

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ

Г.Ю. Илларионов, А.А. Карпачёв, Д.С. Яцков

Разработанная в Тихоокеанском высшем военно-морском училище имени С.О. Макарова система исследовательского автоматизированного проектирования (СИАП) безэкипажных катеров (БЭК) предназначена для научных исследований в области анализа тактико-технических характеристик БЭК со сменной модульной полезной нагрузкой. Раскрывается метод организации исходных данных в системе исследовательского автоматизированного проектирования безэкипажного катера, используемого в программном обеспечении, реализованном на языке Visual Basic for Application. Разработана методика расчета основных параметров проекта БЭК с выполнением заданных требований. Представлена математическая модель безэкипажного катера с использованием оценочных функций нескольких групп частных критериев.

Ключевые слова: безэкипажный катер, морской робототехнический комплекс, система исследовательского автоматизированного проектирования, элемент нагрузки, модульная полезная нагрузка, моделирование безэкипажного катера, функциональная математическая модель.

Введение

В настоящее время всё большее распространение получают безэкипажные катера (БЭК) [1, 2]. За рубежом такие морские аппараты обозначаются аббревиатурой *USV (Unmanned Surface Vehicle / Vessel)*, необитаемое надводное транспортное средство. Такие страны, как США, Великобритания, Израиль и ряд других государств создают не только отдельные образцы, но и группировки БЭК. ВМС США руководствуются действующим с 2007 г. планом развития БЭК на период до 2030 г. («*The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan*»), в котором определены их основные задачи [3]: противодействие минной угрозе; борьба с подводными лодками и надводными кораблями; поддержка действий сил специальных операций; охрана и оборона судов и других объектов в портах и на рейдах; выполнение широкого круга задач борьбы с терроризмом на море; выполнение задач подводного поиска; выполнение задач противодиверсионной борьбы. Особенно явно БЭК проявили себя в условиях специальной военной операции на Черном море.

В России в связи с разработками, проводимыми по созданию морских робототехнических комплексов (МРТК) военного, специального и двойного назначения становится актуальным вопрос о создании

своих отечественных БЭК. В этой связи актуальной задачей является создание специализированной системы автоматизированного проектирования (САПР) безэкипажных катеров.

В настоящее время существует множество доступных САПР [4, 5, 6], каждая из которых имеет специальные функции, которые иногда делают её подходящей для конкретного применения. Разрабатываемая в Тихоокеанском высшем военно-морском училище имени С.О. Макарова система исследовательского автоматизированного проектирования (СИАП) БЭК предназначена в первую очередь для научных исследований в области анализа тактико-технических характеристик БЭК со сменной модульной полезной нагрузкой [5, 7].

1. Метод организации исходных данных в системе исследовательского автоматизированного проектирования безэкипажного катера

В соответствии с методологией системного подхода БЭК рассматривается в СИАП как сложная система, состоящая из ряда подсистем более низкого уровня. В свою очередь, данные подсистемы могут содержать функциональные модули, по отношению к которым компонентами более низкого уровня яв-

ляются различные конструктивные узлы (антенны, приборы, датчики и т. д.). Все они согласно методологии СИАП названы элементами нагрузки. Элемент нагрузки (ЭН) – это первичный элемент в структуре СИАП. Множество ЭН, из которого формируются

все возможные проекты БЭК, образуют базу данных СИАП. База данных ЭН СИАП БЭК представляет собой рабочий лист «База данных» файла СИАП_БЭК.xlsm. Она представляет собой список связанных данных (с заданным диапазоном ячеек в виде табли-

Таблица 1

Фрагмент базы данных элементов нагрузки безэкипажного катера

Регистрационный номер	Наименование элемента нагрузки	Количество элементов нагрузки	Номера подчиненных элементов нагрузки	Признак полезного элемента нагрузки	Код расположения элемента нагрузки	Стоимость элемента нагрузки, руб. $\times 10^6$	Высота ЦТ элемента нагрузки над основной плоскостью, м	Масса элемента нагрузки, кг	Объем элемента нагрузки, дм^3	Потребляемая мощность элемента нагрузки, Вт	Длительность цикла работы элемента нагрузки, ч	Количество циклов работы элемента нагрузки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Корпусные конструкции												
1	Корпус	1	2, 3, 4; 9–11	–	–	Р	Р	Р	–	–	–	–
2	Надстройка	1	–	–	Н	Р	Р	Р	–	–	–	–
3	Арка (мачта)	1	17–29,	–	А	Р	Р	Р	–	–	–	–
Энергетическая установка												
4	Двигатель + системы	1	5	–	K_k	Р	0,62	Р	Р	–	–	–
5	ЭЭС + АБ	1	–	–	K_c	1,2	0,4	120	25	–	–	–
6	Топливная цистерна	1	7	–	K_c	0,4	Р	Р	Р	–	–	–
7	Запас топлива	1	–	–	K_c	Р	Р	Р	Р	–	–	–

Служебные поля

Поле 1 – «Регистрационный номер элемента нагрузки» – представляет собой порядковый номер ЭН и является ключом при поиске данного элемента и обработке его полей в базе данных.

Поле 2 – «Наименование элемента нагрузки» – содержит ряд буквенных символов и представляет собой краткое словесное наименование ЭН (или аббревиатуру его наименования).

Поле 3 – «Количество элементов нагрузки» – обозначает количество ЭН данного наименования в проекте БЭК.

Поле 4 – «Номера подчиненных элементов нагрузки» – обозначает регистрационные номера тех ЭН, которые в обязательном порядке сопутствуют впереди стоящему элементу, являющемуся для них старшим по иерархическому принципу. Если какой-либо вышестоящий ЭН отобран в проект БЭК, то подчиненные ему нижестоящие номера ЭН также включаются в проект.

Поле 5 – «Признак полезного элемента нагрузки» – своим кодом «П» определяет принадлежность данного ЭН к совокупности полезной нагрузки БЭК.

Адресное поле

Поле 6 – «Код месторасположения элемента нагрузки» – обозначает кодировку места в корпусе, в надстройке, на палубе и на арке БЭК, куда должен распределиться данный ЭН. Всего имеется 4 места адресации ЭН на БЭК: внутри надстройки БЭК (код «Н»); на палубе БЭК (код «П»); на арке (мачте) БЭК (код «А»); внутри корпуса БЭК (код «К»).

Поля данных

Поле 7 – «Стоимость элемента нагрузки» – выражает приблизительную стоимость данного ЭН в рублях.

Поле 8 – «Высота элемента нагрузки» – выражает высоту данного ЭН над основной плоскостью катера в метрах.

Поле 9 – «Масса элемента нагрузки» – обозначает массу этого ЭН (в килограммах).

Поле 10 – «Объем элемента нагрузки» – обозначает объем одного ЭН (в кубических дециметрах, дм^3).

Поле 11 – «Потребляемая мощность элемента нагрузки» – обозначает мощность потребляемой электрической энергии данным ЭН (в ваттах).

Поле 12 – «Длительность цикла работы элемента нагрузки» – обозначает математическое ожидание длительности одного цикла работы данного ЭН в энергопотребляющем режиме (в часах). Если в этом поле встречается код «ПА» – данный ЭН потребляет энергию в течение полной автономности БЭК.

Поле 13 – «Количество циклов работы элемента нагрузки» – обозначает математическое ожидание количества циклов работы данного ЭН в течение полной автономности БЭК.

Поля данных 7–13 перед цифровой частью кода могут иметь буквенный код, обозначающий источник возникновения численного значения параметра:

код «П» – получено по прототипу; код «Э» – получено в результате экспертной оценки; код «Р» – получено в результате расчета. по одной из программ, входящих в библиотеку расчетных методик СИАП БЭК [5, 8].

цы), в котором строки данных являются записями, а столбцы – полями. Первая строка списка содержит заголовки всех столбцов. Каждый столбец является полем базы данных с заголовком столбца, например «Масса ЭН» или «Объём ЭН», задающее положение столбца в записи, например, 9-й для поля «Масса ЭН» и 10-й для поля «Объём ЭН». База данных ЭН представлена в виде табл. 1 и по своему содержанию состоит из следующих разделов: корпусные конструкции; энергетическая установка; системы обеспечения живучести; движительно-рулевой комплекс; приборы, антенны и блоки радиоэлектронной аппаратуры; гидроакустические антенны; модули полезной нагрузки; дельные вещи. Каждая запись базы данных СИАП имеет три группы полей: служебные, адресные и информационные [8].

2. Формализация условий существования и функционирования проекта безэкипажного катера

Для описания проекта БЭК на начальном этапе в диалоговом режиме вводятся следующие параметры: T – тип БЭК (семь типов катеров разного назначения); T_k – тип корпуса БЭК (1 – классический глиссер 1; 2 – классический глиссер 2; 3 – морские сани; 4 – тримаран 1; 5 – тримаран 2; 6 – резерв); T_m – тип материала корпуса БЭК (1 – стеклопластик; 2 – углепластик; 3 – композит; 4 – алюминий); $T_{пд}$ – принцип движения БЭК (1 – глиссер; 2 – на подводных крыльях); $T_{двж}$ – тип движителя БЭК (1 – гребной винт с колонкой; 2 – водомётный движитель).

По заданным параметрам производится отбор ЭН в проект БЭК. Первый этап отбора ЭН в проект БЭК формализован управляющей таблицей (табл. 2),

Таблица 2

Таблица типов БЭК

Наименование БЭК	Номера постоянных ЭН	Номера ЭН, вводимых в диалоговом режиме	
БЭК первого типа	1–7; 9–11; 15; 17–31; 60, 62	8; 12; 16; 32; 33; 58; 59; 61	37, 58
БЭК второго типа			37–41; 45; 48; 49; 54; 55
БЭК третьего типа			37–41
БЭК четвертого типа			35–41; 45; 46; 48–50
БЭК пятого типа			34; 36–42; 45; 46
БЭК шестого типа			37–41; 45–52
БЭК седьмого типа			37–39; 43; 44

где для каждого типа катера T из базы данных были отобраны ЭН, предназначенные для проектирования катеров данного типа. Номера выбранных ЭН образуют кортеж номеров $S(T)$. В таблице типов БЭК все ЭН разбиваются на две группы: ЭН, автоматически (постоянно) включенные в проект катера; ЭН, предлагаемые проектанту на выбор в диалоговом режиме.

Таблица 3

Главные размерения корпусов БЭК

Тип корпуса БЭК		Главные размерения и грузовой размер				Функция $V = f(T)$
		L	B	H	T	
1	Классический глиссер 1	9,0	2,2	1,2	0,5	Функция $V_1 = f(T_1)$
2	Классический глиссер 2	8,0	2,5	1,35	0,6	Функция $V_2 = f(T_2)$
3	Морские сани	9,0	4,35	1,9	0,7	Функция $V_3 = f(T_3)$
4	Тримаран 1	10,4	3,6	1,6	0,6	Функция $V_4 = f(T_4)$
5	Тримаран 2	10,0	2,4	1,7	0,65	Функция $V_5 = f(T_5)$

Таблица 4

Расчетные параметры и коэффициенты корпусов БЭК

Тип корпуса БЭК		Расчетные параметры и коэффициенты					
		a	c	A	b	F_a	$V_{вн}$
1	Классический глиссер 1	1,0	0,3	0,231	0,015	4,2	8,4
2	Классический глиссер 2	1,04	0,34	0,288	0,013	4,7	7,6
3	Морские сани	1,83	0,22	0,192	-0,035	8,9	24,8
4	Тримаран 1	0,85	0,45	0,21	-0,008	7,0	19,6
5	Тримаран 2	0,15	0,18	0,252	-0,086	5,8	14,2

Главные размерения корпусов БЭК определяются следующими геометрическими и проектными характеристиками (таблицы 3 и 4): L – длина корпуса, м; B – наибольшая ширина корпуса, м; H – средняя высота борта, м; a – расстояние от середины корпуса до скоса по горизонтали, м; c – расстояние от середины корпуса до скоса по вертикали, м; A и b – коэффициенты в формуле для расчёта T_{oc} – средней осадки корпуса; F_a – площадь проекции на плоскость мидель шпангоута контура БЭК, м²; $V_{вн}$ – внутренний полезный объём корпуса, м³.

3. Расчёт основных параметров безэкипажного катера в системе исследовательского автоматизированного проектирования

К основным расчётным параметрам проекта БЭК относятся: M – масса БЭК, кг; $V = M/\rho_{вод}$ – водоизмещение БЭК, м³, где $\rho_{вод} = 1020$ кг/м³ – плотность

морской воды. Существование БЭК как плавающего самоходного объекта предполагает выполнение следующих требований: обеспечение плавучести БЭК; обеспечение вместимости объемов ЭН в объем корпуса БЭК; обеспечение заданной скорости движения; обеспечение заданной автономности; обеспечение условий равновесия для заданной посадки; обеспечение устойчивости. Обеспечение плавучести БЭК достигается равенством $M = \rho_{\text{вод}} \cdot V$. Обеспечение остальных требований в основном зависит от массы БЭК, которая складывается из масс ЭН (поле «9»), составляющих данный проект:

$$M = \sum_{n \in S(\bar{T})} M_n; \quad M_n = БД[n, 9].$$

Массы: двигателя и его систем $M_{\text{дв}}$, топлива $M_{\text{топ}}$, топливной цистерны $M_{\text{цист}}$ и движителя $M_{\text{движ}}$ зависят от массы БЭК. Номера этих ЭН записываются в отдельный массив $S_0 = \{4; 6; 7; 13; 14\}$. Также массы некоторых ЭН выбираются из управляющих таблиц по типу корпуса T_k (от 1 до 7) и типу материала корпуса T_m . Обеспечение заданной скорости движения и автономности БЭК осуществляется предоставлением проектанту возможности задания параметров: v_0 – условная скорость на холостом ходу (дрейф), уз; v_1 – скорость на малом ходу, уз; v_2 – скорость на среднем ходу, уз; v_3 – скорость на полном ходу, уз; t_0 – среднее время движения на холостом ходу, ч; t_1 – среднее время движения на малом ходу, ч; t_2 – среднее время движения на среднем ходу, ч; t_3 – среднее время движения на полном ходу, ч. Для дальнейшего удобства указанные параметры объединяются в векторы:

$$\bar{v} = (v_0, v_1, v_2, v_3); \quad \bar{t} = (t_0, t_1, t_2, t_3).$$

Далее определяются дальность хода и автономность БЭК:

$$D = \sum_{i=1}^3 v_i \cdot t_i; \quad t_A = \sum_{i=1}^4 t_i. \quad (1)$$

Таким образом, массу БЭК можно задать уравнением в неявном виде:

$$M = M_0(\bar{T}) + M_{\text{дв}}(M, v_3) + M_{\text{топ}}(M, \bar{v}, \bar{t}) + M_{\text{цист}}(M_{\text{топ}}) + M_{\text{движ}}(M, \bar{v}, \bar{t}). \quad (2)$$

Из уравнения (2) находится значение массы БЭК, которое используется для расчёта масс двигателя, топлива, топливной цистерны и движителя. Массу двигателя можно определить по формуле:

$$M_{\text{дв}} = N / c_N,$$

где c_N – коэффициент удельной мощности по массе, кВт/кг; N – мощность двигателя, кВт. В СИАП сле-

дано допущение о том, что коэффициент c_N линейно зависит от мощности двигателя $c_N = 0,0005 \cdot N + 0,4$.

В свою очередь, мощность двигателя рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{R \cdot v}{1000 \cdot \eta} \text{ кВт}, \quad (3)$$

где R – сила сопротивления БЭК, Н; v – скорость хода БЭК, м/с; $\eta = 0,5$ – пропульсивный коэффициент. Для расчета силы сопротивления БЭК используется формула, разработанная в НИИВТ [9, 10]:

$$R(v) = \frac{\rho_{\text{вод}} \cdot v^2}{2} \cdot \xi_z \cdot \left(\frac{M}{\rho_{\text{вод}}} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{\rho_a \cdot v^2}{2} \cdot \xi_A \cdot F_a, \text{ Н}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{вод}} = 1020 \text{ кг/м}^3$ – массовая плотность воды; ξ_z – коэффициент гидродинамического сопротивления; $\rho_a = 1,25 \text{ кг/м}^3$ – массовая плотность воздуха; $\xi_A = 0,55$ – коэффициент аэродинамического сопротивления, который, по предложению А.М. Басина рекомендуется применять в пределах 0,5–0,6; F_a – площадь проекции на плоскость мидель шпангоута корпуса катера, м² (рассчитывается по реальным размерам с чертежа БЭК и заносится в таблицу типов корпусов БЭК). Коэффициент ξ_z зависит от величины безразмерного числа Фруда и вычисляется по формуле:

$$\xi_z = 0,014 + 0,166 \cdot \exp(-0,62 \cdot (F_r - 0,48)^2),$$

где: $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; M – масса БЭК, кг; v – скорость хода БЭК, м/с (в СИАП скорость в узлах, т.е. $v = 0,5144 \cdot v_k$).

Вычисления по расчёту мощности реализованы в функции `Npower`. Масса топлива $M_{\text{топ}}$, как ЭН складывается из $M_{\text{топ}}^{(1)}$ – массы топлива, необходимой для обеспечения автономности БЭК, $M_{\text{топ}}^{(2)}$ – массы топлива, необходимой для обеспечения работоспособности ЭН, потребляющих дополнительную мощность и массы топлива на буксировку объекта (в случае его задания):

$$M_{\text{топ}} = M_{\text{топ}}^{(1)} + M_{\text{топ}}^{(2)} + M_{\text{топ}}^{(3)}.$$

Далее можно вычислить расход топлива, сложив расходы каждой скорости хода v_i с учетом их времени движения и мощностей $N_i = \text{Npower}(T_k, M, v_i)$:

$$M_{\text{топ}}^{(1)} = M_{\text{топ}}^{(1)}(M, \bar{v}, \bar{t}) = \sum_{i=0}^3 t_i \cdot G_i \cdot \text{Npower}(T_k, M, v_i). \quad (5)$$

Для определения массы $M_{\text{топ}}^{(2)}$ формируется множество номеров ЭН, потребляющих мощность (ненулевую), приведённую в поле «11»:

$$S_W = \{n \in S(\bar{T}) : БД[n, 11] > 0\}.$$

Среди номеров ЭН из этого множества, в свою очередь, могут оказаться ЭН, имеющие в поле «12» код «ПА» (при этом в поле «13» всегда указывается значение – 1 цикл), т. е. потребляющие мощность в течение полной автономности, а значит, значение этого поля следует изменить на величину полной автономности БЭК. Дополнительная мощность энергопотребления ЭН из множества S_W определяется по формуле:

$$N_W = \sum_{n \in S_W} w_n \cdot \tau_n \cdot q_n, \quad (6)$$

где w_n – потребляемая мощность (значение поля «11»), Вт; τ_n – длительность одного цикла (значение поля «12»), ч; q_n – количество циклов (значение поля «13»).

Для расчёта дополнительного расхода топлива на буксировку какого-либо объекта (в случае его задания) проектировщик в диалоге вводит следующие данные: v_B – скорость буксировки, уз; t_B – время буксировки, ч; R_B – сила сопротивления буксируемого объекта, Н. Дополнительная мощность двигателя на буксировку, переводя скорость v_B в размерность м/с, определяется по формуле:

$$N_B = \frac{R_B \cdot v_B \cdot 0,5144}{1000 \cdot \eta} \text{ кВт}; \quad (\eta = 0,5).$$

Теперь можно вычислить массу топлива на буксировку объекта:

$$M_{\text{мон}}^{(3)} = t_B \cdot G_B \cdot N_B,$$

где коэффициент удельного расхода топлива по мощности $G_B = 0,23$.

Итак, общая масса топлива будет выражаться формулой:

$$M_{\text{мон}}(M, \bar{v}, \bar{t}) = M_{\text{мон}}^{(1)}(M, \bar{v}, \bar{t}) + M_{\text{мон}}^{(2)}(\bar{t}) + M_{\text{мон}}^{(3)}(t_B, v_B, R_B).$$

Теперь можно рассчитать объём топлива:

$$V_{\text{мон}} = \frac{M_{\text{мон}}}{\rho_{\text{мон}}}, \quad \text{дм}^3,$$

где $\rho_{\text{мон}} = 0,85 \text{ кг} / \text{дм}^3$ – плотность дизельного топлива.

Обеспечение условий равновесия осуществляется расчётом осадки корпуса БЭК. В СИАП БЭК каждому типу корпуса соответствует свой грузовой размер, который представляет собой кривую водоизмещения со шкалой. По этой шкале отмечают водоизмещение V , осадку $T_{\text{ос}}$, грузоподъемность и высоту надводного борта катера. Осадку корпуса определяется по формуле:

$$T_{\text{ос}} = A \cdot \sqrt{V} + b,$$

где коэффициенты A и b выбираются из строки таблицы, соответствующей типу корпуса БЭК. Кроме того, в этой же таблице представлен и внутренний (полезный) объём корпуса катера $V_{\text{вн}}$. При расчете проекта БЭК его осадка $T_{\text{ос}}$ не должна превышать 45% от высоты его борта H . Иначе проектировщику необходимо удалить некоторые ЭН или изменить варьируемые параметры.

4. Представление обобщённой функциональной модели безэкипажного катера в инвариантной форме

Для представления математических моделей обычно используются следующие основные формы: инвариантная, алгоритмическая, аналитическая и графическая. Инвариантная форма предполагает запись соотношений модели с помощью традиционных математических объектов независимо от метода решения уравнений модели. Приведенные выше уравнения, формализующие основные условия существования и функционирования БЭК, позволяют применить для представления обобщенной модели БЭК инвариантную форму. Процесс построения математической модели БЭК начинается с задания вектора входных проектных варьируемых параметров [7, 8]:

$$\bar{X} = (\bar{T}, \bar{v}, \bar{t}, \bar{K}),$$

где вектор \bar{K} содержит все рабочие коэффициенты.

К параметрам, зависящим от вектора \bar{X} , относятся: дальность; автономность; масса БЭК; мощность двигателя; масса топлива; масса движителя; осадка корпуса; масса полезной нагрузки, коэффициент заполнения корпуса и поперечная метацентрическая высота. Указанные зависимые параметры объединяются в один вектор \bar{Y} , вектор выходных проектных параметров:

$$\bar{Y} = (D, t_A, M, N, M_{\text{мон}}, M_{\text{движ}}, M_{\text{ПН}}, T_{\text{ос}}, \xi, h).$$

Для установления зависимости между компонентами вектора \bar{X} и компонентами вектора \bar{Y} используются уравнения (1)–(6). Величина M – масса БЭК – определяется из уравнения (2) методом итераций. Далее по величине массы M с использованием алгоритмических функций вычисляются все параметры, входящие в вектор \bar{Y} . Эти функции были реализованы в виде программных модулей книги «СИАП.xmlsm». Таким образом, устанавливается связь между параметрами вектора \bar{X} и параметрами вектора \bar{Y} .

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{X} &= (\bar{T}, \bar{v}, \bar{t}, \bar{K}); \\ D &= \sum_{i=0}^3 v_i \cdot t_i; \quad t_A = \sum_{i=0}^3 t_i; \\ M &= \text{MassaCatera}(\bar{X}, D, t_A); \quad N = \text{Npower}(M, \bar{X}); \\ M_{\text{мон}} &= \text{Mtopavto}(M, \bar{X}); \quad M_{\text{движ}} = \text{MassaMov}(N, \bar{X}); \\ M_{\text{ин}} &= \text{MassaUse}(M, \bar{X}); \quad T_{\text{ос}} = \text{Osadka}(M, \bar{X}); \\ \xi &= V_{\text{вн}}(\bar{X}) / \text{UseVolume}(M, \bar{X}); \\ h &= \text{Metacentre}(M, \bar{X}); \\ \bar{Y} &= (D, t_A, M, N, M_{\text{мон}}, M_{\text{движ}}, M_{\text{ин}}, T_{\text{ос}}, \xi, h). \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Для получения законченной математической модели БЭК необходимо дополнительно выбрать оценочные функции, зависящие от параметров векторов \bar{X} и \bar{Y} и характеризующие свойства проекта БЭК. В СИАП БЭК в качестве оценочных функций используются три группы частных критериев: группа технических критериев, группа эксплуатационных критериев и группа тактических критериев эффективности.

В первую группу входят следующие критерии [4, 11, 12, 13].

Критерий относительной массы полезной нагрузки. Он характеризует качество полученного проекта с точки зрения обеспечения его наполнением полезной нагрузкой в зависимости от функционального назначения БЭК. Чем больше численное значение критерия $P_{\text{омн}}$, тем лучше проект БЭК.

$$P_{\text{омн}} = \frac{M_{\text{ин}}}{M} \cdot 100\%,$$

где $M_{\text{ин}}$ – масса полезной нагрузки БЭК, кг; M – масса БЭК, кг.

Критерий энерговооружённости БЭК. Он характеризует энергетическую обеспеченность одного килограмма массы БЭК:

$$E = \frac{N}{M}, \text{ кВт} / \text{кг}.$$

Во вторую группу входят следующие критерии.

Критерий транспортной производительности:

$$T_p = M_{\text{ин}} \cdot D \cdot 10^{-3}, \text{ т} \cdot \text{мл},$$

где D – дальность хода БЭК, миль.

Если БЭК рассматривать как транспортное средство, перевозящее полезную нагрузку на определенное расстояние, то лучшим проектом окажется тот, у которого показатель T_p окажется большим.

Критерий транспортной эффективности:

$$T_3 = \frac{M_{\text{ин}} \cdot D}{N}, \text{ кг} \cdot \text{мл} / \text{кВт} \cdot \text{м},$$

где N – мощность двигателя БЭК, кВт; D – дальность хода БЭК, миль.

Данный критерий также характеризует эффективность БЭК как транспортного средства, т. е. полезный груз желательно перевезти на большее расстояние с наименьшей затрачиваемой мощностью, а следовательно, и расходом топлива. Чем больше численное значение критерия T_3 , тем лучше проект БЭК.

Критерий относительной стоимости:

$$C_{\text{омн}} = \frac{C}{M}, \text{ млн руб} / \text{кг},$$

где C – стоимость БЭК, млн руб; M – масса БЭК, кг.

Критерии T_p и T_3 кооперируются, а критерий $C_{\text{омн}}$ конкурирует с ними.

В третью группу входят тактические критерии эффективности.

Площадь района поиска:

$$S_{\text{п}} = D \cdot l_{\text{ш}}, \text{ миль}^2 / \text{ч},$$

где $l_{\text{ш}}$ – ширина полосы поиска при заданной вероятности обнаружения цели, миль. Задается проектантом на диалоговой панели для различных средств поиска с использованием РЛС, ТВ или ГАС.

Производительность поиска:

$$\Pi_p = l_{\text{ш}} \cdot D / t_A, \text{ миль}^2 / \text{ч},$$

где t_A – автономность БЭК, ч.

Данные критерии свёртываются в некоторую векторную функцию:

$$\bar{k}(\bar{X}, \bar{Y}) = \left[\begin{array}{l} P_{\text{омн}}(\bar{X}, \bar{Y}), E(\bar{X}, \bar{Y}), T_p(\bar{X}, \bar{Y}), \\ C_{\text{омн}}(\bar{X}, \bar{Y}), S_{\text{п}}(\bar{X}), \Pi_p(\bar{X}) \end{array} \right].$$

На множестве значений векторной функции \bar{k} определяется функционал оценки эффективности $\Phi(\bar{k})$, характеризующий качество варианта проекта БЭК:

$$\Phi = \max_{\bar{x} \in \{\bar{X}\}} \Phi(\bar{k}(\bar{X}, \bar{Y})),$$

где $\{\bar{X}\}$ – множество векторов варьируемых параметров [4, 11, 14, 13].

Решение обобщённой функциональной модели БЭК предполагает решение нелинейной задачи с одним неизвестным [6, 14, 15]. Для этого создаётся функция:

$$F(M) = M - \left[\begin{array}{l} M_0(\bar{T}) + M_{\text{дв}}(M, \bar{X}) + \\ + M_{\text{мон}}(M, \bar{X}) + M_{\text{цис}}(M_{\text{мон}}) + \\ + M_{\text{движ}}(M, \bar{X}) \end{array} \right] = 0.$$

Как известно, основным методом решения таких задач является итерационный метод Ньютона, математическое выражение которого для нелинейной функции $F(M)$ имеет вид:

$$M^{(n+1)} = M^{(n)} - F(M^{(n)}) / F'(M^{(n)}).$$

Также хорошо известны общие результаты по исследованию сходимости метода Ньютона: линейная сходимость в начале итерационного процесса и квадратичная – в некоторой окрестности точного решения. В качестве начального приближения используется величина:

$$M^{(0)} = \sum_{n \in S(\bar{T})} M_n; \quad M_n = БД[n, 9] \neq 0.$$

В проведенных вычислительных экспериментах значения $M^{(0)}$ обеспечивали достаточно быструю локальную сходимость итерационного процесса. При этом число итераций, как правило, было невелико. Итерационный процесс останавливается при выполнении условия:

$$\left| (M^{(n+1)}) - (M^{(n)}) \right| < 1, \text{ кг.}$$

5. Программное обеспечение системы исследовательского автоматизированного проектирования безкипажного катера

Программное обеспечение СИАП БЭК реализовано на языке Visual Basic for Application в виде функций на рабочих листах книги СИАП БЭК.xlsm в среде Excel Windows 2010. Текст основной программы реализован в виде символической записи на исходном языке в рабочих листах книги СИАП БЭК.xlsm.

Основной функцией СИАП БЭК.xlsm является вызов вычислительных процедур из модулей рабочей книги. Основным является лист «Ввод», который содержит все вычислительные процедуры и является панелью ввода главных параметров проекта БЭК. Ввод данных осуществляется проектантом в выделенные ячейки рабочего листа, засвеченные зеленым цветом. Ячейки, содержащие формулы и функции, как правило, подсвечены серым цветом.

Лист «Таблицы» содержит управляющие таблицы, данные из которых используются проектантом для формирования проекта БЭК, а также характеристики материалов, используемых для изготовления корпусов.

Лист «Константы» содержит рабочие константы, которые можно легко корректировать в случае необходимости.

Лист «БД» содержит базу данных ЭН. Каждая запись представляется одной строкой, содержащей 13 полей. База данных СИАП БЭК оформлена в виде двумерного массива и допускает непосредственную корректуру любого из полей.

На первом этапе после заполнения данных в зеленых ячейках проектант запускает процедуру «Ввод» нажатием кнопки «Выбор элементов нагрузки». Текст (листинг) процедуры «Ввод» размещен на модульном листе Module1.

В результате на панели в информационных ячейках [A10:M100] будет представлен двумерный массив, состоящий из записей, выбранных в проект ЭН.

На втором этапе проектант нажатием кнопки «Активация расчётных функций» запускает выполнение следующих пользовательских функций по расчёту основных параметров проекта БЭК, размещённых на модульном листе Module2. Npower – расчёт мощности двигателя по типу корпуса, массе БЭК и его скорости в узлах;

MassaDv – расчёт массы двигателя по мощности в кВт;

MtopBuxir – расчёт массы топлива для обеспечения буксировки объекта;

MassaMov – расчёт массы движителя по его типу и мощности БЭК;

Mtopdop – расчёт массы дополнительного топлива по автономности в часах;

Mtopavto – расчёт массы топлива для обеспечения автономности БЭК;

Mtopbak – расчёт массы топливной цистерны по массе топлива;

Highbak – расчёт высоты топливной цистерны по массе топлива;

MassaCatera – расчёт массы катера по типам корпуса и движителя, дальности и автономности;

Osadka – расчёт осадки корпуса БЭК;

UseVolume – расчёт объёма полезной нагрузки;

Zcentre – расчёт ординаты центра масс БЭК;

MetaCentre – расчёт метацентрической высоты БЭК;

CostCatera – расчёт стоимости проекта БЭК;

MassaUse – расчёт массы полезной нагрузки.

Указанные пользовательские функции представлены в соответствующих ячейках панели «Выходные данные». Для формирования значений критериев оценки проекта БЭК используются уже вычисленные параметры (в соответствующих ячейках листа) на панели «Выходные данные» [7, 8].

СИАП БЭК основной.xlsxm [восстановлен] - Microsoft Excel

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид

Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число Стили

С4 =СУММПРОИЗВ(P10:P12;P15:P17)

№	Наименование ЭН	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Основной проект					7	0,63	800				
2	Надстройка	1			Н	1,4	1,5	45				
3	Арка (мачта)	1			А	2	2,3	80				
4	Двигатель и его системы	1	5		Кк	2,5	0,6	600				
5	ЗЭС+Аккумуляторная батарея	1			Кс	1,2	0,4	80	25			
6	Топливная цистерна	1	7		Кс	0,4	0,4	50				
7	Запас топлива	1			Кс		0,4	300				
9	Противопожарная система	1			Кс	0,3	0,8	8	12			
10	Водоотливная система	1			Кс	0,4	0,5	15	20	1000	1	3
11	Внутренние блоки плавучести	1			Ксл, Кск	0,5	0,7	40	50			
15	Рулевой электропривод	1			Кк	0,3	0,5	10	3	500	0	300
17	Главный оптоэлектронный модуль	1			А	0,8	3,3	3	6	35	ПА	1
18	Телекамеры	1			А	0,2	2,8	2	20	ПА	1	
19	Пржекторы	1			А	0,2	2,6	4	600	2	1	
20	Антенны ГЛОНАСС	1			А	0,5	2,5	2	20	ПА	1	
21	Радар в обтекателе	1			А	0,6	2,8	7	300	ПА	1	
22	Антенны радиосвязи	1			А	0,3	3,5	3				
23	Антенны спутниковой связи	1			А	0,6	2,4	4				
24	Антенна АИС	1			А	0,7	2,4	8				
25	Сирена	1			А	0,1	2,4	2	50	1	1	
26	Судовые огни	1			А	0,05	2,5	2	100	4	1	
27	Мегафон	1			А	0,05	2,5	2	50	1	1	
28	Микрофоны	1			А	0,05	2,6	1				
29	Блок РЗА	1			Н	5	1,5	24	90	400	ПА	1
30	Доплеровский лаг	1			Кк	0,2	0,2	5	2	50	ПА	1
31	Антенна эхолота	1			Кк	0,2	0,2	4	2	50	ПА	1

Входные данные			
Длина корпуса L (м.)	8,90	Дальность, миль	235
Ширина В (м.)	2,14	Автономность, час	8
Высота борта Н (м.)	1,12	Масса доп. топлива, кг	2,85
Внутренний объем (м.куб)	8,40	Масса БЭК, кг	2689
Скорость (в узлах):		Водоизмещение БЭК, кг	2636
на малом ходу	10	Мощность двигателя, кВт	277
на среднем ходу	25	Масса двигателя, кг	513
на полном ходу	40	Объем двигателя, дм3	855
Автономность (час)		Масса топлива, кг	308
на холостом ходу	1	Объем топлива, дм3	362
на малом ходу	1	Масса топ. цистерны, кг	58
на среднем ходу	1	Объем топ. цистерны, дм3	29
на полном ходу	5	Высота топ. цистерны, м	0,150
Стоимость сборки БЭК		Осадка предельная, м	0,504
Средняя зарплата, тыс. руб	80	Осадка расчётная, м	0,390
Количество месяцев	6	Полезный объем, м.куб	1592
Трудовой коллектив (чел)	30	Козэффициент заполнения	5,28
Цена топлива за л. (руб)	50	Ордината ЦТ БЭК, м	0,739
Стоимость испытания БЭК		Ордината МЦ БЭК, м	1,535
Суточные расходы, тыс. руб	50	Метацентрическая h, м	0,796
Количество дней	30	Стоимость БЭК, млн.руб.	73,12
Количество рабочих	7	Полезная нагрузка	3,16
Данные для критериев		Трансп. производительность	20,0
Ширина полосы поиска, м	50	Трансп. эффективность	9,0
		Площадь поиска	6,3
		Производительность поиска	0,8

Рис. 1. Скриншот СИАП БЭК

6. Некоторые результаты моделирования безэкипажного катера при варьировании максимальной скорости хода

Исходные данные для моделирования БЭК в СИАП включают в себя следующие параметры [16]:

1. Тип проекта – БЭК четвертого типа.
2. Тип корпуса – классический глиссер с днищем средней килеватости и продольными реданами (рис. 2). Характеристики корпуса приводятся в табл. 5.
3. Материал корпуса – стеклопластик.
4. Тип движения – глиссирование.
5. Тип движителя – гребной винт на поворотно-откидной колонке.
6. В проект катера отобраны следующие элементы нагрузки (ЭН) согласно базе данных ЭН СИАП

БЭК: 1 – 7; 9 – 11; 14, 15; 17 – 29; 30; 31; 32; 33; 36 – 39. Всего 33 наименования.

7. Скорость хода: малый ход 5 уз; средний ход 15 уз; полный ход 40 уз.

8. Автономность: на малом ходу 5 ч; на среднем – 10 ч; на полном – 9 ч. Полная автономность 24 ч.

9. Масса полезной нагрузки согласно расчетам СИАП составила 972 кг.

На рис. 3 показана прорисовка проекта БЭК. Результаты моделирования характеристик БЭК при варьировании его максимальной скорости хода V_s , уз приведены в табл. 2 и на рис. 4 и 5.

Пределы варьирования максимальной скорости хода установлены от 30 до 40 уз. Из анализа графиков на рис. 4 видим, что при этом дальность хода БЭК L линейно увеличивается в 1,2 раза – от 445 до 535 миль; масса БЭК M линейно возрастает в



Рис. 2. Форма корпуса «классический глиссер»: а – вид сбоку; б – вид спереди; в – вид снизу

Таблица 5. Характеристики корпуса БЭК

Характеристика	Значение
Длина, м	8,0
Ширина, м	2,5
Высота борта, м	1,35
Осадка наибольшая, м	0,61
Водоизмещение, дм ³	4000
Толщина обшивки, м	0,01
Толщина набора, м	0,008
Масса корпуса, кг	1160

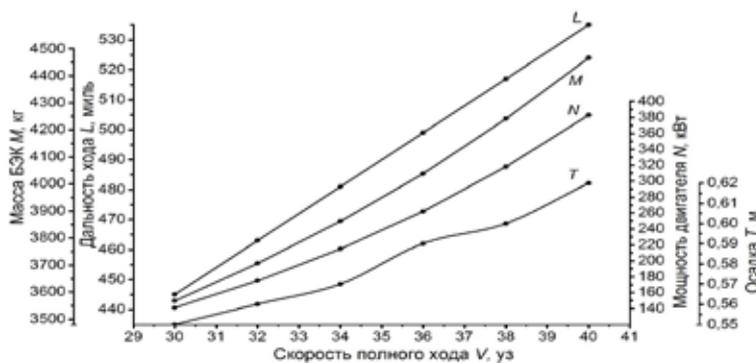


Рис. 3. Прорисовка проекта БЭК в среде SolidWorks

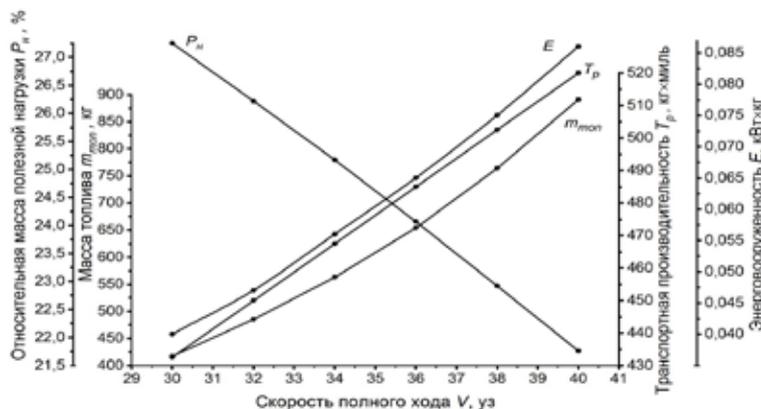


Рис. 4. Результаты моделирования характеристик безэкипажного катера при варьировании его максимальной скорости хода: масса БЭК M , кг; дальность хода L , миль; мощность двигателя N , кВт; осадка T , м

1,25 раза – от 3567 до 4467 кг; мощность двигателя N увеличивается в 2,72 раза – от 141 до 383 кВт, следуя выражению кубической параболы; осадка БЭК незначительно линейно возрастает на 12,7% – от 0,55 до 0,62 м, достигая своего предела (т. е. 45% от высоты борта катера H) на скорости 38 уз.

Из анализа графиков на рис. 4 видим динамику изменения массы топлива и критериев эффективности проекта БЭК: относительная масса полезной нагрузки БЭК P_n уменьшается на 25,2%: от 27,25 до 21,76%, так как мощность дви-

гателя, а следовательно, и его масса, а также масса топлива на борту катера растут, а масса полезной нагрузки остается постоянной. Критерий транспортной производительности возрастает в 1,2 раза – от 432,5 до 520 кг×миль; энерговооруженность катера возрастает в 2,15 раза – от 0,04 до 0,086 кВт/кг; масса топлива на борту БЭК также возрастает в 2,14 раза – от 417 до 891 кг.

Выводы

Создана обобщенная функциональная математическая модель БЭК, представленная в инвариантной форме. Исследованы адекватность, универсальность и экономичность модели. Сформулирована задача поиска оптимальных параметров БЭК как задача максимизации функционала оценки эффективности БЭК. Разработаны общие схемы вычислительных алгоритмов, реализующих предложенные методы решения нелинейной задачи исследовательского проектирования БЭК. В совокупности разработанные методы и алгоритмы образуют новый метод проектирования БЭК (и других сложных технических систем), условно названный авторами методом управляемых элементов.

В результате моделирования проекта БЭК при варьировании его важнейшими

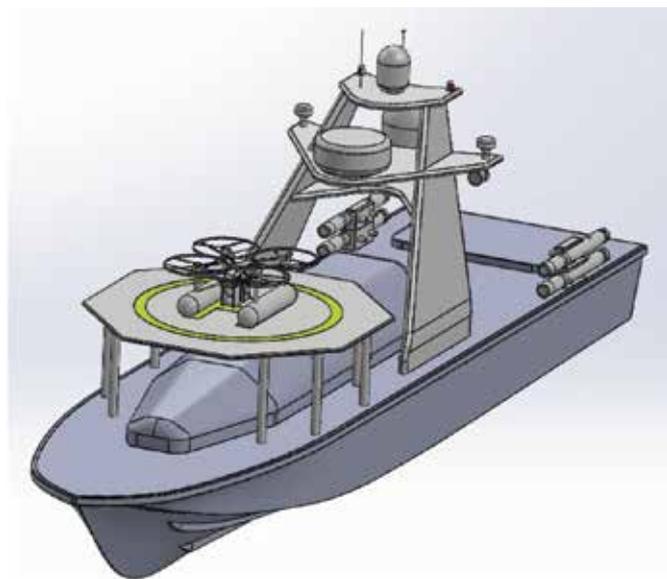


Рис. 5. Результаты моделирования характеристик безэкипажного катера при варьировании его максимальной скорости хода: относительная масса полезной нагрузки R_n , %; масса топлива $m_{топ}$, кг; транспортная производительность T_r , кг*миль; энерговооруженность E , кВт/кг

характеристиками (скоростью полного хода, временем движения на полном ходу, временем движения на среднем ходу и массой полезной нагрузки) определены реальные достижимые тактико-технические характеристики исследуемого варианта БЭК: длина 8,0 м; ширина 2,5 м; высота борта 1,35 м; осадка 0,61 м; водоизмещение 4400 кг; скорость на малом ходу 5 уз; скорость на среднем ходу 15 уз; скорость на полном ходу 40 уз; автономность 24 ч (из них время движения на малом ходу 5 ч; время движения на среднем ходу 10 ч; время движения на полном ходу 9 ч); дальность плавания 535 миль; мощность двигателя 400 кВт; масса топлива 900 кг. При этом проект катера имеет большие модернизационные возможности: так, при скорости полного хода 35 уз, массе полезной нагрузки 972 кг и времени движения средним (экономическим) ходом автономность катера может достигнуть 42 ч при дальности хода 820 миль. При скорости полного хода 40 уз, автономности 24 ч и дальности хода 535 миль масса полезной нагрузки может достичь 1100 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2760797 Российская Федерация, МПК В63G 1/00 (2006.01), В63В 25/00 (2006.01), G05D 1/02 (2006.01). Безэкипажный катер – носитель сменной полезной нагрузки : № 2021114347 : заявл. 21.05.2021 : опубл. 30.11.2021 / Илларионов Г.Ю., Викторов Р.В., Кнуров М.В., Корнилов Н.А. 14 с. : 11 ил.
2. Трушенков В.В. Состояние и перспективы развития безэкипажных катеров. Предложения в концепцию развития и применения безэкипажных катеров ВМФ России / В.В. Трушенков, А.И. Кабанов, В.А. Сударчиков [и др.]. Санкт-Петербург : ГНЦ РФ ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», 2016. 105 с.
3. The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan. URL: [http:// sevenhorizons.org/docs/USV_MasterPlan2007.pdf](http://sevenhorizons.org/docs/USV_MasterPlan2007.pdf) (дата обращения: 01.03.2022 г.). Текст : электронный.
4. Захаров И.Г. Теория компромиссных решений при проектировании корабля. Л.: Судостроение, 1987. 136 с.
5. Илларионов Г.Ю., Карпачев А.А. Исследовательское проектирование автономных необитаемых подводных аппаратов: теория, методы, результаты. Владивосток: Дальнаука, 1998. 272 с.
6. Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей. Л.: Судостроение, 1980. 239 с.
7. Свидетельство № 2022682046 Российская Федерация. Система исследовательского автоматизированного проектирования безэкипажных катеров (СИ-АП БЭК) : № 2022681088 : заявл. 08.11.2022 : опубл. 18.11.2022 / Илларионов Г.Ю., Карпачев А.А., Викторов Р.В., Кнуров М.В., Журов Ю.И. 30 с. : 2 ил.
8. Карпачев А.А. Система исследовательского автоматизированного проектирования безэкипажных катеров / А.А. Карпачев, Г.Ю. Илларионов, М.В. Кнуров // Стратегическая стабильность. 2023. № 1 (102). С. 57–64.
9. Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов. Л.: Судостроение, 1978. 280 с.
10. Кользаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. Л.: Судостроение 1980. 470 с.
11. Булатов В.П. Методы решения многоэкстремальных задач // Методы численного анализа и оптимизации. Новосибирск: Наука, 1987. С. 133–157.
12. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978. 133 с.
13. Нарусбаев А.А. Введение в теорию обоснованных проектных решений. Л.: Судостроение, 1976. 221 с.
14. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 440 с.
15. Морозов В.А., Гребенщиков А.И. Методы решения некорректно поставленных задач. М.: Изд-во МГУ, 1992. 320 с.
16. Илларионов Г.Ю. Некоторые результаты исследовательского проектирования реконфигурируемого безэкипажного катера / Стратегическая стабильность. № 1(102). 2023.

Для цитирования:

Илларионов Г.Ю., Карпачёв А.А., Яцков Д.С. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ // Подводные исследования и робототехника. 2024. №. 1 (47). С. 31–42. DOI: 10.37102/1992-4429_2024_47_01_03. EDN: GLVCMO.

Сведения об авторах

ИЛЛАРИОНОВ Геннадий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник инновационного отдела Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова д.5а.

Область научных интересов: исследования и разработка морских робототехнических комплексов двойного и специального назначения, а также их носителей и методов практического применения.

E-mail: illar1951gy@mail.ru

Тел.: +79147238288

eLibrary Author ID: 331168

КАРПАЧЕВ Александр Афанасьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова» Министерства обороны Российской Федерации

Адрес: 690062, г. Владивосток, Камский пер. д.6

Область научных интересов: математическое моделирование, исследовательское проектирование технических объектов, операционное исчисление, искусственные нейронные сети.

E-mail: k327063@yandex.ru

Тел.: +79146539009

eLibrary Author ID: 1102044

ЯЦКОВ Дмитрий Сергеевич, старший помощник начальника учебно-методического отдела

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова» Министерства обороны Российской Федерации

Адрес: 690062, г. Владивосток, Камский пер. д.6

Область научных интересов: тенденции развития безэкипажных катеров военного, специального, двойного назначения на мировой арене, их оснащение в свете борьбы с малоразмерными опасными объектами.

E-mail: saimon100@list.ru

Тел.: +79146522991

eLibrary Author ID: 1208495



RESEARCH DESIGN OF UNCREWED BOATS

G.Yu. Illarionov, A.A. Karpachev, D.S. Yatskov

System for research computer-aided design (RIAP) of unmanned boats (UB) developed at the Pacific Higher Naval College after S.O. Makarov is intended for scientific research in the field of UB with a replaceable modular payload tactical and technical characteristics analysis. The method for organizing initial data in a research computer-aided design system for an unmanned boat, used in software implemented in the Visual Basic for Application language, is discussed. The methodology for calculating the main parameters of the UB project with the fulfillment of specified requirements has been developed. The mathematical model of an unmanned boat using evaluation functions of several groups of private criteria is presented.

Keywords: unmanned boat, marine robotic complex, research computer-aided design system, load element, modular payload, unmanned boat modeling, functional mathematical model

References

1. Patent № 2760797 Rossijskaya Federaciya, MPK B63G 1/00 (2006.01), B63B 25/00 (2006.01), G05D 1/02 (2006.01). Bezekipazhnyj kater – nositel smennoj poleznoj nagruzki : № 2021114347 : zayavl. 21.05.2021 : opubl. 30.11.2021 / Illarionov G.Yu., Viktorov R.V., Knurov M.V., Kornilov N.A. 14 s. : 11 il.
2. Trushenkov V.V. Sostoyanie i perspektivy razvitiya bezekipazhnyh katerov. Predlozheniya v koncepciyu razvitiya i primeneniya bezekipazhnyh katerov VMF Rossii / V.V. Trushenkov, A.I. Kabanov, V.A. Sudarchikov [i dr.]. Sankt-Peterburg : GNC RF OAO «Koncern «Morskoe podvodnoe oruzhie – Gidropribor», 2016. 105 s.
3. The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan. URL: http://sevenhorizons.org/docs/USV_MasterPlan2007.pdf (data obrasheniya: 01.03.2022 g.). Tekst : elektronnyj.
4. Zaharov I.G. Teoriya kompromissnyh reshenij pri proektirovanii korablya. L.: Sudostroenie, 1987. 136 s.
5. Illarionov G.Yu., Karpachev A.A. Issledovatel'skoe proektirovanie avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh apparatov: teoriya, metody, rezultaty. Vladivostok: Dalnauka, 1998. 272 s.
6. Hudyakov L.Yu. Issledovatel'skoe proektirovanie korablej. L.: Sudostroenie, 1980. 239 s.
7. Svidetel'stvo № 2022682046 Rossijskaya Federaciya. Sistema issledovatel'skogo avtomatizirovannogo proektirovaniya bezekipazhnyh katerov (SI-AP BEK) : № 2022681088 : zayavl. 08.11.2022 : opubl. 18.11.2022 / Illarionov G.Yu., Karpachev A.A., Viktorov R.V., Knurov M.V., Zhurov Yu.I. 30 s. : 2 il.
8. Karpachev A.A. Sistema issledovatel'skogo avtomatizirovannogo proektirovaniya bezekipazhnyh katerov / A.A. Karpachev, G.Yu. Illarionov, M.V. Knurov // Strategicheskaya stabilnost. 2023. № 1 (102). S. 57–64.
9. Vaganov A.M. Proektirovanie skorostnyh sudov. L.: Sudostroenie, 1978. 280 s.
10. Kolyzaev B.A., Kosorukov A.I., Litvinenko V.A. Spravochnik po proektirovaniyu sudov s dinamicheskimi principami podderzhaniya. L.: Sudostroenie 1980. 470 s.
11. Bulatov V.P. Metody resheniya mnogoekstremalnyh zadach // Metody chislennogo analiza i optimizacii. Novosibirsk: Nauka, 1987. S. 133–157.
12. Evlanov L.G., Kutuzov V.A. Ekspertnye ocenki v upravlenii. M.: Ekonomika, 1978. 133 s.
13. Narusbaev A.A. Vvedenie v teoriyu obosnovannyh proektnykh reshenij. L.: Sudostroenie, 1976. 221 s.
14. Dennis Dzh., Shnabel R. Chislennye metody bezuslovnoj optimizacii i resheniya nelinejnyh uravnenij: per. s angl. M.: Mir, 1988. 440 s.

15. Morozov V.A., Grebenshikov A.I. Metody resheniya nekorrektno postavlennyh zadach. M.: Izd-vo MGU, 1992. 320 s.

16. Illarionov G.Yu. Some results of research design recon figurable boat boat. Strategicheskaya stabil'nost'. No. 1(102). 2023.

Information about the authors

ILLARIONOV Gennady Yurievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Innovation Department
Institute for Problems of Marine Technologies named after Academician M.D. Ageeva Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
Address: 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5a.
Area of scientific interests: research and development of dual- and special-purpose marine robotic systems, as well as their carriers and methods of practical application.
E-mail: illar1951gy@mail.ru. **Phone:** +79147238288.
eLibrary Author ID: 331168.

KARPACHEV Aleksandr Afanasyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematics
Federal State Higher Military Educational Establishment Pacific Higher Naval College after S.O. Makarov
Address: 690062, Vladivostok, Kamsky per. 6
Area of scientific interests: mathematical modeling, research design of technical objects, operational calculus, artificial neural networks.
E-mail: k327063@yandex.ru. **Phone:** +79146539009.
eLibrary Author ID: 1102044.

Yatskov Dmitry Sergeevich, senior assistant to the head of the educational and methodological department
Federal State Higher Military Educational Establishment Pacific Higher Naval College after S.O. Makarov
Address: 690062, Vladivostok, Kamsky per. 6
Area of scientific interests: trends in the development of unmanned military, special, dual-purpose boats on the world stage, their equipment in the light of the fight against small-sized dangerous objects.
E-mail: saimon100@list.ru. **Phone:** +79146522991
eLibrary Author ID: 1208495.