

## GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

УДК 629.58

### К ВЫБОРУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ: СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ СУДНО УПРАВЛЕНИЯ – ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Богомья В.И., Давыдов В.С., Демичев В.В.

Государственный Университет Инфраструктуры и Технологий  
Украина, г. Киев, ул. Кирилловская, 9

E-mail: 2603@ ukr. net, vladimir.s.davydov@gmail.com; viktor-d@yandex.ru.

**Аннотация.** В статье определены подходы к созданию математической модели функциональной системы: специализированное судно управления - телеуправляемый подводный аппарат (ССУ-ТПА) путем определения совокупности параметров, подлежащих исследованию, и установлению алгоритмической зависимости выходного эффекта системы от их значений.

**Xülasə.** Məqalədə funksional sistemin riyazi modelinin yaradılmasına dair yanaşmalar təyin olunmuşdur: xüsusi idarəetmə nəzarət gəmisi - uzaqdan və yaxud teleidarəedici sualtı vasitə, sistemin çıxış səmərəliliyinin alqoritmik asılılığını və onların dəyərlərinin araşdırmaga ehtiyacı olan bir sıra parametrlərinin təyin olunması.

**Abstract.** The article defines the approaches to the creation of a mathematical model of a functional system: "dedicated control ship - remotely controlled underwater vehicle" (DCS-SSA) by determining the set of parameters to be investigated and the determination of an algorithmic dependency output system effect on their values.

**Ключевые слова:** специализированное судно управления, телеуправляемый подводный аппарат, функциональная система, параметры, протяженные подводные объекты, эффективность

**Açar sözlər:** xüsusi idarəetmə nəzarət gəmisi, uzaqdan və ya teleidarəolunan sualtı vasitə, funksional sistem, parametrlər, çəkilmə sualtı obyektlər, səmərəlilik

**Key words:** dedicated control ship, remotely operated underwater vehicle (ROUV), functional system, parameters, extended underwater objects, efficiency

---

**Введение.** В Украине, ведущей разведку и добычу углеводородного сырья на мелководном шельфе Черного моря, подводно-технические работы, связанные с прокладкой и обслуживанием подводных трубопроводов и кабелей, в основном обеспечиваются водолазами или автономными подводными аппаратами. Такое обеспечение является недостаточно эффективным по производительности работ и их себестоимости. Повышение эффективности этих работ возможно в основном двумя путями:

1. Использование в качестве ССУ существующих малотоннажных (до 1000 р. т.) судов прибрежного или морского плавания, прошедших модернизацию под размещение на них ТПА и мобильной гидроакустической навигационной системы (ГАНС), позволяющую их быструю установку (переустановку) на судне управления в зависимости от решаемых задач и районов подводно-технических работ. Такой подход в значительной степени уменьшит затраты на фрахтование иностранных специализированных судов и эксплуатационные расходы, которые в настоящее время достигают до 80% от общей стоимости работ.

2. Применением ТПА, управляемых с использованием возможностей современных ГАНС, глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и электронно-картографических навигационно-информационных систем (ЭКНИС). Это даст возможность повысить производительность и качество работ при разведке трасс укладки подводных трубопроводов и кабелей и работ по обследованию этих протяженных подводных объектов при их эксплуатации.

Тематика открытых публикаций по применению ТПА при проведении подводно-технических работ весьма ограничена в силу использования этих технологий в военном деле. Доступный авторам анализ был проведен ранее в публикациях [1,2]. Рассматриваемые авторами в цикле работ вопросы по использованию ТПА, с установленным на нем пассивно-активным ГАМО, в целях координирования его положения на траектории движения, в работах других авторов отражения не находили.

**Постановка задачи.** Определение научных подходов к выбору показателей эффективности эксплуатации функциональной системы: специализированное судно управления - телеуправляемый подводный аппарат при проведении обследования протяженных объектов и созданию математической модели этой системы.

**Анализ полученных результатов.** Подводно-технические работы являются сложнейшей технологической задачей, которая решается в основном на базе анализа косвенной разнородной информации от различного рода датчиков. Сложность решения этих задач увеличивается пропорционально глубине моря при их выполнении. Предлагаемый авторами способ [1] определения положения ТПА на траектории движения с помощью ГАНС, основным звеном которой является гидроакустический маяк-ответчик (ГАМО), устанавливаемый на ТПА, и ЭКНИС, предполагает решение задачи управления ТПА по траектории движения в реальном масштабе времени с визуализацией этого процесса на электронной карте ЭКНИС. Это позволит вывести ТПА в зону расположения подводного объекта на дистанцию уверенного видеоконтакта. После захвата объекта средствами подводной видеосъемки возможно проведение детального обследования объекта на всем его протяжении.

Функциональная система ССУ-ТПА представляет собой сложную техническую систему, включающую в себя значительное количество подсистем и источников разнородной информации с множеством различных параметров, которые после соответствующей математической обработки преобразуются в информационные данные и управляющие сигналы при ее эксплуатации. Создаваемая модель эксплуатации функциональной системы ССУ-ТПА призвана установить алгоритмическую зависимость выходного эффекта предлагаемой системы, определяемого целевой функцией ( $F(T)$ ) и ее показателями эффективности ( $\alpha$ ) от совокупности параметров ( $Y$ ) [3,4,5].

$$Y = Y(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6, \bar{A}_7, \bar{A}_8) \quad (1),$$

где:  $\bar{A}_1$ -параметры навигационного оборудования ССУ;

$\bar{A}_2$ -параметры ГАНС;

$\bar{A}_3$ -параметры объектной обстановки;

$\bar{A}_4$ -параметры гидрологических условий;

$\bar{A}_5$ -параметры ГАМО;

$\bar{A}_6$ -параметры ТПА.

$\bar{A}_7$ -параметры ССУ;

$\bar{A}_8$ -параметры рентабельности;

К наиболее важным показателям эффективности функциональной системы ССУ-ТПА, образующих совокупность

$$G = \{ T_{фс}, P_{фс}, R_{фс} \} \quad (2)$$

и определяемых на модели относятся:

1. Тфс- среднее время непрерывной работы функциональной системы ССУ-ТПА при обследовании подводных объектов;
2. Рфс- вероятность обнаружения подводных объектов средствами поиска и наблюдения ТПА;
3. Rфс- экономическая эффективность применения функциональной системы ССУ-ТПА.

Векторы из выражения [1] предлагается задавать следующим образом:

$$\bar{A}_1 = (M_c, m_k, D_{max}, D_{min}, Q_{экнис}), \quad (3)$$

где:  $M_c$ -среднеквадратическая погрешность определения местоположения ССУ на траектории движения;

$m_k$  - среднеквадратическая погрешность системы курсоуказания ССУ;  
 $D_{max}$  - максимальная дистанция обнаружения надводных объектов ССУ;  
 $D_{min}$  - минимальная дистанция обнаружения надводных объектов ССУ;  
 $Q_{экнис}$  - эксплуатационные характеристики ЭКНИС.

$$\bar{A}_2 = (D_{гла}, D_{глп}, m_{\Delta t}, m_{глп}, \tau_3), \quad (4)$$

где:  $D_{гла}$  - максимальная дальность работы активного тракта судового гидролокатора;

$D_{глп}$  - максимальная дальность работы пассивного тракта судового гидролокатора;

$m_{\Delta t}$  - среднеквадратическая погрешность измерения времени прохождения гидроакустического кодированного сигнала между ССУ и ТПА;

$m_{глп}$  - среднеквадратическая погрешность измерения гидроакустического пеленга с помощью пассивного тракта судового гидролокатора;

$\tau_3$  - среднее время задержки прохождения кодированных сигналов в трактах ГАНС.

$$\bar{A}_3 = (L_o, H_o, M_k, C_{отр}, P_o), \quad (5)$$

где:  $L_o$ -длина обследуемого участка протяженного подводного объекта (ППО);

$H_o$ -глубина укладки ППО;

$M_k$ -среднеквадратическая погрешность координирования при укладке ППО;

$C_{отр}$ -характеристика отражательной способности ППО;

$P_o$ -вероятность обнаружения ППО средствами ТПА.

$$\bar{A}_4 = (C_3, t_b, S_{\%}, P_b), \quad (6)$$

где:  $C_3$ -скорость звука в воде;

$t_b$ -температура воды;

$S_{\%}$ -соленость воды;

$P_b$ -прозрачность воды.

$$\bar{A}_5 = (D_{моа}, D_{моп}), \quad (7)$$

где:  $D_{моа}$ - дальность действия активного тракта ГАМО;

$D_{моп}$ - дальность действия пассивного тракта ГАМО.

$$\bar{A}_6 = (\varphi_a, \lambda_a, H_a, h_a, V_{ap}, V_{amax}, V_{av}, \psi_{max}, \theta_{max}), \quad (8)$$

где:  $\varphi_a$ -географическая широта местонахождения ТПА на траектории движения;  
 $\lambda_a$ - географическая долгота местонахождения ТПА на траектории движения;  
 $H_a$ -глубина под килем ТПА;  
 $h_a$  -глубина погружения ТПА;  
 $V_{ap}$ -поисковая скорость ТПА;  
 $V_{amax}$ -максимальная скорость ТПА;  
 $V_{av}$ -вертикальная скорость погружения (всплытия) ТПА;  
 $\psi_{max}$ -максимальный угол дифферента ТПА;  
 $\theta_{max}$ -максимальный угол крена ТПА.

$$\bar{A}_7 = (\varphi_c, \lambda_c, V_{сп}, H_c, T_c, M_1, M_2, L_{кс}, O_c), \quad (9)$$

где:  $\varphi_c$ - географическая широта местонахождения ССУ на траектории движения;  
 $\lambda_c$ - географическая долгота местонахождения ССУ на траектории движения;  
 $V_{сп}$ -средняя поисковая скорость ССУ;  
 $H_c$ -глубина моря под килем ССУ;  
 $T_c$ -осадка ССУ;  
 $M_1$ -маневренные характеристики ССУ;  
 $M_2$ -мореходные характеристики ССУ;  
 $L_{кс}$ -длина кабель-связки;  
 $O_c$  –параметры остойчивости ССУ согласно требований квалификационного общества.

$$\bar{A}_8 = (C_{фр}, P_э, R_{фс}), \quad (10)$$

где:  $C_{фр}$ - фраговая ставка обследования 1 мили ППО;  
 $P_э$ -эксплуатационные расходы за время выполнения работы;  
 $R_{фс}$ -рентабельность работы функциональной системы ССУ-ТПА.

Из вышеизложенного становится очевидным, что достижение поставленной цели- повышения эффективности работы функциональной системы ССУ-ТПА достигается несколькими показателями, то есть возникает задача многокритериальной оптимизации. На практике достаточно широко распространен подход к построению критерия [4,6],при котором от нескольких показателей переходят к одной многоцелевой функции  $F(T)$  этих показателей - так называемое свертывание показателей. В дальнейшем развитии рассматриваемой темы предполагается выделение среди показателей одного главного и перевод других в разряд ограничений.

При заданных параметрах: навигационного оборудования ССУ -  $A_1$ , ГАНС-  $A_2$ , объектной обстановки-  $A_3$ , гидрологических условий-  $A_4$ , ГАМО-  $A_5$ , рентабельности-  $A_8$  необходимо минимизировать среднее время непрерывной работы функциональной системы ССУ-ТПА по следующему критерию

$$J = T_{фс} \rightarrow \min,$$

При заданных ограничениях:

$$R_{фс} \geq R_{фсзад.}; \quad P_о \geq P_{озад.};$$

$$\bar{A}_6 = (\varphi_a, \lambda_a, H_a, h_a, V_{ap}, V_{amax}, V_{av}, \psi_{max}, \theta_{max}),$$

$$\bar{A}_7 = (\varphi_c, \lambda_c, V_{сп}, H_c, T_c, M_1, M_2, L_{кс}, O_c),$$

Критерием пригодности судов, предлагаемых для работы в составе функциональной системы после установки на них дополнительного оборудования, является соблюдение требований Регистра судоходства Украины для морских судов по параметрам остойчивости [7]:  $l_{\max} \geq 0,25$  м, максимальное плечо диаграммы статической остойчивости;  $Q_{\max} \geq 30^\circ$ , угол крена, соответствующий максимуму диаграммы статической остойчивости;  $Q_{\text{зак}} \geq 60^\circ$ , угол заката диаграммы статической остойчивости;  $h_0 \geq 0,20$  м, метацентрическая высота;  $K_y \geq 1$ , критерий ускорения;  $K_p > 1$ , критерий погоды.

**Выводы.** На основании предлагаемого подхода к выбору показателей эффективности эксплуатации функциональной системы: специализированное судно управления - телеуправляемый подводный аппарат при проведении обследования протяженных объектов станет возможным:

1. учесть значительное количество разнородных показателей, прямо или косвенно влияющих на эффективность эксплуатации функциональной системы ССУ-ТПА при обеспечении выполнения подводно-технических работ;
2. создать математическую модель эксплуатации функциональной системы ССУ-ТПА, устанавливающую алгоритмическую зависимость между ее выходным эффектом и совокупностью параметров, предлагаемых для исследования;
3. в дальнейшем, на основании анализа возможностей функциональной системы, разработать алгоритмы и практические рекомендации по улучшению критериев ее работы.

### Литература

1. Давыдов В.С. Способ контроля местоположения ТПА на траектории движения с помощью судовой гидроакустической навигационной системы./Давыдов В.С., Демичев В. В., Мусорин О. О.// Стандартизація, сертифікація, якість К.:ДП «Укр. НДНЦ», 2017. №1(104) с.10-17.
2. Давыдов В.С. Повышение эффективности эксплуатации функциональной системы: специализированное судно управления - глубоководный подводный аппарат путем использования высокоточных систем позиционирования/ Давыдов В.С., Демичев В.В.//Водный транспорт. К.: КДАВТ, 2016. №2(25). с. 48-53.
3. Богомья В.И. Пути повышения эффективности функционирования украинских космических систем наблюдения Земли. /Богомья В.И., Давыдов В.С., Загорулько А.Н. и др.// Водный транспорт. К.: КДАВТ, 2010. №11. с. 5-11.
4. Сиразетдинов Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. / Сиразетдинов Т.К. М.: Машиностроение, 1988. 158 с.
5. Сергиенко И.В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. / Сергиенко И.В. К.: Наукова думка, 1988. 427 с.
6. Дятлов Г.И. Вероятностные основы моделирования сложных систем. / Дятлов Г.И., Кудрицкий В.Д.// К.: КВВАИУ, 1992. 530 с.
7. Регистр судоходства Украины. Руководство по освидетельствованию морских судов в эксплуатации (РОМСЭ).

*Tövsiyə edib: t.e.d, prof. Z.Ə.Rüstəmov*