

Давыдов В.С., Демичев В.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ СУДНО УПРАВЛЕНИЯ-ГЛУБОКОВОДНЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ» ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Предлагается более эффективный, по сравнению с существующими, способ повышения эффективности эксплуатации функциональной системы «специализированное судно управления-глубоководный подводный аппарат» путем использования высокоточных спутниковых и гидроакустических систем позиционирования.

Ключевые слова: эффективность, специализированное судно управления, телеуправляемый подводный аппарат, подводный трубопровод, позиционирование, гидроакустический маяк-ответчик.

Постановка проблемы. Разведка, разработка добыча и транспортировка углеводородного сырья (газа, нефти) на морском континентальном шельфе и в глубоководных районах морей за последние 30 лет приобрела невиданный размах. По состоянию на 2013 г. морская добыча нефти и газа составляла около 30% от мировой, эксплуатировалось около 496 углеводородных проектов на континентальном шельфе [6]. Лидирующее положение по объему добычи занимает Норвегия с объемом в 145 млн. т. в год [6]. Масштабы этих сложных технологических проектов и процессов со временем будут только увеличиваться в связи с истощением запасов на суше и в прибрежном мелководном шельфе. Добыча углеводородного сырья уходит все дальше в море на большие глубины и в арктические моря со сложной ледовой обстановкой. Так, в Мексиканском заливе концерн «Шелл» ведет добычу углеводородов с помощью глубоководной платформы на глубине 2934 м. Сама платформа высотой с Эйфелеву башню закорена на глубине 2450 м. Только один этот концерн ведет работы на 20 глубоководных проектах по всему миру [2].

Транспортировка углеводородов от подводных скважин на береговые хранилища или танкера производится с помощью подводных трубопроводов длиной в сотни километров. Так, газопровод Nord Stream, проложенный по дну Балтийского моря на глубинах до 210 м, имеет протяженность 1224 км. В целом в мире длина подводных трубопроводов по состоянию на 2013 г. составляет порядка 175 000 км [1].

На всех этапах от разведки месторождений до транспортировки углеводородов по подводным трубопроводам широкое применение находят подводные аппараты различного типа и назначения, число которых в настоящее время измеряется тысячами.

Анализ последних исследований и публикаций. В зависимости от решаемых задач, диапазона глубин и географических характеристик района применяется один из следующих типов самоходных необитаемых подводных аппаратов:

1. Телеуправляемые подводные аппараты (ТПА), имеющие подводные каналы энергообеспечения и связи с судном управления, так называемые кабель-связки;
2. Полуавтоматические подводные аппараты (ПАПА);
3. Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА).

Эксплуатационные характеристики некоторых типов АНПА, как наиболее распространенных, приведены в Табл. 1 [4].

Эксплуатационные характеристики некоторых типов АНПА

Наименование (страна)	ТТХ					Оборудование			
	Рабочая глубина, м	Масса кг	Автоном- ность, ч	Скорость, узл	Тип управл.	ГАС	ВК	ГАНС	ФК
XP-21 (США)	60	-	28	3-4	П, ИИ	+	-	+	-
Sea Sgirt(США)	60	30	10-12	3	ИИ	+	-	+	-
UUV(США)	1000	68000	-	До10	ИИ	+	-	+	-
ARUS (США)	6000	-	240	5	П, ЭИ	+	+	+	+
LR-000(США)	>250	12600	380	8	П, ЭИ	+	-	+	-
DOLPHIN (Англия)	6000	-	100	3-4	П	+	-	+	+
DOGGIE (Англия)	6000	-	100	3-4	П	+	-	+	+
RTV- RAM (Япония)	30	-	6-8	3	П, ЭИ	+	+	+	+

Обозначения: ВК – видеокамера; ФК – фотокамера; ГАНС – гидроакустическая навигационная система; П – программа; ЭИ – элементы искусственного интеллекта; ИИ – искусственный интеллект

Каждый из ныне существующих типов подводных аппаратов имеет определенные недостатки и ограничения в эксплуатации. Международный опыт применения АНПА при обследовании протяженных подводных трубопроводов и кабелей выявил следующие проблемы при их эксплуатации:

1. Недостаточно высокая автономность за один сеанс погружения по причине ограниченной емкости аккумуляторных батарей;
2. Необходимость обеспечения работ в ограниченных районах с применением ССУ с динамическим позиционированием, что значительно увеличивает стоимость работ;
3. Малые дистанции гидроакустической связи, которые составляют единицы километров. Для устойчивой надежной связи с АНПА специализированное судно управления (ССУ) должно находиться практически над аппаратом в радиусе 200-300м [1];
4. Невозможность уточнения данных обследования за один сеанс погружения по причине того, что АНПА следует по заранее запланированной и установленной в память бортового компьютера траектории и необходима расшифровка данных на борту судна;
5. Невозможность управления АНПА в режиме «on-line» из-за отсутствия у оператора визуальной картины взаимного расположения АНПА и обследуемого объекта;
6. Высокая стоимость АНПА, что обусловлено наличием на его борту большого количества оборудования, обеспечивающего автономность;
7. Более высокая, по сравнению с другими типами подводных аппаратов, вероятность невозврата АНПА.

Достоинством неавтономных ТПА по сравнению с возможностями АНПА, является:

1. Большая продолжительность непрерывной работы в связи с практически неограниченными возможностями в электроэнергии, подаваемой на борт ТПА посредством кабеля;
2. Возможность обследования и проведения уточняющих операций на подводных протяженных объектах с использованием телевизионной и видеосъемки, как наиболее достоверных, за один сеанс погружения в режиме «on-line»;
3. Возможность размещения на борту ТПА большого количества оборудования с более высокими характеристиками по дальности обнаружения подводных объектов и разрешающей способности;
4. Достаточно высокая надежность конструкции ТПА, практически исключая риск невозврата аппарата;

-
-
5. Возможность выполнять работы на больших глубинах, в условиях более сильных течений и волнения моря вследствие применения более мощных средств движения и управления, способных их преодолевать.

К недостаткам ТПА с существующей системой их позиционирования следует отнести полную зависимость ТПА от ССУ по энергообеспечению и связи через кабель-связку, длина которой определяет радиус его действия. А также необходимость развертывания сети подводных гидроакустических маяков для координирования местоположения ТПА [5] при выполнении работ по детальному обследованию подводных объектов или выполнении ремонтных работ.

Анализируя и сравнивая возможности существующих ТПА и АНПА по производительности и себестоимости работ на подводных протяженных трубопроводах, можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительными в этих случаях являются неавтономные ТПА.

Цель работы. Теоретическое обоснование нового подхода к определению местоположения ТПА на траектории движения посредством использования ГАНС, включающей в себя: гидроакустический маяк-ответчик, устанавливаемый на ТПА, и активно-пассивный гидролокатор и судовую систему навигационную подводную (ССНП) на ССУ.

Изложение основного материала исследований. Одной из технически недостаточно решенных задач в использовании ТПА является проблема высокоточного определения его местоположения на траектории движения. В настоящее время она в основном решается путем позиционирования ТПА с помощью гидроакустической навигационной системы (ГАНС) по подводным гидроакустическим маякам (ГАМ), устанавливаемым на дне вокруг обследуемого объекта (ограниченного района), порой числом до 8 единиц [5] или вдоль трассы подводного протяженного трубопровода или кабеля.

В настоящее время место постановки ГАМ и трасс подводных трубопроводов и кабелей координируется, как и местоположение самого ССУ, с высокой точностью с помощью специальных режимов работы глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и (или) GPS. В режиме DGPS среднеквадратическая погрешность координирования не превышает +5 м, в ближайшей перспективе по ГАЛИЛЕО +1 м.

Таким образом, в настоящее время наиболее технологически сложной и дорогостоящей задачей обеспечения подводных работ с учетом риска невозврата маяка-ответчика является постановка и переустановка ГАМ. Следовательно, целесообразным является исключение из этой цепочки обеспечивающих работ донных ГАМ. Наиболее оптимальным решением данной проблемы является использование ГАНС, включающей в себя два основных элемента:

1. Активно-пассивный гидролокатор, расположенный на ССУ;
2. ГАМО, устанавливаемый на ТПА.

На рис.1 представлен возможный вариант упрощенной структурной схемы функциональной системы ССУ-ТПА.

Принцип работы предлагаемой функциональной системы ССУ-ТПА в части практически непрерывного (с дискретностью до десятков секунд) определения местоположения ТПА на траектории движения заключается в следующем. На ССУ с помощью судовой системы навигационной подводной (ССНП) формируется кодированный сигнал посылки, который через активный тракт судового гидролокатора излучается в направлении ТПА. Приемным трактом ГАМО, установленного на ТПА, данный сигнал принимается и декодируется. При совпадении кодов через некоторое время задержки ГАМО переизлучает принятый сигнал. Переизлученный сигнал принимается пассивным трактом судового гидролокатора. По времени прохождения сигнала с учетом фактической скорости звука в воде рассчитывается наклонная дальность до ТПА.

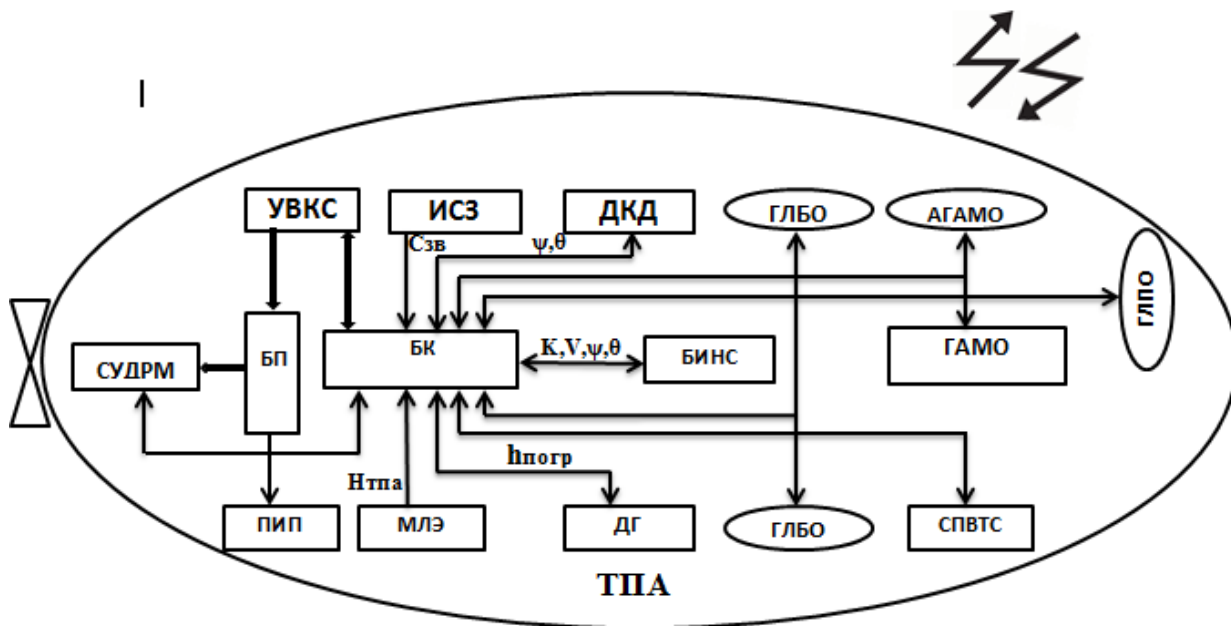
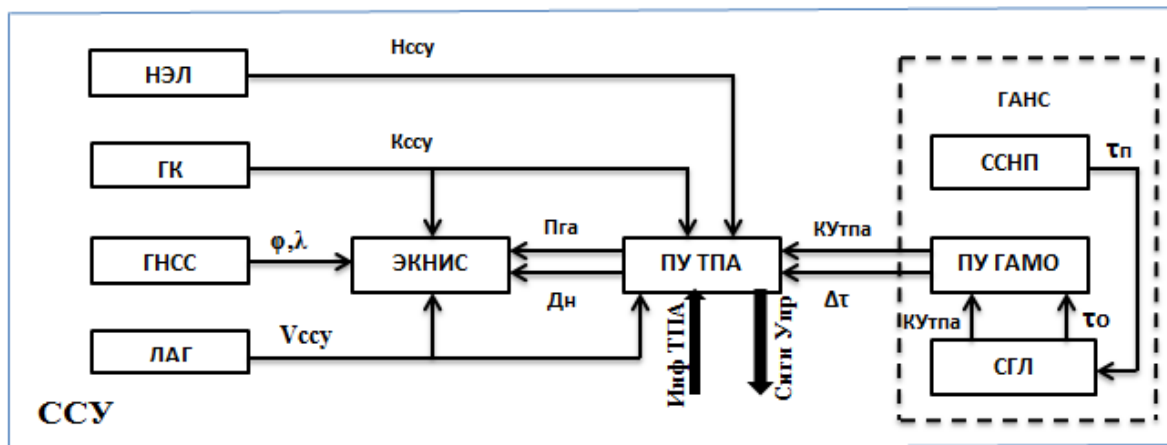


Рисунок 1 – Структурная схема функциональной системы ССУ-ТПА

Обозначения: ЭКНИС – электронно-картографическая навигационно-информационная система; НЭЛ – навигационный эхолот; ГК – гирокомпас; ГНСС – приемник глобальных навигационных спутниковых систем; ЛАГ – измеритель скорости; ПУ ТПА – пульт управления телеуправляемым подводным аппаратом; ССНП – судовая система навигационная подводная; ПУ ГАМО – пульт управления гидроакустическим маяком-ответчиком; СГЛ – судовой гидролокатор.

ГАМО – гидроакустический маяк-ответчик; АГАМО – гидроакустическая антенна ГАМО; ГЛПО – гидролокатор переднего обзора; ГЛБО – гидролокаторы бокового обзора; СПВТС – система подводной видео-, телесъемки; БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система; БК – бортовой компьютер ТПА; ДКД – датчики крена и дифферента; ДГ – датчик глубины погружения ТПА; МЛЭ – многолучевой эхолот; ИСЗ – измеритель скорости звука в воде; ПИП – подводный импульсный прожектор; СУДРМ – система управления движителями и рулевыми машинами; БП – блок питания; УВКС – устройство ввода кабель-связки

На основании наклонной дальности и глубины погружения ТПА определяется горизонтальная дальность до ТПА (1-я линия положения) по формулам 1-3:

$$D_n = C_{EU} \cdot \Delta\tau \quad (1)$$

$$\Delta\tau = 0,5(\tau_n + \tau_o) - \tau_z \quad (2)$$

$$D_r = \sqrt{D_n^2 - H_{тпа}^2} \quad (3)$$

где: D_n – наклонная дальность между ССУ и ТПА,
 CEY – скорость звука в воде,
 t_z – время задержки сигнала в трактах ГАМО,
 t_n – время прохождения сигнала посылки от ССУ до ТПА,
 t_o – время прохождения сигнала ответа от ТПА до ССУ,
 $H_{тпа}$ – глубина погружения ТПА,
 H_g – горизонтальная дальность между ССУ и ТПА.

Второй линией положения является гидроакустический пеленг (Пга) на ГАМО ТПА. По этим двум полярным координатам (Пга, Дг) практически в режиме реального времени производится позиционирование ТПА на траектории движения.

При наличии на ССУ в составе электронного комплекса управления ТПА электронной карты (ЭК) ЭКНИС с 3-х мерным изображением обследуемого участка водного пространства возможно управление ТПА в 3-х координатной системе (φ, λ, H). В этом случае на мониторе с ЭК одновременно будут наблюдаться графические символные изображения:

- ССУ, географические координаты которого непрерывно уточняются по ГНСС;
- подводного трубопровода (кабеля), трасса прокладки которого в виде географических координат представлена в ЭКНИС;
- ТПА, для чего полярные координаты (Пга, Дг) переводятся в географические. Третья координата – глубина погружения ТПА ($H_{тпа}$) формируется по разности показаний эхолотов ССУ и ТПА.

Пространственная визуализация этих 3-х объектов в 3-х мерном изображении на крупномасштабной ЭК позволит оператору ТПА осуществлять высокоточное маневрирование ТПА при выводе его в точку начала обследования на дистанцию гидроакустического или визуального контакта с объектом и управлять траекторией его движения над трассой расположения трубопровода или кабеля.

Выводы. На основании проведенных теоретических обобщений и исследований, анализа литературных данных по использованию существующих способов и методов определения местоположения ТПА на траектории движения можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее целесообразным является использование предлагаемого способа позиционирования для ТПА рабочего класса (work ROV) в связи с их высокой энергонасыщенностью.

2. Использование данной функциональной системы даст возможность:

2.1. Производить поиск и обследование на ходу и на стопе ССУ без использования судов с динамическим позиционированием в более широком диапазоне гидрометеорологических и гидрологических факторов;

2.2. Значительно снизить стоимость подводных работ за счет уменьшения необходимости в использовании донных ГАМО; снижения расходов топлива и других судовых ресурсов за счет большей производительности поисковых работ; использования высокоточных средств позиционирования ССУ и ТПА; применения менее дорогостоящих в конструктивном исполнении ТПА по сравнению с АНПА;

2.3. Упростить схему управления ТПА за счет применения 3-х координатной схемы его позиционирования с помощью расширенных возможностей ЭКНИС;

2.4. Значительно расширить диапазон поисковых работ по глубинам от мелководья до обслуживания глубоководных трубопроводов и кабелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхов Д.Г. О применении необитаемых подводных аппаратов в морской нефтегазодобывающей отрасли./ Ляхов Д. Г., Смирнов С. В., Чудаков М. И.//

-
- Подводные исследования и робототехника. Институт проблем морских технологий ДВО РАН. Дальневосточный Федеральный университет. ООО «Питер Газ», 2013. – №1(15). – 32 с.
2. Кесслер Б. В. / Шелл Интернешнл Эксплорейшн энд Продакшн ПАРК-1 2288 ГС // Райсвайк, Нидерланды, 2012. – 31 с.
 3. Бочаров Л./ Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития.// Электроника : Наука, Технологии, Бизнес, 2009. – № 7. – 69 с.
 4. Голод О. С. Перспективы и концепции разработки автономных необитаемых аппаратов / Голод О. С., Гончар А. И., Шлычек Л. И. // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану, 2007. – №4. – 102 с.
 5. Боженков Ю. А./ Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Гидрофизика.– СПб.:ИЦ РАН,2011. – т. 4. – №1. – С. 47-68.
 6. World Offshore Oil & Gas Production and Spend Forecast 2009-2013 (Douglas-Westwood and Energyfiles).

Давидов В.С., Демичев В.В.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ СУДНО УПРАВЛІННЯ-ГЛИБОКОВОДНИЙ ПІДВОДНИЙ АПАРАТ» ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ СУПУТНИКОВИХ І ГІДРОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Пропонується більш ефективний, порівняно з існуючими, спосіб підвищення ефективності експлуатації функціональної системи «спеціалізоване судно управління-глибоководний підводний апарат» шляхом використання високоточних супутникових і гідроакустичних систем позиціонування.

Ключові слова: ефективність, спеціалізоване судно управління, телекерований підводний апарат, підводний трубопровід, позиціонування, гідроакустичний маяк-відповідач.

Davydov V.S., Demichev V.V.

THE RAISE OF THE EFFICIENCY OF FUNCTIONAL SYSTEM "SPECIALIZED MANAGEMENT SHIP - DEEP UNDERWATER VEHICLE" OPERATIONS BY USE THE HIGH-PRECISION SATELLITE AND SONAR POSITIONING SYSTEMS

It is offered more effective, in comparison with existing, raise method of the efficiency functional systems "specialized management ship - deep underwater vehicle" operation by use of the high-precision satellite and sonar positioning systems.

Keywords: efficiency, specialized management freighter, long-distance submersible, underwater pipeline, positioning, hydroacoustic defendant beacon.