одномерным. Обоснованный выбор параметров для построения параметрического ряда имеет большое значение для создания оптимального набора сбалансированных характеристик как одного судна, так и группы судов нескольких размеров.

В соответствии с описанным способом главные размерения и отдельные статьи нагрузки масс представляются в виде функций независи-

мой переменной. В качестве единой независимой переменной принимается базовая длина L^* . Она определяется в соответствии с ГОСТ 1062—80 «Размерения надводных кораблей и судов главные. Термины, определения и буквенные обозначения» и представляет собой габаритную длину судна в походном положении по несъемным частям. Эта величина очень информативна, потому что на базовой длине расположено подавляющее большинство масс судна. Часто в открытых источниках значения главных элементов построенных судов приводятся неполно, а в ряде случаев с искажениями. В то же время значения базовой длины этих судов, как правило, приводятся достоверно. Кроме того, базовая длина судна может быть измерена. Подробнее о способе проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных и представлении основных проектных характеристик в виде функции одного параметра — базовой длины — изложено в [5].

Сбалансированность проектных характеристик разрабатываемого судна определяется системой проектных уравнений: плавучести, нагрузки масс и мощности—ходкости, при этом для каждого из проектных вариантов она представляется в виде:

$$\begin{aligned} D &= f_5(L^*) = \gamma\delta LBT = \\ &= \gamma f_1(L^*) f_2(L^*) f_3(L^*) f_4(L^*); \\ D &= D_{\text{пор}} + DW = f_6(L^*) + f_7(L^*) = \\ &= \sum_{i=1}^k P_i + \sum_{i=1}^l P_i = \sum_{i=1}^k f_i(L^*) + \sum_{i=1}^l f_i(L^*); \quad (1) \\ N &= \frac{D^n V^m}{C_{\text{mn}}} = \frac{f_5(L^*)^n V^m}{\varphi(D, Fr_v)}, \end{aligned}$$

где $f_1(L^*)$, $f_2(L^*)$, $f_3(L^*)$, $f_4(L^*)$ — соответственно главные размерения; $f_5(L^*)$ — полная масса; $f_6(L^*)$ — водоизмещение порожнем; $f_7(L^*)$ — дедвейт; $f_i(L^*)$ — статьи нагрузки масс по разделу «Водоизмещение порожнем»; $f_i(L^*)$ — статьи нагрузки масс по разделу «Дедвейт». При этом $\varphi(D, Fr_v)$ — коэффициент, связывающий полную массу, мощность и скорость для анализируемых значений полной массы

и скоростного интервала, представленного в виде относительной скорости — числа Фруда по водоизмещению [5—7].

При проектном обосновании промыслового судна из композитов определяются главные размерения L , B , H , T , δ , а также другие характеристики: $B_{\text{габ}}$, соотношения L/B , B/T , H/T , $B_{\text{габ}}/B$, полная масса D и такие ее составляющие, как водоизмещение порожнем $D_{\text{пор}}$ и дедвейт DW , а также грузоподъемность $P_{\text{груз}}$, масса топлива $P_{\text{топл}}$, экипажа $P_{\text{эк}}$ и запаса питьевой воды $P_{\text{вода}}$, коэффициент утилизации по дедвейту η , модуль массы корпуса $a_{\text{корп}}$ и коэффициент пропорциональности для расчета массы энергетической установки $k_{\text{эу}}$, а также вместимость судна W по интервалу базовой длины L^* с использованием результатов анализа баз данных [5]. При этом сопоставляются и выбираются варианты по экономическому критерию.

Ряды значений этих функций, построенные на множестве значений независимой переменной L^* в пределах рассматриваемого интервала, позволяют перейти от основных размеров и других характеристик одного варианта судна к аналогичным данным другого варианта, варьируя только один параметр L^* как наиболее универсальный, при этом оставаясь в зоне предпочтительности. При помощи вариаций по базовой длине можно получить семейство характеристик ряда судов из композитов, сбалансированных по соотношениям основных размеров и других характеристик, например элементам нагрузки масс. При необходимости можно варьировать другие геометрические параметры судна, предварительно задав интервал изменения и построив на них в качестве независимой переменной аналогичное семейство функций (таблица).

Главные размерения и другие геометрические характеристики судна дополняются характеристиками ожидаемых скорости и мощности, полученными на базе анализа уравнений мощности—ходкости:

$$C_{\text{скор}} = Dv/N; \quad (2)$$

$$C_a = D^{2/3} v^3 / N; \quad (3)$$

$$C_f = v D^{2/3} / N, \quad (4)$$

где $C_{\text{скор}}$, C_a , C_f — коэффициенты.

Представление параметрического ряда композитных промысловых судов прибрежно-го лова с использованием результатов, полученных при обработке баз данных

Характеристика	L_1^*	L_2^*	...	L_n^*
L	$L = \alpha_1 L_1^{*b1}$	$L = \alpha_1 L_2^{*b1}$		$L = \alpha_1 L_n^{*b1}$
B	$B = \alpha_2 L_1^{*b2}$	$B = \alpha_2 L_2^{*b2}$		$B = \alpha_2 L_n^{*b2}$
T	$T = \alpha_3 L_1^{*b3}$	$T = \alpha_3 L_2^{*b3}$		$T = \alpha_3 L_n^{*b3}$
H	$H = \alpha_4 L_1^{*b4}$	$H = \alpha_4 L_2^{*b4}$		$H = \alpha_4 L_n^{*b4}$
δ	$\delta = \alpha_5 L_1^{*b5}$	$\delta = \alpha_5 L_2^{*b5}$		$\delta = \alpha_5 L_n^{*b5}$
D	$D = \alpha_6 L_1^{*b6}$	$D = \alpha_6 L_2^{*b6}$		$D = \alpha_6 L_n^{*b6}$
DW	$DW = \alpha_7 L_1^{*b7}$	$DW = \alpha_7 L_2^{*b7}$		$DW = \alpha_7 L_n^{*b7}$
η	$\eta = \alpha_8 L_1^{*b8}$	$\eta = \alpha_8 L_2^{*b8}$		$\eta = \alpha_8 L_n^{*b8}$
$D_{пор}$	$D_{пор} = \alpha_9 L_1^{*b9}$	$D_{пор} = \alpha_9 L_2^{*b9}$		$D_{пор} = \alpha_9 L_n^{*b9}$
P_i	$P_i = \alpha_{10} L_1^{*b10}$	$P_i = \alpha_{10} L_2^{*b10}$		$P_i = \alpha_{10} L_n^{*b10}$
P_i	$P_i = \alpha_{11} L_1^{*b11}$	$P_i = \alpha_{11} L_2^{*b11}$		$P_i = \alpha_{11} L_n^{*b11}$
N	$N = \alpha_{12} L_1^{*b12}$	$N = \alpha_{12} L_2^{*b12}$		$N = \alpha_{12} L_n^{*b12}$
...				
v	$v = \alpha_n L_1^{*bn}$	$v = \alpha_n L_2^{*bn}$		$v = \alpha_n L_n^{*bn}$

В качестве одного из способов определения этих коэффициентов использованы результаты обработки баз данных существующих катеров и малых судов из композитов (содержащих характеристики D, N, v) с использованием методов регрессионного анализа. Более подробно эти вопросы рассматриваются в работах [6, 7].

Полученное семейство графиков (рис. 2) в сочетании с описывающими их уравнениями образует устойчивые взаимосвязи между такими характеристиками скоростных судов из композитов, как полная масса D , мощность главных двигателей N , а также их скоростными характеристиками: скоростью v и числом Фруда по водоизмещению Fr_v . Форма поверхностей, объединяющих эти графики, характеризуется достаточной гладкостью, что позволяет использовать полученные зави-

симости для анализа и практических расчетов [6, 7].

Для реализации задачи параметрического проектирования композитного промыслового судна прибрежного лова были разработаны два компьютерных приложения. Первое (рис. 3) предназначено для определения главных размерений, элементов нагрузки масс и вместимости. Базовая длина при этом задается с любой необходимой точностью в диапазоне от 10 до 20 м. Для определения экономической эффективности полученных проектных характеристик судна их расчеты дополнены расчетом экономических характеристик в соответствии с выбранным экономическим критерием (в данном случае — величиной условной операционной прибыли от эксплуатации промыслового судна в течение одного дня). При этом использована известная эксплуатационная модель промысла [8].

Второе компьютерное приложение позволяет определить установленную мощность главных двигателей судна, имеющего полную массу, определенную при помощи компьютерного приложения 1, достаточную для обеспечения заданного скоростного режима. При этом значение полной массы экспортируется из компьютерного приложения 1 вручную с округлением до 0,5 т, а относительная скорость в виде числа Фруда по водоизмещению в интервале $Fr_v = 2,5 \dots 5$ задается с точностью 0,1.

Разработчику компьютерных приложений задача была сформулирована в общем виде:

- обеспечение возможности задания параметра расчетов через интерфейс;
- реализация описанного выше алгоритма расчетов;
- обеспечение функционала сохранения результата с возможностью последующей печати.

Помимо формализованных требований, присутствовали не формализованные, но известные ограничения:

- обязательная работа с использованием OS Windows XP SP3 без установленных обновлений и dotNet;
- сохранение минимального размера дистрибутива для возможности передачи через электронную почту и другие «узкие» каналы.

Вследствие ограничений, накладываемых при постановке задачи, а также относительной простоты алгоритмов расчетов в качестве среды разработки был выбран Visual Basic 6.

В качестве первого шага была разработана программа-макет, реализующая один из алгоритмов

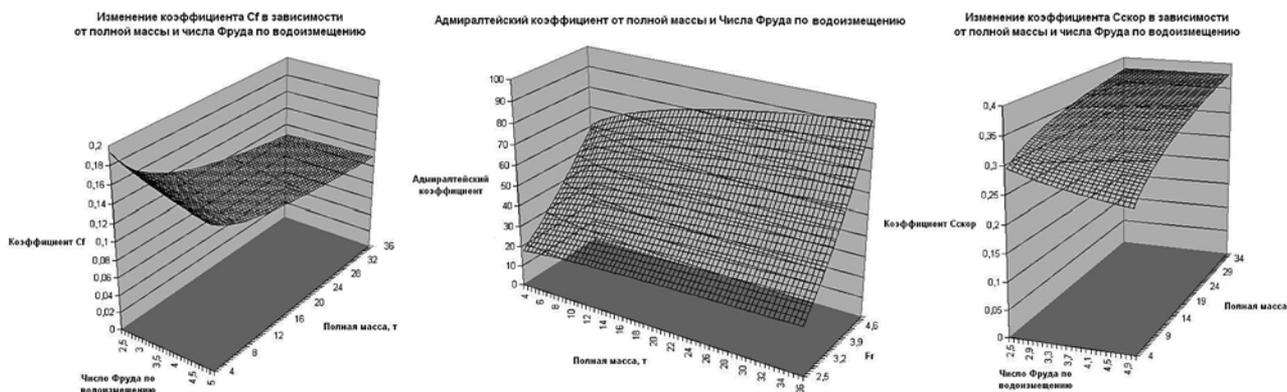


Рис. 2. Изменение коэффициентов $C_{скор}$, C_a и C_f в зависимости от полной массы и скорости для глиссеров

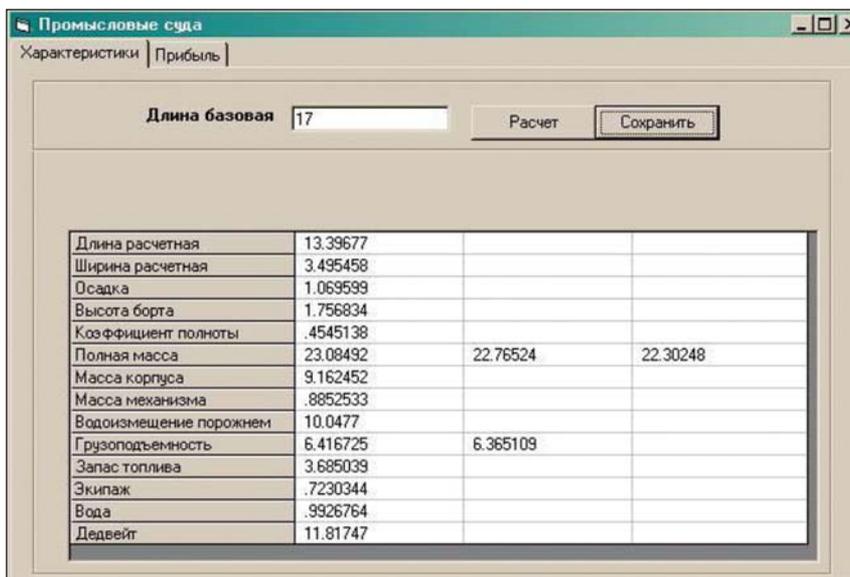


Рис. 3. Вид интерфейса компьютерного приложения 1

расчета. Основной задачей при этом было согласование внешнего вида программы и скорости ее работы.

Для представления результатов в программе использовалась хорошо себя зарекомендовавшая grid форма. В данном случае это наиболее верный подход, который позволяет хорошо структурировать расчетные данные при выводе на экран, а в дальнейшем дает инструмент для их последующей обработки.

Для сохранения данных выбран формат html, позволяющий гарантировать работу программы без дополнительного программного обеспечения (ПО) на компьютере проектанта (браузер входит в состав OS).

Кроме того, это гарантирует одинаковость печатных форм отчетов.

Программа-шаблон прошла процедуры тестирования, и после получения положительной обратной связи было продолжена разработка всего комплекта приложений.

При реализации приложения 2 по расчету мощности было определено требование в виде получения данных из MS Excel-файлов. Поэтому было необходимо сохранить возможность изменять данные на стороне проектанта. При разработке этой программы пришлось пожертвовать возможностью работы данного приложения без дополнительного ПО на компьютере проектанта. Для использования этого приложения необ-

Длина базовая	17		
Длина расчетная	13.39677		
Ширина расчетная	3.495458		
Осадка	1.069599		
Высота борта	1.756834		
Коэффициент полноты	.4545138		
Полная масса	23.08492	22.76524	22.30248
Масса корпуса	9.162452		
Масса механизма	.8852533		
Водоизмещение порожнем	10.0477		
Грузоподъемность	6.416725	6.365109	
Запас топлива	3.685039		
Экипаж	.7230344		
Вода	.9926764		
Дедвейт	11.81747		

Рис. 4. Форма отчета компьютерного приложения 1

ходима установка на компьютере проектанта комплекта MS Office.

В приложении 1 реализована возможность проверки результатов, полученных при обработке баз данных, с помощью уравнений плавучести, стандартных соотношений нагрузки масс и другими способами. Результаты проверки отражаются в соседних столбцах справа по отношению к проверяемым величинам. Полная масса скоростного глиссирующего судна из композитов проверяется два раза. Отклонение рассчитанных и проверочных величин не превышает 2–5%. Сохраненные данные оформляются в виде отчета и могут быть распечатаны (рис. 4).

В компьютерном приложении 2, позволяющем рассчитывать установленную мощность, реализована возможность проверки результатов, полученных при обработке баз данных, с помощью одновременного расчета мощности по всем трем коэффициентам. Данные величин, полученные путем расчета, отражаются в соседних строках друг над другом. Отклонение значений мощности, определенных с помощью различных коэффициентов, не превышает 2–5%. Сохраненные данные оформляются в виде отчета и могут быть распечатаны (рис. 5, 6).

Использование описанных компьютерных приложений позволяет проектанту в течение нескольких минут получать главные размерения, характеристики нагрузки масс, вместимости и установленной мощности скоростного глиссирующего судна из композитов или целого семейства судов, сбалансированные между собой и проверенные с помощью точных физических уравнений.

Эти приложения дают возможность разработчику реализовать вариативную модель проектирования, опирающуюся на использование па-

Число Фруда	3.2
Полная масса	23.0
C_a	35.6285498
C_f	.120402108
C_c	.354660773
N_{cc}	1096.10914479085
N_{ca}	1096.06869986285
N_{cf}	1135.33385400011

Рис. 5. Форма отчета компьютерного приложения 2

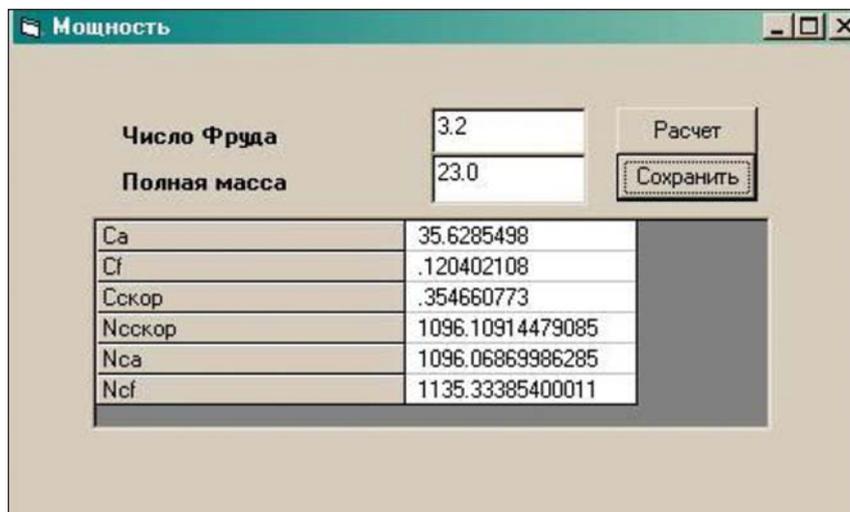


Рис. 6. Вид интерфейса компьютерного приложения 2

раметрических методов и существенно упрощающую оптимизацию проектируемого судна. После определения и уточнения главных размеров и других характеристик судна

дальнейшее проектирование ведется традиционными способами.

Литература

1. Францев М. Э. Задачи и особенности проектирования рыболовных судов с повышенной

скоростью // Морской вестник. 2009. № 4(32).

2. Францев М. Э. Проектные особенности зарубежных промысловых судов из композиционных материалов для прибрежного лова // Судостроение. 2010. № 5(792).

3. Пашин В. М. Оптимизация судов. Л.: Судостроение, 1983.

4. Царев Б. А. Оптимизационное проектирование скоростных судов. Л.: ЛКИ, 1988.

5. Францев М. Э. Способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2011. № 3.

6. Францев М. Э. Проектный анализ различных форм уравнения «мощности—ходкости» при разработке проекта скоростного судна из композитов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1.

7. Францев М. Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных // Наука и техника транспорта. 2010. № 3.

8. Иванов В. П. Техничко-экономические основы создания рыболовных судов: учебник. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010.

КОНФЕРЕНЦИЯ «ПОЛЯРНАЯ МЕХАНИКА-2014»

3—5 июня в Санкт-Петербурге в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» состоялась II Всероссийская конференция «Полярная механика». Предыдущая конференция была проведена два года назад Институтом гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения РАН в Академгородке Новосибирска¹. Эта конференция показала большую заинтересованность специалистов, работающих в области изучения различных физических процессов, связанных с воздействием льда, снега, мерзлого грунта на окружающую среду, инженерные сооружения, и необходимость в общении и обмене информацией. На первой конференции было принято решение о проведении таких мероприятий один раз в два года попеременно в Восточной и Западной частях России.

Целью конференции являлись координация работ и обмен информацией по результатам исследований, выполненных представителями научных, научно-технических, инженерных, учебных и других коллективов, в области полярной механики. Обсуждались наиболее важные на-

учные и инженерные достижения в этой области, определялись приоритетные направления и возможность координации работ.

В конференции приняли участие более 50 специалистов, которые являлись представителями различных научных институтов, а также ведущих высших учебных заведений Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Севастополя, Новосибирска, Томска, Екатеринбурга, Барнаула, Владивостока, Комсомольска-на-Амуре и Якутска. На заседаниях было заслушано и обсуждено 46 докладов. Издан сборник тезисов докладов конференции. Наиболее интересные доклады планируется опубликовать в начале следующего года в «Трудах Крыловского государственного научного центра».

Работа конференции не разделялась на отдельные секции, все участники имели возможность прослушать и обсудить каждый из представленных докладов, которые можно разделить на несколько групп по тематике: проблемы определения физико-механических свойств льда и снега, проблемы создания

современных технических средств для освоения полярных областей, методы расчета физических полей во льду и снеге.

Из первой группы необходимо отметить доклад, представленный сотрудником ААНИИ В. Н. Смирновым, который был посвящен изучению крупномасштабной механики деформирования и разрушения морских льдов. В нем обобщены результаты многолетних исследований сотрудников ААНИИ, выполненные под руководством автора, включая самые свежие предварительные данные, полученные в 2014 г. Особое внимание уделено динамическим силам взаимодействия, которые возникают в дрейфующих льдах. Учет этих сил необходим при создании образцов новой техники, предназначенной для освоения континентального шельфа замерзающих морей.

В докладе чл.-корр. РАН Р. В. Гольдштейна и Н. М. Осипенко (ИПМ РАН) были рассмотрены механизмы разрушения льда при сжатии с позиций механики трещин. Наиболее важным результатом данной работы является выявление влияния заполненных рассолом ячеек в мор-

¹Сазонов К. Е. Конференция «Полярная механика 2012» // Судостроение. 2012. № 4. С. 43—44.