

УДК 629.12.001

ГАЙКОВИЧ
Борис Александрович

На правах рукописи

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТНОГО ОПТИМИЗАЦИОННОГО
ОБОСНОВАНИЯ СУДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ РАБОТ**

05.08.03 – проектирование и конструкция судов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук,

Санкт-Петербург
2005

Диссертационная работа выполнена на кафедре Проектирования судов Санкт-Петербургского Государственного Морского Технического Университета.

Научный руководитель д.т.н., профессор Царев Б.А.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Никитин Н.В.
к.т.н., доцент Любимов Е.В.

Ведущая организация - Военно-морской инженерный институт

Защита диссертации состоится "30" мая 2005 г. в 11 час., в ауд. АКТ. ЗАЛ на заседании Диссертационного Совета Д 212.228.01 по присуждению ученых степеней доктора технических наук при Санкт-Петербургском Морском Техническом Университете по адресу: 190008, Санкт-Петербург, Лощманская ул. д.3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГМТУ.

Отзывы просим направлять в адрес Диссертационного Совета Д 212.228.01 в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью.

Автореферат разослан "30" апреля 2005 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
д.т.н., профессор



А.Н. Суслов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

В настоящее время активно развивающаяся индустрия освоения богатств Мирового океана ставит перед проектировщиками судов новые задачи. В связи с дальнейшим развитием освоения шельфовых месторождений, а также с продолжающимися глубоководными исследованиями, задачи проектирования и постройки судов обеспечения водолазных и глубоководных операций не теряют актуальности. Дополнительным аспектом необходимости создания подобных судов является необходимость обеспечения возможности проведения спасательной операции на аварийной подводной лодке.

В настоящее время, флот России не имеет судов и кораблей, способных поддерживать водолазные операции на глубинах свыше 60 м. Для сравнения, только в зоне Мексиканского залива (уступающего по богатству недр Северному и Баренцеву морям) оперирует порядка 40 судов требуемого типа. С учетом принятого Российским правительством перспективного плана освоения богатств Мирового океана, проблема создания судна, способного осуществлять коммерческие и спасательные глубоководные водолазные операции, является предельно актуальной.

Цель и содержание исследования

Целью исследования является создание методики для определения рациональных характеристик судна обеспечения глубоководных водолазных операций по заданным условиям проведения такой операции и предполагаемым коммерческим условиям контракта. Для этого в работе необходимо проанализировать особенности судна обеспечения глубоководных работ, как сложной технической системы, построить его математическую модель, провести верификацию модели и выполнить численный эксперимент, доказывающий возможность практического применения методики проектирования судна DSV(Diving Support Vessel).

Объект и теоретическая база исследования

Объектом исследования являются суда обеспечения водолазных работ, водоизмещением от 1500 до 5000 т., длиной от 40 до 100 м, однокорпусные. В работе имеется ряд положений, создающих возможность проектного анализа судов, имеющих большие размеры.

В качестве теоретической базы исследования используются методы системного анализа, положения теории проектирования судов, методы математической статистики, алгоритмы математического программирования.

Предмет защиты

Предметом защиты являются:

- новая оптимизационная методика проектирования судов для поддержки глубоководных работ и спасательных операций; позволяющая определить основные характеристики судна, с точностью, достаточной для исследовательских стадий проектирования;

- адаптированная процедура расчета вместимости по площадям и устойчивости применительно к специфике исследуемого типа судна, проведенное обоснование рациональной схемы общего расположения и архитектурно-конструктивная схема судна обеспечения глубоководных работ;
- уточненная на базе теории массового обслуживания модель экономической эффективности судна для поддержки глубоководных работ, учитывающая результаты маркетинговых исследований рынка использования таких судов на Западе. Адаптирована методика определения постройочной стоимости с учетом стоимости оборудования насыщения;
- статистический анализ проектных характеристик построенных судов исследуемого типа. Получены зависимости для определения основных характеристик судна, которые используются в качестве как ограничений области оптимизационного расчета, так и определения интервалов вариации характеристик судна;
- реализованный логико-программный продукт, осуществляющий расчеты в соответствии с разработанной методикой, который позволяет провести численные эксперименты на представленной оптимизационной модели.

Научная новизна

В результате выполненных исследований в работе получен ряд новых научных результатов. Наиболее важным новым результатом является методика оптимизационного проектирования, позволяющая обосновывать главные характеристики судна обеспечения глубоководных работ. Разработана математическая модель, реализованная в алгоритмах и охватывающая основные уравнения теории проектирования применительно к данному типу судов.

Новые результаты, полученные в диссертации, включают в себя также:

- методику проектного оптимизационного обоснования судов обеспечения глубоководных работ;
- способ определения основных размерных, основанный на анализе уравнения компоновки-вместимости;
- схему оценки маркетинговой эффективности подобного судна, основанную на экономическом анализе и позволяющую учесть влияние экономических факторов в регионе эксплуатации, а также подобрать оптимальные средства выполнения глубоководных работ;
- получение проектировочных зависимостей на основе статистических исследований характеристик судов обеспечения водолазных работ.

Практическая ценность и внедрение

Практическая значимость диссертационного исследования обусловлена прикладной направленностью и актуальностью проблемы. Предложения, сделанные на основе предлагаемой методики для службы аварийно спасательных работ, по размещению систем нормобарических глубоководных скафандров HardSuit 1200, нашли практическое применение и внедрение. Также, в период проведения предварительного планирования подъемных операций, на основании предлагаемой методики

был сделан анализ современных комплексов ДП (долговременного пребывания), са- турационный) и КП (кратковременного пребывания). Комплекс и методология ана- лиза практически внедрены в ООО "ДайвТехноСервис", где находит применение при проектном анализе водолазных судов.

В 2004 году ООО "Дайвтехносервис" при непосредственном участии автора, совместно с КБ "Балтсудопроект", по Заказу Мурманского морского пароходства подготовило, спроектировало и изготовило 2-х контейнерный автономный мобиль- ный водолазный комплекс. Была также проведена работа по установке водолазного комплекса на ледокол "Капитан Игнатюк", в ходе которого на ледоколе была вы- полнена шахта с водолазной беседкой, создано спуско-подъемное устройство для беседки, размещены контейнеры водолазного комплекса с подводкой всех необхо- димых магистралей. Данный комплекс является самым большим и совершенным водолажным комплексом, установленным в последнее время на суда.

Апробация

Результаты работы по основным ее разделам докладывались на семинарах ка- федры, а также на региональных и международных конференциях. Практические аспекты методики внедрены в организациях, занимающихся проектированием рас- сматриваемых судов и эксплуатацией их оборудования.

Объем и структура работы

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литерату- ры и приложений.

Во "**Введении**" обосновывается актуальность темы диссертации, выбирается объект исследования - судно обеспечения глубоководных водолажных работ. Задача разработки оптимизационной методики проектирования судов данного типа рас- сматривается как системная, поскольку СОВГР является элементом системы обе- спечения безопасности на море. Здесь же формулируется цель исследования и зада- чи, решение которых обеспечивает достижение целей диссертационного исследова- ния. В настоящее время не существует систематизированных проектных методик, позволяющих выполнить этап исследовательского проектирования судов рассма- триваемого типа. В то же время, теорией проектирования судов накоплен большой опыт в решении подобных задач. В области разработок математических моделей проектируемых судов - это работы В.В. Ашика, Л.М. Ногида, А.В.Бронникова, В.М.Пашина, А.Н. Гуровича, А.А. Родионова, Б.В. Богданова, А.В.Слущкого. В при- менении математических методов и системного анализа следует отметить исследо- вания И.Г. Захарова, В.Б. Фирсова, Н.В.Никитина, А.Н. Сулова, Б.А. Царева, П.А. Шауба В применении методов экономического анализа и разработке сценариев функционирования автор опирался на работы Е.И. Андреева, Л.Б. Бреслава, С.И. Логачева, Е.В.Любимова, В.Ф.Сидорченко, К.А. Бежашева, Н.П.Любушина, И.А. Хализова

В первой главе проводится анализ судна обеспечения глубоководных водо- лазных работ. С методологической точки зрения суда для водолажных и спасатель- ных работ представляют собой предельный вариант функциональной доминантно- сти, когда характеристики целевой подсистемы полностью определяют облик несущей

шей платформы. Анализ статистических данных позволил получить ряд эмпирических зависимостей для определения в первом приближении характеристик СОГВР. При решении задачи оптимизации эти зависимости используются для входа в область допустимых решений, так и для определения интервалов изменения оптимизируемых переменных. Поскольку основные источники информации по этим судам зарубежные и отличаются неполнотой данных, расчетные схемы строятся на основании дедвейта. Примерами таких зависимостей приведены ниже.

Коэффициент утилизации дедвейта по полезной нагрузке равен:

$$\eta_{DW} = P_{гр} / DW = 0,405 \pm 0,15 \quad (1)$$

Максимальная длина в функции дедвейта (рис. 1):

$$L_{max} = 0,014DW + 49,1 \text{ м} \quad (2)$$

Коэффициент перехода к длине между перпендикулярами:

$$K_L = 0,907 \pm 0,031 \quad (3)$$

Характер зависимостей некоторых геометрических параметров от длины судна показан на рис. 1.

$$L_{max}/B = 0,0126L_{max} + 1,96$$

$$H_{priv}/T = 0,0007L_{max} + 0,73$$

$$H1/H_{priv} = -0,003L_{max} + 1,70$$

$$H2/H_{priv} = 0,0037L_{max} + 0,37$$

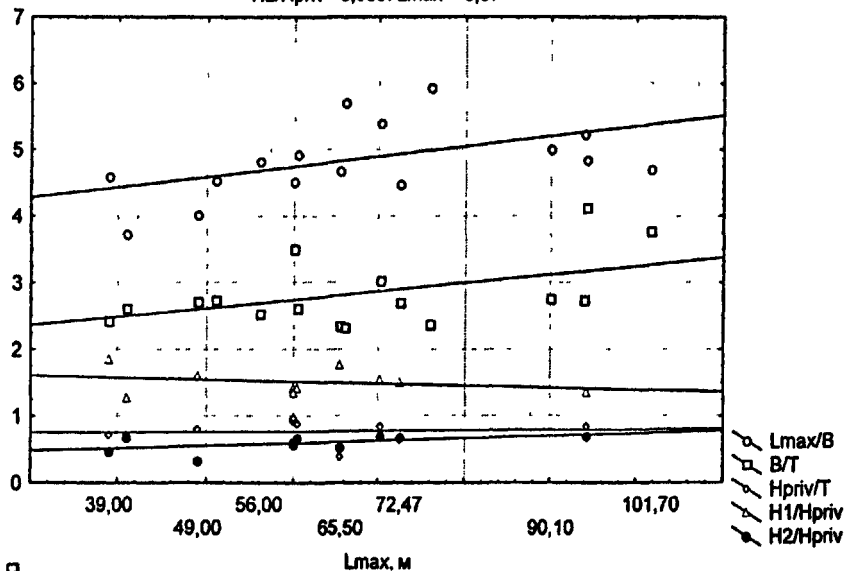


Рис. 1. Зависимость некоторых геометрических характеристик СОГВР от максимальной длины судна.

Все суда обеспечения глубоководных водолазных работ для увеличения вместимости и улучшения мореходных качеств имеют развитый полубак, имеет смысл говорить о приведенной высоте борта, вычисляемой по формуле:

$$H_{priv} = H_1(1 - k_{пл}) + H_2 / k_{пл} \quad (4)$$

где H_1 - высота борта на носовом перпендикуляре, H_2 - высота борта на кормовом перпендикуляре, $l_{кпл}$ - относительная длина кормовой рабочей площадки.

Относительная длина рабочей площадки составляет $(0,554 \pm 0,068)L_{max}$.

Поскольку большинство современных судов обеспечения водолазных работ, являются переоборудованы из судов другого назначения, значение их адмиралтейского коэффициента, отнесенного к дедвейту ($C = (DW^{2/3} V_i^3) / N$) имеет заметный разброс величин.

Численность экипажа в первом приближении можно определить по соотношению:

$$n_{ЭК} = E[0,012 DW + 27,8] \quad (5)$$

где $E[...]$ - функция "целая часть числа".

Численность команды водолазов:

$$n_{вод} = E[(0,6 \pm 0,1) n_{ЭК}] \quad (6)$$

Анализ этих элементов показывает, что по своим характеристикам исследуемые суда близки буксирам, спасательным судам и судам обеспечения буровых установок. Поэтому коэффициент общей полноты может быть определен по формуле Александра:

$$\delta = 1,08 - 1,68 Fr \quad (7)$$

Значение коэффициента общей полноты должно быть взаимосвязано со значениями полной массы дедвейта и главных размерений.

Анализ системы "Суднообеспечения глубоководных работ" как совокупности подсистем.

Целевая доминирующая система СОГВР может состоять из нескольких компонентов, в зависимости от приоритетов решаемых судном задач. Основными компонентами являются:

- гипербарический водолазный комплекс;
- мобильный водолазный комплекс;
- комплекс телеуправляемого либо автономного подводного аппарата или нормобарического глубоководного скафандра Hardsuit.

Гипербарический водолазный комплекс является главным компонентом. Его основные габаритные, объемные, энергозатратные и стоимостные характеристики в значительной степени определяют кораблестроительные и тактико-экономические элементы самого судна обеспечения.

Существенной частью водолазной подсистемы является водолазный колокол, служащий для доставки водолазов под постоянным давлением из барокомплекса к месту работы и обратно, а также для проведения декомпрессии. Как составная часть барокомплекса часто используются различные переходные модули, служащие для передачи водолазов под давлением внутрь или из барокомплекса. В основном используется 3 типа колоколов:

- с нижним люком (bottom mated) - колокол вертикально устанавливается на барокамеру, имеющую вертикальный шлюз
- с нижним люком, "накатываемый" (bottom mated rollover) - то же, что и предыдущий. Колокол имеет роликовую тележку, позволяющую перемещать его по направляющим на палубе.

- с боковым люком (side mated). Колокол такой конструкции пристыковывается к барокамере через боковой шлюз.

Характеристики барокомплекса зависят от характера, и продолжительности предполагаемых работ, и от глубины их выполнения.

Для выполнения работ на глубинах до 60 м, как правило используют в качестве дыхательной газовой смеси воздух. Габариты и весовые характеристики барокамер такого типа позволяют без особого труда размещать их на судах без заметного изменения компоновки, конструкции или мореходных качеств судна. В связи с этим в данной работе подобные комплексы рассматриваться не будут.

При выполнении работ на глубины свыше 60 м используются дыхательные газовые смеси. Водолазные комплексы, использующие гелиевые ДГС, как правило предназначены для выполнения водолазных работ методом длительного пребывания, для которого характерны длительные экспозиции под повышенным давлением в течение всего срока работы водолазной смены. Так же могут использоваться методы кратковременного пребывания при котором декомпрессия (может быть и длительная) начинается сразу после окончания рабочей смены.

Возможны 2 способа спуска / подъема водолазного комплекса: через борт (транец) и через бассейн (moonpool). Для спуска через борт/транец может использоваться кормовая грузовая рампа (A-frame), система горизонтальных направляющих или специальное гидравлическое спусковое устройство параллелограмного типа. Для перемещения водолазного колокола по палубе применяются специальные рельсы и направляющие.

Необходимо отметить, что современные водолазные комплексы являются несерийным продуктом и проектируются и изготавливаются на заказ, для установки на конкретном судне-носителе. Тем не менее, в целях разработки технического задания на проектирование судна и оптимизации его основных элементов были выделены усредненные тактико-технические характеристики такого комплекса, рассчитанного на проживание и работу 8 (в аварийном режиме - до 12) водолазов и обеспечения глубоководных спусков на кислородно-газовых смесях на глубины до 300 м. Разработка таких усредненных характеристик позволяет получить необходимые зависимости для уравнений нагрузки, вместимости, остойчивости и расчета стоимости.

Состав комплекса:

Жилая барокамера (на 4 человек) - 2 комплекта; переходной блок (на 4 человек) - 1 комплект; гипербарический спасательный бот - 1 комплект; водолазный колокол - 1 комплект; спускоподъемное устройство водолазного колокола типа A-frame - 1 комплект; лебедка кабель-шланговой связки колокола - 1 комплект; гидравлический силовой блок - 1 комплект; вспомогательный гидравлический блок - 1 комплект; блок управления барокомплексом - 1 комплект; блок водоподогрева для водяного обогрева водолаза - 1 комплект; компрессорный гелиевый блок, сопряженный с системой газоотбора - 1 комплект; блок баллонов-газохранителей - 1 комплект; вспомогательный / аварийный генератор - 1 комплект; мастерская и посты обслуживания снаряжения - 1 контейнер.

Сводные массогабаритные характеристики гипербарического комплекса приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Расчетные характеристики спроектированного гипербарического комплекса

#	Элемент	Масса, т	Потребная площадь, м ²
1	Жилая барокамера №1 (на 4 человек)	8	20
2	Жилая барокамера №2 (на 4 человек)	8	20
3	Переходной блок (на 4 человек)	8	20
4	Гипербарический спасательный бот	12	35
5	СПУ водолазного колокола типа A-frame	12	25
6	Водолазный колокол	2	9
7	Лебедка кабель-шланговой связки колокола	2	10
8	Гидравлический силовой блок	5	85
9	Вспомогательный гидравлический блок	10	85
10	Блок управления барокомплексом	4	20
11	Блок водоподогрева для водяного обогрева водолаза	5	9
12	Компрессорный гелиевый блок, сопряженный с системойгазоотбора	5	16
13	Блок баллонов-газохранителей	25	20
14	Вспомогательный / аварийный генератор	1	6
15	Мастерская и посты обслуживания снаряжения	5	20
16	Рабочая площадка на верхней палубе	--	200
	Итого:	112	438,5

Таблица 2.

Характеристики "усредненного" мобильного глубоководного водолазного комплекса

#	Элемент	Масса, т	Потребная площадь, м ²
1	Гипербарический модуль №1 с барокамерой на 4 х человек	12	20
2	Гипербарический модуль №2 с переходным шлюзом, СПУ и водолажным колоколом	26	28
3	Компрессорный модуль	10	20
4	Модуль баллонов - воздухохранителей	25	20
5	Силовой модуль с гидравлической установкой и генератором, с блоком водоподогрева	18	20
6	Мастерская и посты обслуживания снаряжения	5	20
7	Рабочая площадка на верхней палубе	-	350
	Итого:	96	478

Для обеспечения глубоководных водолазных работ на глубинах до 400 м. наряду с судовыми палубными гипербарическими водолажными комплексами, применяются мобильные глубоководные гипербарические водолазные комплексы. Мобильные комплексы характеризуются модульной конструкцией, обеспечивающей удобство в транспортировке, но требующей затрат на монтаж/демонтаж. В их конструкциях сохранилась тенденция на применение укрупненных модулей: барокамера - спускоподъемное устройство - водолазный колокол. В тоже время, в связи с меньшим в 2 раза КПД от работы одинакового количества водолазов, в конструкцию мобильного комплекса вводится дополнительная барокамера. Это сказывается на росте массогабаритных характеристик средств обеспечения мобильного комплекса (компрессорного модуля, модуля газохранилищ и т.д.).

Таким образом, мобильным глубоководным комплексам также требуется крупнотоннажный носитель с наличием большой (150 - 200 м²) площади для размещения комплекса.

Для разработки математической модели проектирования исследуемых судов был спроектирован "усредненный" мобильный глубоководный водолазный комплекс. Его номенклатура и массогабаритные характеристики приведены в табл. 2. В принципе, математическая модель СОГВР может учесть применение и легких мобильных комплексов.

На современном уровне развития электроники и робототехники более 90% водолазных работ может быть выполнено при помощи телеуправляемых или автономных аппаратов. Комплекс телеуправляемого аппарата среднего рабочего класса состоит из аппарата, лебедки кабель-связки и кабель-связки, блока управления аппарата, силового блока (для гидравлических и электро-гидравлических аппаратов), СПУ, подводной доковой станции (TMS -Tether Management System), блока обработки и представления данных дополнительных сенсоров

Для использования в математической модели прием типичную комплектацию современного ROV-аппарата рабочего класса с гидравлическим или электро-гидравлическим приводом, приведенную в табл.3.

Принципиально комплекс обеспечения подводного обитаемого аппарата не отличается по составу от комплекса ROV- аппарата. Исключение составляет гипербарический спасательный аппарат типа Remoga для эвакуации подводников из аварийной ПЛ под повышенным давлением.

Таблица 3.

"Усредненная" комплектация необитаемого подводного аппарата

	Элемент	Масса, т	Потребная площадь, м2
1	ROV аппарат	3	12
2	Управляющий контейнер	8	20
3	СПУ	18	28
4	Гидравлический силовой блок	5	8,5
5	TMS (доковая станция)	3	16
6	Мастерская	10	20
7	Рабочая площадка на верхней палубе	--	350
	Итого:	47	454,5

В этом случае, в состав комплекса необходимо включать декомпрессионные барокамеры для выхода экипажа из-под повышенного давления. Обычная компоновка судна водолазного обеспечения, наличие свободного места на рабочей палубе и мощность крановых устройств, как правило, достаточна для использования большинства существующих сейчас в мире аппаратов подобного назначения. Соответственно, рассматривать как отдельный класс судно-носитель подводного обитаемого аппарата нецелесообразно.

Помимо собственно водолазного комплекса, на судне обеспечения водолазных и глубоководных работ необходимо предусмотреть размещение специализированного инструментария для решения различных водолазных задач.

Проведенный анализ доминирующей подсистемы позволяет сделать следующие выводы для постановки задачи оптимизации характеристик исследуемого судна.

1. Влияние на характеристики судна характеристик водолазного комплекса носит глобальный характер, поэтому в качестве оптимизируемых переменных следует выбирать главные размерения судна и интегральные характеристики формы.
2. Ограничения математической модели должны учитывать требования к площадям, объемам и величине полезной нагрузки со стороны доминирующей подсистемы.
3. Состав системы обеспечения водолазных спусков и характеристики ее элементов являются параметрами оптимизационной задачи.
4. Электроэнергетическая система является важнейшей обеспечивающей системой. Хотя ее конкретные характеристики определяются вне рамок оптимизационной задачи, проектант должен иметь информацию о предполагаемой суммарной мощности устанавливаемых источников электроэнергии.

Анализ системы "Суднообеспечения глубоководных работ" как элемента иерархической структуры обеспечения безопасности на море.

В ходе выполнения водолазных операций судно взаимодействует с другими элементами системы обеспечения безопасности на море.

Функционирование судна внутри системы более высокого уровня иерархии требует, во-первых, согласование его тактико-технических характеристик с требованиями к нему со стороны других элементов такой системы, а во-вторых, непротиворечивость его критерия эффективности целям и задачам всей системы.

Анализ требований к исследуемому судну позволяет разбить их на 3 группы.

К первой относятся требования к проектным характеристикам, оптимизируемым в рамках всей системы. В нее включаются:

- требуемая скорость хода судна обеспечения глубоководных водолазных работ,
- требуемая дальность плавания;
- требуемая автономность по запасам провизии и воды;
- состав и характеристики целевой подсистемы обеспечения глубоководных водолазных работ;
- комплектация водолазной партии.

Указанные величины являются элементами технического задания на проектирование судна и в формулировку оптимизационной задачи будут включены в качестве параметров.

Вторая группа требований затрагивает основные проектные характеристики, и может учитываться в математической модели проектирования (а следовательно и в формулировке оптимизационной задачи) в виде системы ограничений, например требование обеспечение приема спасательного вертолета.

К третьей группе относятся требования, которые могут не учитываться при определении основных характеристик судна как несущей платформы и исключаются из формулировки оптимизационной задачи, например требование наличия спутниковой связи определенных стандартов.

Наиболее важным результатам анализа встроенности рассматриваемого судна в систему обеспечения безопасности на море является выбор формы его критерия эффективности. Проблема заключается в том, что функционирование осуществляется эпизодически, а не постоянно. С другой стороны, оборудование таких судов, как уже отмечалось, является во многом уникальным и дорогостоящим и простой таких судов приносит большие убытки. Сценарий использования такого судна является определяющим при выборе вида критерия.

Рассмотрим проблему оценки функционирования исследуемого судна в гражданском варианте. Здесь, в первую очередь, необходимо учитывать коммерческую успешность его эксплуатации. Оплата услуг глубоководных водолазов и, следовательно, самого судна, осуществляется либо повремено, либо аккордно. Поскольку заявки на проведение глубоководных операций носят случайный характер, то, для построения критерия возможно использование аппарата теории массового обслуживания. Тогда судно представляет собой одноканальную систему с ожиданием при неограниченном числе мест в очереди. Основными параметрами такой системы являются интенсивность потока заявок λ (среднее число заявок, поступающих в единицу времени) и производительность канала μ (среднее число заявок, обслуживаемых каналом в единицу времени). Система массового обслуживания является устойчивой, если выполняется условие: $\rho = \lambda / \mu < 1$. Интенсивность потока заявок формирует внешняя система. Поэтому параметр λ является компонентом исходных данных в задаче оптимизации элементов судна.

С учетом сделанных предположений, критерий эффективности СОГВР, принятый в модели будет иметь вид:

$$S = D - Z = \sum_i C_i \cdot T_{оп} \cdot N_{оп} - Z \quad (8)$$

где D - годовой доход, приносимый судном, Z - годовые затраты на его эксплуатацию, включая амортизационные отчисления. C_i - стоимость суточного использования судна в i -й операции, $T_{оп}$ - длительность i -й спасательной операции в сутках, $N_{оп}$ - число глубоководных операций в год.

Выбранный критерий предполагает выполнение спасательной операции с вероятностью 1, поэтому он не входит в противоречие с глобальным критерием системы обеспечения безопасности на море. В то же время, максимизация прибыли позволяет, с одной стороны, оценить коммерческую успешность создания инфраструктуры такой системы, а с другой (путем проведения численных экспериментов) - установить оптимальную величину ставки суточного использования судна.

Проведенный анализ судна обеспечения водолазных работ как подсистемы системы более высокого порядка позволяет сделать следующие выводы.

1. Элементы технического задания, такие как скорость, дальность плавания, состав водолазного оборудования должны определяться как результат совместной оптимизации характеристик всех элементов инфраструктуры, обеспечивающей безопасность на море.

2. Для оптимизации элементов судна, в рамках использования по гражданскому сценарию, допустимо использование критерия эффективности в виде максимизируемой годовой прибыли.

Из анализа взаимодействия судна обеспечения с внешней средой, под которой подразумеваются все природные объекты и объекты, не входящие в систему, обеспечивающую безопасность на море, могут быть получены условия существования и целостности судна как технической системы.

Прежде всего, это требования плавучести, устойчивости, ходкости и непотопляемости, предъявляемые к судну как плавучему сооружению.

Обеспечение других мореходных качеств, таких как управляемость, хотя и являются важными, с точки зрения технико-экономических характеристик, но имеет влияние на выбор главных размерений судна существенно меньший, чем вышеперечисленные. Оценку таких качеств предполагается проводить не в процедуре оптимизации, а путем проверочных расчетов.

Постановка задачи оптимизации судна обеспечения глубоководных водолазных работ

Формулируем задачу проектирования корабля как экстремальную задачу математического программирования.

Пусть вектор $C(c_1 \dots c_n)$ - вектор параметров задания на проектирование. Его компоненты включают в себя следующие группы:

- параметры используемого глубоководного комплекса;
- параметры судна как несущей платформы;
- параметры, определяющие спасательную операцию и экономическую ситуацию.

Пусть $X(x_1 \dots x_n)$ - вектор искомых характеристик проектируемого корабля (вектор оптимизируемых характеристик). В соответствии с результатами системного анализа в качестве оптимизируемых переменных выбраны:

$X_1 = \delta$ - коэффициент общей полноты СОГВР; $X_2 = L$ - длина судна между перпендикулярами; $X_3 = B$ - ширина судна по КВЛ; $X_4 = T$ - осадка судна, соответствующая полному водоизмещению; $X_5 = H$ - осредненная высота борта

На компоненты вектора X накладываются двухсторонние ограничения:

$$(X_i)_{\min} < X_i < (X_i)_{\max}, \quad i=1 \dots n \quad (9)$$

Конкретные значения ограничений в (10) определяются по результатам статистического анализа.

К проектируемому кораблю предъявляется целый ряд требований. Эти требования к данному j -му качеству выражаются функционалом A_j , а само j -е качество судна - функционалом $G_j(X, C)$. Возникает еще одна система ограничений:

$$G_j(X, C) \geq A_j \quad j=1 \dots m \quad (10)$$

В данной задаче систему функциональных ограничений образуют следующие требования к судну:

1. Должны быть равны заданным: скорость полного хода, дальность плавания, автономность по запасам, численность экипажа, включая водолазную партию.
2. Масса фактической полезной нагрузки должна быть не меньше массы подсистемы обеспечения глубоководных водолазных работ.
3. Располагаемые площади должны быть не меньше площадей, требуемых для размещения целевой подсистемы.
4. Располагаемые длины должны быть не меньше длин, требуемых для размещения целевой подсистемы.
5. Относительная поперечная метацентрическая высота при выполнении операции спуска-подъема водолазного колокола должна быть не меньше минимальной.
6. Относительный запас плавучести должен быть не меньше заданного.

Для выбора оптимального решения вводится критерий эффективности, значение которого для наилучшего варианта экстремально:

$$\max Z(X,C). \quad (И)$$

В качестве критерия в данном случае является прибыль $Z = П$. Сформулированная оптимизационная задача соответствует этапу решения внутренней задачи теории проектирования судов и относится к классу нелинейных задач математического программирования. Для ее решения требуется разработка специальных алгоритмов.

Внутренняя задача может быть дополнена внешней, предназначенной для выработки элементов технического задания на проектировании судна для глубоководных работ.

Во второй главе рассматривается математическая модель судна, образующая ядро задачи оптимизации. При решении задачи оптимизации кораблестроительных

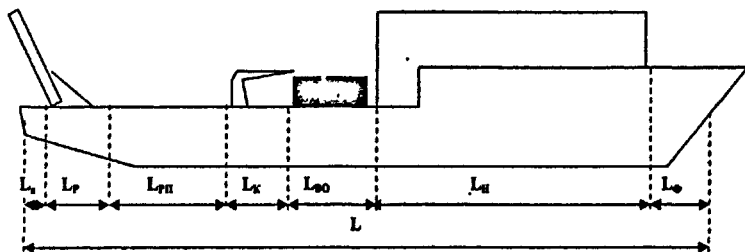


Рис.3. Схема параметризации общего расположения судна.

L_{Φ} – длина форпика, $L_{Н}$ – надстройки, $L_{К}$ – длина, необходимая для размещения и функционирования крана, $L_{ВО}$ – длина, необходимая для размещения контейнеров с водолажным оборудованием; $L_{РП}$ – длина рабочей площадки, $L_{Р}$ – длина, необходимая для размещения и функционирования ramпы, $L_{А}$ – длина ахтерника.

элементов любого судна необходимо решить проблему отображения в его математической модели общего расположения. Для исследуемого судна эта проблема явля-

ется также актуальной, поскольку композиционные решения по размещению гипербарического комплекса весьма разнообразны.

На основании анализа архитектурно-конструктивного типа, выбрана обобщенная схема общего расположения не меняющаяся топологически в ходе оптимизации и представленная в математической модели проектирования рядом параметров.

В качестве базового варианта для учета общего расположения выбран однокорпусный вариант, схема параметризации которого показана на рис. 3.

С использованием введенных параметров, условия вместимости могут быть записаны следующим образом.

Условие длин:

$$L - (L_{\phi} + L_H + L_A) = L_{B0} + y_K L_K + L_{P1} + y_P L_P \quad (12)$$

где y_K, y_P - булевы переменные, учитывающие наличие или отсутствие крана и ramпы. Составляющие выражения (12) определяются на основании статистических исследований.

Условие площадей:

$$L_{P1} B \geq S_{P1TP} \quad (13)$$

где B - ширина по КВЛ, S_{P1TP} - требуемая площадь рабочей площадки, определяемая в функции габаритов выбранной номенклатуры водолазного оборудования.

Для судов рассматриваемого типа не существует отечественных прототипов, поэтому для расчета нагрузки необходимо использовать "прямые" методы, основанные на непосредственном определении геометрических характеристик конструктивных элементов, или с использованием измерителей нагрузки с судов другого назначения.

Нагрузка по группе "Металлический корпус" будет определяться путем вычисления массы отдельных конструкций, набранных по Правилам российского регистра морского судоходства. Поскольку конструкция судов водолазного обеспечения аналогична конструкции морских буксиров и судов обеспечения ПБУ, то примем поперечную систему набора. Для поэлементного расчета массы корпуса разобьем его на отдельные конструкции.

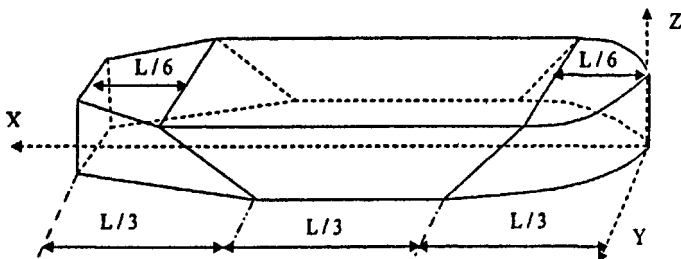


Рис. 4 Схема представления корпуса судна для определения геометрических характеристик корпусных конструкций

Для определения геометрических характеристик элементов конструкции корпуса используется упрощенной моделью судовой поверхности, показанной на рис.4

Для упрощения выкладок криволинейный обвод имеется только в носовой оконечности судна. Уравнение ватерлинии носового заострения на основной плоскости имеет вид квадратичной параболы с абсциссой вершины, соответствующей началу носового заострения. Уравнение нулевой ватерлинии задается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} y_0 = B/2[1-9(1/3-x/L)^2] & 0 \leq x \leq L/3 \\ y_0 = B/2 & L/3 \leq x \leq 2L/3 \\ y_0 = B/2(5/3-x/L) & 2L/3 \leq x \leq L \end{cases} \quad (14)$$

Аналогичным образом задается система уравнений для описания ватерлинии на уровне верхней палубы:

$$\begin{cases} y_{II} = B/2[1-36(1/6-x/L)^2] & 0 \leq x \leq L/6 \\ y_{II} = B/2 & L/6 \leq x \leq 5L/6 \\ y_{II} = B(4/3-x/L) & 5L/6 \leq x \leq L \end{cases} \quad (15)$$

С использованием упрощенной аналитической модели корпуса судна и его принятой структуры, вычислим его вес. Все корпусные конструкции делятся на следующие элементы, геометрические размеры которых рассчитываются по Правилам регистра.

Шпангоутная рамка, состоящая из флора, шпангоутов и бимса. Ее вес определяется по формуле:

$$\begin{aligned} G_{ШР} &= 7,8 \cdot \{2y_0(0,0078L + 0,13) \cdot 0,001(0,01h_{дд} + 3,5) + 2(H - h_{дд}) \cdot 0,12(H - h_{дд}) \cdot 0,001(0,01h_{ш} + 3,5) + 2y_{II} \cdot 0,12(H - h_{дд}) \cdot 0,001(0,01h_{ш} + 3,5)\} = \\ &= 7,8(0,002y_0(0,0078L + 0,13)(0,00078L + 3,513) + (H - 0,0078L - 0,13) \times \\ &\quad \times (0,0012H - 9,3 \cdot 10^{-4}L + 3,5)[0,00012(H - 0,0078L - 0,13) + 0,00024y_{II}]), \tau \end{aligned} \quad (16)$$

Продольные связи, состоящие из днищевых стрингеров, вертикального кляя, крайнего междудонного листа, настила двойного дна, бортовых стрингеров, карлингсов. Формула для расчета веса продольных связей по своей структуре аналогична формуле (16).

Обшивка днища и бортов. Масса обшивки учитывает площадь смоченной поверхности, площадь надводной части борта, учет наличия полубака.

Настил палубы и настил полубака. Вес этих конструкций рассчитывается с помощью упрощенной модели и эмпирических соотношений.

Переборки. Для расчета массы главных водонепроницаемых переборок прием допущение об их трапецидальной форме. Нижнее основание трапеции равно протяженности флора на соответствующем шпангоуте, а верхнее - протяженности палубного бимса. Число переборок принимается равным 5, а расстояние между ними одинаковым.

Оконечности. Масса оконечностей считается учтенной, поскольку протяженность большинства продольных связей принимается равной длине судна.

Надстройки. Для учета массы в качестве базовой принята 3-х ярусная надстройка, характерная для большинства судов рассматриваемого типа.

Таким образом, возможен расчет массы корпуса, с одной стороны, учитывающий требования к нему со стороны Классификационного общества, а с другой -

обеспечивающий чувствительность результата при варьировании главными размерениями.

После суммирования масс элементов корпуса вводится поправочный коэффициент, полученный из сопоставления расчетных данных с практическими.

Все прочие разделы и группы нагрузки в соответствии с ОСТом вычисляются по приближенным формулам, измерители в которых приняты автором на основании статистических исследований.

Целевое оборудование. Масса целевого оборудования определяется на основе выбора того или иного водолазного комплекса по его осредненным характеристикам (см. главу 1).

Запас водоизмещения принят 2,5% от полного водоизмещения.

Из результатов системного анализа следует, что по характеру обводов эти суда подобны судам обеспечения плавучих буровых установок, спасательным судам и буксирам. Поэтому для определения остаточного сопротивления можно воспользоваться аппроксимацией А.Н. Гуровича. Численная проверка показала необходимость корректировки этой зависимости, что и было сделано в главе 4.

Коэффициент сопротивления трения рассчитывается по формуле МКОб. Надбавка на сопротивление выступающих частей принимается равной 0,004. Площадь смоченной поверхности принималась по эмпирической формуле.

Общий пропульсивный к.п.д. вычислялся в функции коэффициента неравномерности потока, коэффициента влияния корпуса, коэффициента засасывания, к.п.д. валопровода и к.п.д. гребного винта, рассчитываемого по формуле Лаппа.

На основании расчета сопротивления и пропульсивного коэффициента определяется по заданной скорости требуемая мощность ЭУ

Остойчивость является ограничением, входящим в систему условий существования рассматриваемого судна.

Расчет начальной остойчивости учитывает наиболее неблагоприятную эксплуатационную ситуацию - с залитой водой рабочей площадкой (что при наличии относительно небольшого надводного борта в кормовой части является достаточно распространенным явлением) и водолазного колокола (подводного аппарата), находящегося в верхней позиции на СПУ (рампе).

Апplikата центра величины рассчитывается по формуле Эйлера, поперечный метацентрический радиус определяется по формуле Фан-дер-Флита, апplikата центра тяжести судна находится пересчетом с прототипа.

Расчетная метацентрическая высота определяется с поправками на условия эксплуатации.

Относительный запас плавучести определяется по формуле, использующую упрощенную модель корпуса. Кроме того, в работе проверяется требования к минимальному надводному борту в соответствии с Правилами о грузовой марке по модифицированной автором формуле.

Особенность экономического расчета эффективности СОГВР состоит в том, что стоимость комплекса оборудования обеспечения глубоководных работ сравним, а в некоторых случаях превосходит строительную стоимость самого судна.

Расчет стоимости несущей платформы может быть осуществлен двумя путями. В первом случае используется постатейный расчет нагрузки:

$$K_{\text{НП}} = C_K G_K + C_U G_U + C_C G_C + C_{ЭУ} N_{ЭУ} + C_{\text{МКО}} G_{\text{МКО}} + C_{ЭЛ} G_{ЭЛ} + C_{\text{ВР}} G_{\text{ВР}} \quad (17)$$

где $C_K, C_U, C_C, C_{\text{МКО}}, C_{ЭЛ}, C_{\text{ВР}}$ - цены 1 т корпусных конструкций, судовых устройств, судовых систем, оборудования машинно-котельного отделения, электрооборудования, вооружения соответственно; $C_{ЭУ}$ - цена 1 л.с. мощности энергетической установки; $G_K, G_U, G_C, G_{\text{МКО}}, G_{ЭЛ}, G_{\text{ВР}}$ - массы корпусных конструкций, судовых устройств, судовых систем, оборудования машинно-котельного отделения, электрооборудования, вооружения соответственно;



Рис. 5. Общая блок-схема математической модели

вых устройств, судовых систем, оборудования машинно-котельного отделения, электрооборудования, вооружения соответственно, $N_{ЭУ}$ - мощность энергетической установки.

Во втором случае используется нормы трудоемкости постройки.

Для расчета эксплуатационных показателей выбран сценарий, включающий переход к месту проведения операции, проведение водолазных работ и возвращение в порт приписки.

Общая блок-схема, показывающая порядок расчетов в математической модели проектирования судна обеспечения глубоководных водолазных работ показана на рис. 5. Расчеты мощности предшествует определение значений главных размерений в исследуемом диапазоне.

В третьей главе рассматривается программно-методический комплекс для проектного оптимизационного обоснования исследуемых судов..

Сформулированная в главе 1 задача оптимизации судна обеспечения глубоководных водолазных работ, математическая модель которого была рассмотрена в главе 2, является нелинейной. Для таких задач не существует универсальных способов решения. Поэтому в качестве алгоритма оптимизации был выбран комбинированный метод.

На первом этапе используется алгоритм случайного поиска, который доказал свою успешность во многих задачах, связанных с оптимизацией элементов судов.

Формула шага оптимизации алгоритма случайного поиска для непрерывных компонент вектора X имеет вид:

$$x_i = x_i^* + [(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}] \cdot Y^M \quad (18)$$

где x_i - i -й компонент вектора оптимизируемых переменных; x_i^* - i -й компонент, соответствующий предыдущему удачному шагу оптимизации; $(x_i)_{\max}$; $(x_i)_{\min}$ - границы диапазона допустимых значений x_i ; Y - случайная величина, принимающая любое значение на сегменте $[-1,1]$ с равной вероятностью; M - целое положительное нечетное число.

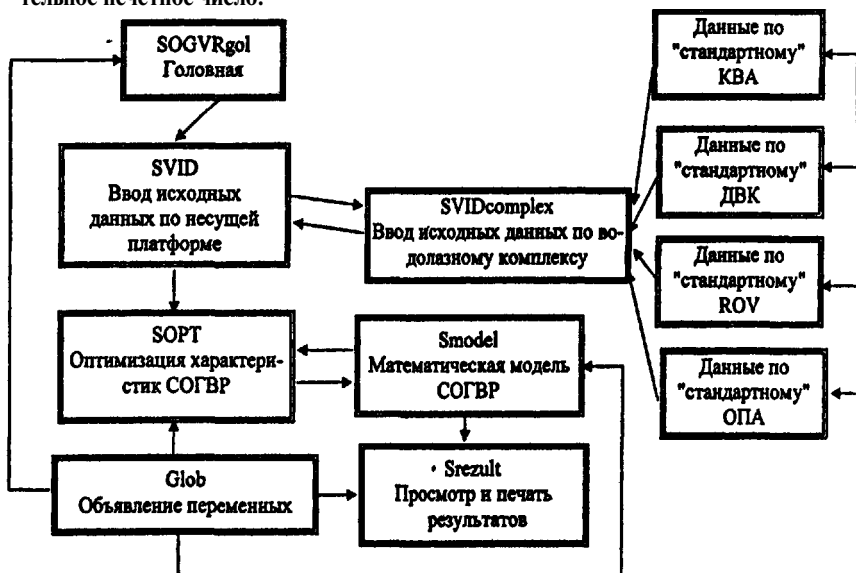


Рис.6. Архитектура программного комплекса оптимизационной методики проектирования СОГВП

Ускорение поиска оптимума возможно также и за счет процедуры, выбирающей очередную оптимизируемую переменную не в порядке нумерации, а с помощью специальной матрицы управления алгоритмом. Как показали вычислительные эксперименты, оптимальные решения всегда лежат на границе области допустимых решений, а алгоритмы случайного поиска плохо "отслеживают" границу. Поэтому на втором этапе оптимизации принимается релаксационный алгоритм Хука-Дживса

Формула преобразования компонент вектора X для $(m+1)$ -го шага в p -м цикле будет иметь вид:

$$x_i^{(p)} = x_i^{(p-1)} + \Delta_i^{(p)}, \quad i=1, \dots, n \quad (19)$$

где $\Delta_i^{(n)}$ - приращение i -й оптимизируемой переменной. Величина этого приращения и знак в преобразовании (21) меняются в зависимости от ситуации, возникающей в ходе поиска экстремума.

Программы, реализующие методику оптимизационного проектирования судна обеспечения глубоководных водолазных работ, выполнены на языке Pascal в системе программирования Delphi. Программы построены по модульному принципу, что позволяет легко их модернизировать. Межмодульный интерфейс построен на использовании глобальных переменных, что также облегчает сопровождение и модернизацию программного комплекса. Модули программного комплекса и межмодульные связи показаны на рис. 6.

Пользовательский интерфейс программного комплекса прост и интуитивно понятен. Он доступен пользователю-проектанту любой квалификации.

В четвертой главе исследуется разработанная оптимизационная методика проектирования рассматриваемых судов с целью ее всесторонней проверки.

Необходимым этапом разработки оптимизационной методики проектирования судна любого типа, является проверка математической модели, лежащей в ее основе, на адекватность. Трудность заключается в скудости исходных данных по судам рассматриваемого типа, поскольку все эти суда зарубежной постройки.

Поэтому проверка адекватности модели проводилась в несколько этапов. На первом этапе проверялась корректность расчетов весовой нагрузки и ходкости как основополагающих.

Формула для расчета удельного сопротивления был откорректирован показатель степени (по сравнению с формулой главы 2):

$$\frac{r}{D} = 10^{7,0Fr - 1,8} \quad (20)$$

Для верификации модели в части расчетов весовой нагрузки был использован проект 11980 - водолазное судно.

Основные характеристики этого проекта, важные для сопоставления: скорость - 14 уз; автономность по запасам - 10 суток, экипаж - 25 человек; длина по КВЛ - 39,0 м; ширина по КВЛ - 8,40 м; осадка по КВЛ - 2,40 м; высота борта - 3,80 м.; коэффициент общей полноты - 0,553.

Результат расчета приведен в табл. 4..

Таким образом, математическая модель судна обеспечения глубоководных водолазных работ, разработанная в диссертации может быть использована для проектного сопоставительного анализа характеристик судов указанного типа.

Для проверки адекватности модели в режиме оптимизации было выполнено сопоставление с судном ROV/DSV "Merlin". Результаты сопоставления приведены в табл. 5.

Полученные главные размерения хорошо согласуются с характеристиками судна водолазного обеспечения "Merlin".

Результат работы алгоритма, т.е. характеристики судна, полученные в данной гипотетической технико-экономической ситуации по разработанной математической модели подтверждают как работоспособность принятого алгоритма оптимиза-

ции, так и возможности осуществления проектного анализа с помощью разработанной оптимизационной методики.

Таблица 4.

Верификация модели по весовой нагрузке

Наименование раздела нагрузки	пр. 11980, т	Модель, т	Δ , %
Корпус	2263	245,5	8
В том числе:			
Металлический корпус	156,8	180,8	15
Подкрепления и фундаменты	8,4	9,6	14
Дельные вещи	73	9,0	31
Неметаллические части	0,6	2,3	280
Окраска и протекторы	4,0	4,9	22
Изоляция	25,1	15,2	39
Покрывтия и цементировка	6,8	6,5	4
Оборудование помещений	17,1	17,2	1
Устройства судовые	32,5	27,4	16
Системы	32,1	22,9	29
Энергетическая установка	39,9	35,8	10
Электроэнергетическая система	37,1	29,3	21
Вооружение	6,4	1,2	81
Постоянные жидкие грузы	3,9	7,4	90
Запасные части + Снабжение	9,8	2,2	77
Экипаж, провизия вода	8,2	29,5	260
Всего по сумме сопоставляемых статей	396,2	401,2	1
Δ, % - относительная погрешность в процентах			

Таблица 5.

Анализ результатов оптимизации по математической модели

Характеристика	"Merlin" !	Модель
<i>Задаваемые условия проведения спасательных работ</i>		
Длительность спасательной операции, сут	40	40
Удаление района спасательных работ от порта приписки СОГВР, мили	200	200
<i>Задаваемые экономические параметры</i>		
Стоимость тонны корпусных конструкций, USD	1400	1400
Стоимость одной л.с. энергетической установки, USD	600	600
Стоимость тонны электрооборудования, USD	3400	3400
Годовая средняя зарплата члена экипажа, USD	36000	36000
Стоимость фрахта с учетом работ, USD	60000	60000
Стоимость комплекса водолазного оборудования, USD	8000000	8000000
Срок окупаемости СОГВР, годы	5	5
<i>Техническое задание на несущую платформу</i>		
Скорость хода, уз	12	12
Дальность плавания, мили	3000	3000
Автономность по запасам, сутки	48	48
Численность экипажа, чел	32	32
Вес водолазного комплекса, т	200	200
Количество контейнеров с оборудованием в ряд по длине	1	1
Вес водолазного колокола, т	10	10

Наличие крана	есть	есть
Наличие рамп	есть	есть
Минимально возможная относительная метацентрическая высота	0,01	0,01
Минимальный относительный запас плавучести	0,16	0,24
Минимально допустимая площадь рабочей площадки, м ²	270	260
<i>Результаты оптимизации</i>		
Полное водоизмещение, т	2139	2073
Длина между перпендикулярами, м	56,63	57,60
Ширина, м	12,25	12,00
Осадка в полном грузу, м	4,70	4,50
Высота борта на миделе, м	5,30	5,36
Строительная стоимость, USD	-	11.061.000
Эксплуатационные расходы за год, USD	-	6840020
Годовая прибыль, USD	-	3823000
Примечание. Курсивом выделены данные, назначаемые для прототипа ввиду отсутствия информации		

Для оценки устойчивости разработанной математической модели, т.е. изучение поведения модели при смене исходных данных, были проведены дополнительные вычислительные эксперименты.

Пример 1 - типичное среднее судно снабжения/обеспечения водолазных работ с установленным мобильным водолажным комплексом кратковременного пребывания, с обеспечением спусков на воздухе (на глубинах до 80 м)

Пример 2 - судно-носитель подводного аппарата / спасательное судно. Также в ТЗ для проектирования данного судна указана повышенная площадь рабочей площадки (300 м²), т.к. для выполнения спасательных функций может быть необходимым дополнительное оборудование.

Пример 3 - расчет выполнен по прототипу, в качестве прототипа выбрано судно обеспечения водолажных работ Mystic Viking со стационарным водолажным комплексом, обеспечивающим погружение на газовых смесях до 320 м и обеспечивающего работу методом долговременного пребывания.

С помощью разработанной математической модели можно провести ряд исследований, направленных на получение дополнительных зависимостей, которые могут быть использованы на начальных стадиях проектирования судов водолазного обеспечения.

Рассмотрим коэффициент утилизации по чистой грузоподъемности СОГВР в зависимости от веса водолажного комплекса.

Условия проведения спасательной операции и общие требования к несущей платформе оставим такими же как и при сопоставлении с судном "Merlin". По результатам расчетов получена формула:

$$P_{\text{компл}} / D = 0,062 + 78 \cdot - 0,0008P_{\text{компл}} \quad (21)$$

Анализ изменения коэффициента утилизации показывает, что экономия на характеристиках несущей платформы при использовании более легких водолажных комплексов незначительна. Поэтому следует проектировать суда с возможностью последующей установки самого мощного водолажного оборудования. Рассмотрим влияние скорости хода и удаленности района, спасательных работ на приносимую прибыль. Требования к кораблестроительным элементам те же, что и для СОГВР

"Merlin", но предполагается оборудование обитаемым подводным аппаратом. Результаты анализа устойчивости к вышеперечисленным характеристикам приведены на рис.7.

Из графика на рис.7 можно сделать выводы, что при существующем соотношении между ценой суточного фрахта и стоимостью топлива, коммерческие СОГВР

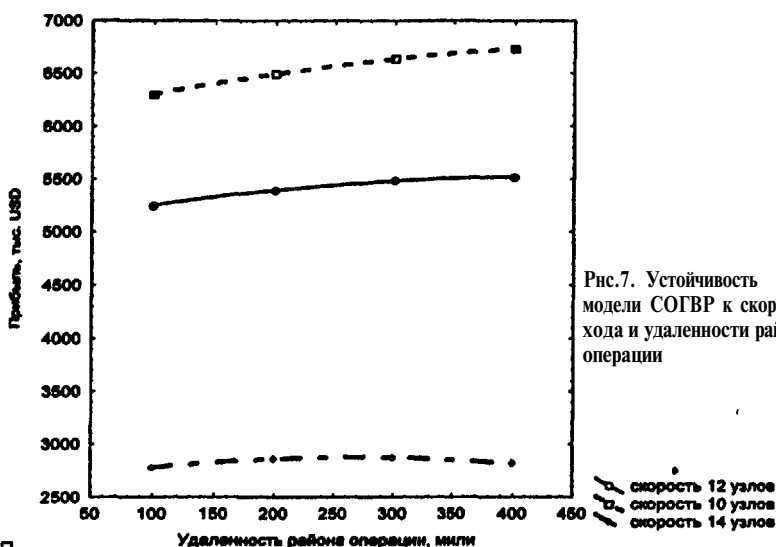


Рис.7. Устойчивость модели СОГВР к скорости хода и удаленности района операции

должны иметь минимальную скорость хода, при этом удаленность района операции (в разумных пределах) благоприятно сказывается на прибыли. С увеличением скорости хода и возрастанием расхода топлива, появляется зона оптимальной, с точки зрения прибыльности, удаленности района проведения водолазной операции. Так. При скорости хода 14 узлов оптимальная дальность составит 200... 300 миль

Анализ полученных результатов показывает, что разработанная математическая модель судна обеспечения глубоководных водолазных работ пригодна для использования на начальных стадиях проектирования судов данного типа и может служить инструментом проектных исследований.

В этой главе рассматриваются также использование результатов диссертационной работы, о которых упоминалось в разделе "Практическая ценность" автореферата. Детально описывается водолазный комплекс, установленный на ледоколе "Капитан Гнатюк"

Водолазный комплекс обеспечивает в штатном режиме работу и декомпрессию двух групп водолазов по 2 человека в сухом или водообогреваемом снаряжении на глубинах до 80 м. Запас воздуха комплекса (1500 л при давлении 200 атм) позволяет осуществлять декомпрессию водолазов по всем "воздушным" режимам даже при полном обесточивании комплекса и отказе основного и резервного дизель-генератора. При подключении дополнительных групп баллонов возможно осуществление декомпрессии на газовых смесях. Также, поскольку комплекс изготовлен на

базе поточно-декомпрессионной барокамеры ПДК-2 большой вместимости, в аварийном режиме возможна декомпрессия до 8 человек, причем в 2 отсеках по разным режимам независимо. Данный комплекс является самым большим и совершенным водолазным комплексом, установленным в последнее время на суда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного диссертационного исследования получены следующие результаты:

1. Разработана новая оптимизационная методика проектирования судов обеспечения глубоководных работ и спасательных операций, базирующаяся на системном анализе судов данного типа. Созданная методика является инструментом проектных исследований как для обоснования основных характеристик судов водолазного обеспечения, так и для выявления оптимальных технико-экономических параметров эксплуатации. Методика может использоваться также для обоснований при переоборудовании судов других назначений в суда обеспечения водолазных работ. Методика удобна на начальных стадиях проектирования, показала хорошую работоспособность и получила практическое применение.
2. Адаптирована процедура расчета вместимости и остойчивости применительно к исследуемому типу судна. Проведено обоснование рациональной схемы общего расположения и архитектурно-конструктивной схемы судна обеспечения глубоководных работ.
3. Создана модель экономической эффективности судна обеспечения глубоководных работ, учитывающая результаты маркетинговых исследований рынка использования таких судов на Западе. Адаптирована методика определения постройочной стоимости с учетом стоимости оборудования насыщения.
4. Проведен статистический анализ проектных характеристик построенных проектов судов исследуемого типа. Получены зависимости для определения основных характеристик судна, которые исследуются в качестве ограничений области оптимизационного расчета.
5. Реализован логико-программный продукт, осуществляющий расчеты в соответствии с разработанной методикой, который позволяет провести численные эксперименты на представленной оптимизационной модели. Показанные примеры иллюстрируют чувствительность и адекватность программного комплекса. Намечены пути применения разработанного программного комплекса на последующих стадиях проектирования.

Публикации

Основное содержание исследования изложено в следующих публикациях:

1. Постановка оптимизационной задачи при проектировании судов для водолазных и спасательных работ / материалы международной конференции "Моринтех -2003", СПб, НИЦ "Моринтех" 2003, с.46 - 47

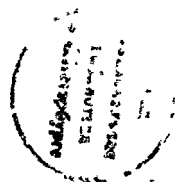
2. Задача компоновки судна обеспечения глубоководных водолазных работ / материалы международной конференции "Моринтех -2001", СПб, НИЦ "Моринтех" 2001с.29
3. Использование системы уравнений В.Л. Позднина при проектировании кораблей / труды конференции по морским интеллектуальным технологиям "Моринтех-Юниор 2000", СПб, НИЦ "Моринтех" 2000, 17-18
4. Водолазные суда - современные принципы конструирования //"Водолазное дело", 2002, №1, с. 4 - 6
5. Суда обеспечения водолазных работ / труды конференции по морским интеллектуальным технологиям "Моринтех-Юниор 2002", СПб, НИЦ "Моринтех" 2002, с.14-16
6. Нормобарические водолазные скафандры //"Водолазное дело", 2001, №3, с.39-43
7. Проблемы совершенствования проектных характеристик судов и плавучих установок для обеспечения глубоководных работ.// Труды конференции по морским интеллектуальным технологиям "Моринтех-Юниор 2004, СПб., НИЦ "Моринтех" 33-34
8. Концепция и модель сложноструктурной компоновки быстроходных кораблей // сборник докладов международной конференции "Моринтех -1999", СПб, НИЦ "Моринтех" 1999, с.76 -77 (в соавторстве с Кочаровым М.А., Ляховицким А.Г., Шагидановым В.И., Царевым Б.А.).
9. Тенденции архитектурных решений при проектировании перспективных малых кораблей / сборник докладов международной конференции "Моринтех -1999", СПб, НИЦ "Моринтех" 1999, с. 98 - 101 (в соавторстве с Кутеневым А.А., Суровым М.А., Шагидановым В.И., Царевым Б.А.).
10. Концептуальные вопросы проектирования спасательных судов и обеспечения безопасности мореплавания.// Сб. Докладов конференции по безопасности. СПб., Академия ракетных и артиллерийских наук, 2003, с. 330 - 334 (в соавторстве с Григорьевым П.С., Егоровым В.А., Царевым Б.А.).



ИЦ СПбГМТУ, Лоцманская, 10
Подписано в печать 21.03.2005. Зак. 2905. Тир. 100. 1,4 печ. л.

05.07 - 05.08

19 МАЙ 2005



1400