

УДК 629.123

*Давыдов В. С., Демичев В. В., Мусорин О. О.*

## **СПОСОБ КОНТРОЛЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТПА НА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СУДОВОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

*В статье приведено обоснование целесообразности применения при обеспечении проведения подводно-технических работ (ПТР) телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА), дополнительно оснащаемых активно-пассивными гидроакустическими маяками-ответчиками (ГАМО). Предложен не применявшийся ранее способ контроля местоположения ТПА на траектории его движения путем совместного использования более широких возможностей гидроакустической навигационной системы (ГАНС) и электронно-картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС), установленных на специализированном судне управления (ССУ).*

**Ключевые слова:** *специализированное судно управления, телеуправляемый подводный аппарат, гидроакустическая навигационная система, гидроакустический маяк-ответчик, траектория движения, подводный объект.*

**Постановка проблемы.** Подводно-технические работы, связанные с разведкой, разработкой, добычей и транспортировкой углеводородного сырья (газа, нефти) на морском континентальном шельфе и в глубоководных районах морей, за последние 30 лет приобрели 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 [1]. 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.

**Целью статьи** является анализ целесообразности применения при обеспечении проведения подводно-технических работ (ПТР) телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА), дополнительно оснащаемых активно-пассивными гидроакустическими маяками-ответчиками.

**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 таблице 1 [4].

**Изложение основного материала.** 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.

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

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 в оператора визуальной картины взаимного расположения АНПА и обследуемого объекта.

6. Более высокая по сравнению с другими типами подводных аппаратов вероятность невозврата АНПА.

Таблица 1

**Эксплуатационные характеристики некоторых типов АНПА**

Наименование (страна)	ТТХ				Оборудование				
	Рабочая глубина, м	Масса, кг	Автоном- ность, час	Скор., узл	Тип управления	ГАС	ВК	ГАНС	ФК
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XP-21 (США)	60	–	28	3–4	П, ИИ	+	–	+	–
Sea Sgirt(США)	60	30	10–12	3	ИИ	+	–	+	–
UUV(США)	1000	68 000	–	До 10	ИИ	+	–	+	–
ARUS (США)	6000	–	240	5	П, ЭИ	+	+	+	+
LR-000(США)	>250	12 600	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	+	+	+	+

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 большего 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 следует отнести зависимость ТПА от ССУ по энергообеспечению и связи через кабель-связку, длина которой определяет радиус его действия. Однако высокие энергетические возможности ТПА позволяют практически полностью компенсировать с помощью винторулевого комплекса влияние массы кабель-связки на его управляемость и плавучесть, что дает возможность значительного увеличения радиуса его действия. Наиболее существенным недостатком существующей системы обеспечения применения подводных аппаратов (ПА) всех типов, в том числе и ТПА, является необходимость развертывания сети подводных гидроакустических маяков для высокоточного их позиционирования на запланированной траектории движения [5] при выполнении работ по детальному обследованию подводных объектов или выполнении ремонтных работ.

В настоящее время эта задача в основном решается путем позиционирования ТПА с помощью гидроакустической навигационной системы (ГАНС) по донным гидроакустическим маякам (ДГАМ), устанавливаемым на дне вокруг обследуемого объекта (ограниченного района), порой числом до 8 единиц [5], или вдоль трассы подводного протяженного трубопровода или кабеля. Местоположение ПА всех типов на траектории их движения координируется ими при такой системе обеспечения в автономном режиме по гидроакустическим пеленгам на эти стационарные ДГАМ. Место постановки ДГАМ 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  $\pm 5$  м, в ближайшей перспективе по ГАЛИЛЕО  $\pm 1$  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 ДГАМ. Следовательно, целесообразным является исключение из этой цепочки обеспечивающих работ ДГАМ.

Наиболее оптимальным решением данной проблемы является использование функциональной системы, включающей в себя два основных элемента:

- 1) ССУ с установленной на нем ЭКНИС и ГАНС, в состав которой входят: СГЛ, ССНП, ПУ ГАМО, ПУ ТПА;
- 2) ТПА с установленным на нем ГАМО и другими стандартными для любого ПА элементами.

В печатных изданиях и в интернет-ресурсах публикаций по данному направлению исследований **не обнаружено**.

Способ контроля местоположения ТПА на траектории движения с помощью судовой ГАНС, включающей в себя ГАМО, и ЭКНИС предлагается **впервые**.

На рисунку 1 представлений можливий варіант упрощеної структурної схеми функціональної системи ССУ–ТПА.

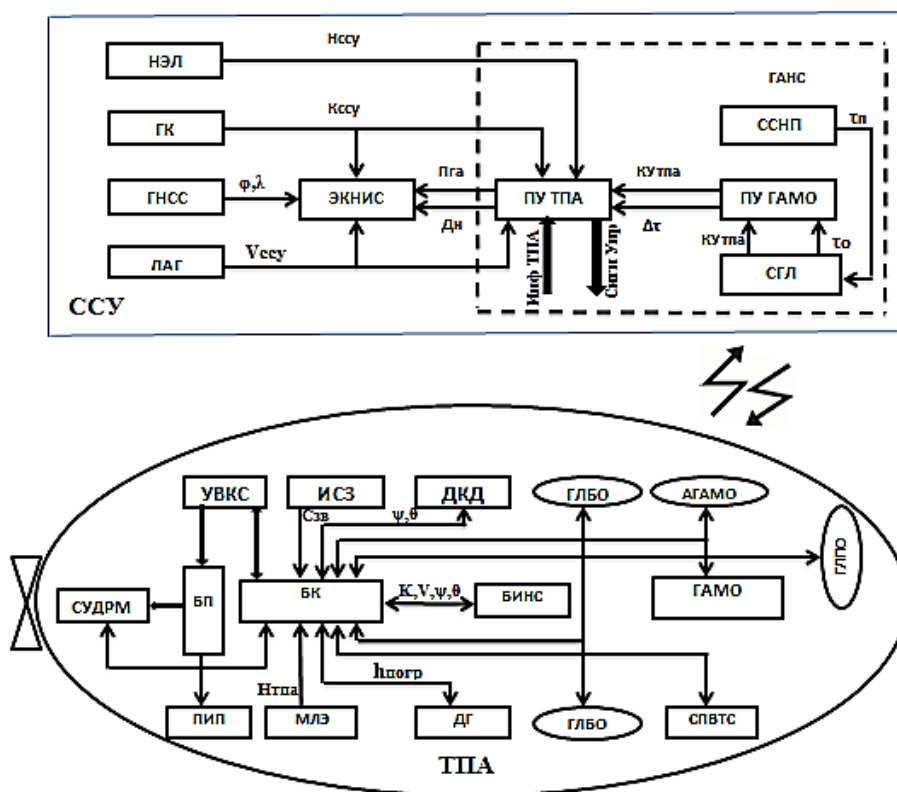


Рисунок 1. Упрощенная структурная схема функциональной системы ССУ–ТПА

**Обозначения:** ЭКНИС – электронно-картографическая навигационно-информационная система; НЭЛ – навигационный эхолот; ГК – гироскоп; 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.

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 судовой гидролокатора излучается в направлении ТПА. Приемным трактом ГАМО, установленного на ТПА, данный сигнал принимается и декодируется. При совпадении кодов через некоторое время задержки ( $t_3$ ) ГАМО переизлучает принятый сигнал. Переизлученный сигнал принимается пассивным трактом судовой гидролокатора. Кодировка сигналов посылки необходима для однозначной классификации носителя ГАМО и исключения ложных срабатываний приемных трактов

ГАМО, установленных на других ТПА, работающих в ограниченном районе.

По времени прохождения сигнала, с учетом фактической скорости звука в воде, рассчитывается наклонная дальность до ТПА. На основании величины наклонной дальности и глубины погружения ТПА по формулам 1.1–1.3 определяется горизонтальная дальность (Дг) до ТПА (1-я линия положения):

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

$$\Delta\tau = 0,5(\tau_{п} + \tau_{о}) - \tau_{з}; \quad (2)$$

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

где  $D_n$  – наклонная дальность между ССУ и ТПА;

$C_{зв}$  – скорость звука в воде;

$\tau_{з}$  – время задержки сигнала в трактах ГАНС;

$\tau_{п}$  – время прохождения сигнала посылки от ССУ до ТПА;

$\tau_{о}$  – время прохождения сигнала ответа от ТПА до ССУ;

$H_{тпа}$  – глубина погружения ТПА;

$D_g$  – горизонтальная дальность между ССУ и ТПА.

Второй линией положения является гидроакустический пеленг ( $P_{га}$ ) на ГАМО ТПА. По этим двум полярным координатам ( $P$ ,  $D$ ) 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 трехмерным изображением обследуемого участка водного пространства возможно управление ТПА в трехкоординатной системе ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $H$ ).

В этом случае на мониторе с ЭК одновременно будут наблюдаться графические символьные изображения:

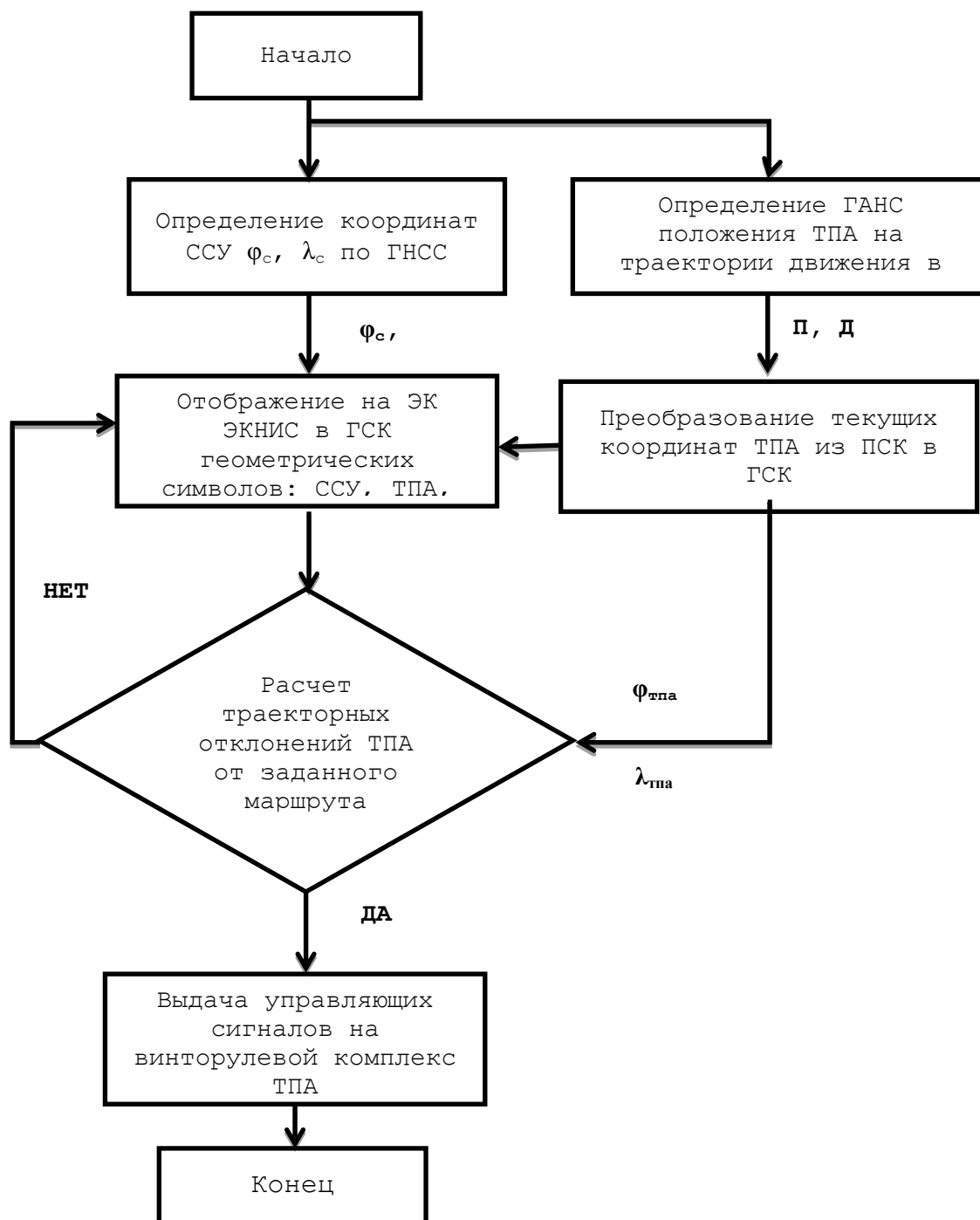
- ССУ, географические координаты которого ( $\varphi_c$ ,  $\lambda_c$ ) непрерывно уточняются по ГНСС;

- подводного объекта (ПО)-трубопровода (кабеля), трасса прокладки которых в виде географических координат представлена в ЭКНИС;

- ТПА, для чего полярные координаты ( $P$ ,  $D$ ) из полярной системы координат (ПСК) переводятся в географические координаты ( $\varphi_{тпа}$ ,  $\lambda_{тпа}$ ) географической системы координат (ГСК). Третья координата-глубина погружения ТПА ( $H_{тпа}$ ) формируется по разности показаний эхолотов ССУ и ТПА или датчика глубины погружения ТПА.

Пространственная визуализация этих трех объектов в трехмерном изображении на крупномасштабной ЭК позволит оператору ТПА осуществлять высокоточное маневрирование ТПА в режиме «on-line» 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 по данным теле- и/или видеонаблюдения.

Упрощенная схема алгоритма способа контроля местоположения ТПА на траектории движения с помощью судовой ГАНС, включающей в себя ГАМО, и ЭКНИС представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Упрощенная схема алгоритма способа контроля местоположения ТПА на траектории движения с помощью судовой ГАНС

**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 контроля положения ТПА на траектории движения с помощью судовой ГАНС, включающей в себя ГАМО, и ЭКНИС 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 в режиме «on-line», без использования судов с динамическим позиционированием, в более широком диапазоне скоростей, гидрометеорологических и гидрологических факторов.

2.2. Значительно снизить стоимость подводно-технических работ за счет:

- отсутствия 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 трехкоординатной схемы его позиционирования с помощью расширенных возможностей ЭКНИС.

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

3. Техническая реализация данного способа контроля местоположения ТПА на траектории движения с помощью судовой ГАНС, включающей в себя ГАМО, и ЭКНИС не представляет большой сложности, так как предлагаемые решения ранее частично находили применение в других сферах деятельности.

#### 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. (Электронный ресурс).
2. Б. В. Кесслер / Шелл Интернешнл Эксплорейшн энд Продакшн ПАРК-1 2288 ГС // Райсвайк, Нидерланды, 2012. – 31 с. (Электронный ресурс).
3. Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития // Электроника: Наука, Технологии, Бизнес, 2009. – №7. – 69 с. (Электронный ресурс).
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. (Электронный ресурс).
5. Боженков Ю. А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Гидрофизика. – СПб.: НЦ РАН, 2011. – Т. 4. №1. – С. 47–68. (Электронный ресурс).
6. World Offshore Oil & Gas Production and Spend Forecast 2009–2013 (Douglas-Westwood and Energyfiles). (Электронный ресурс).
7. 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.
8. Давыдов В. С. Принципы построения современных комплексов ориентации и навигации автономных подводных аппаратов с использованием гидроакустических систем / Давыдов В. С., Богомья В. И., Демичев В. В. // Водный транспорт. – К.: КДАВТ, 2015. – №2 (23). – С. 37–41.
9. Богомья В. И. Способ контроля местоположения крупнотоннажных морских судов на траектории движения путем использования системы приемников ГНСС, сопряженных с ЭКНИС/ Богомья В. И., Давыдов В. С., Кожухаренко Р. В., Демичев В. В. / Науковий твір. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір від 06.07.2015, №60486.

**В. С. Давидов, В. В. Демичев, О. О. Мусорін**  
**СПОСІБ КОНТРОЛЮ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТПА НА ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ СУДНОВОЇ ГІДРОАКУСТИЧНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

*У статті наведено обґрунтування доцільності застосування під час забезпечення проведення підводно-технічних робіт (ПТР) телекерованих підводних апаратів (ТПА), що додатково оснащуються активно-пасивними гідроакустичними маяками-відповідачами (ГАМО). Запропоновано спосіб, який не застосовували раніше, контролю місця розташування ТПА на траєкторії його руху спільним використанням ширших можливостей гідроакустичної навігаційної системи (ГАНС) й електронно-картографічної навігаційно-інформаційної системи (ЕКНІС), встановлених на спеціалізованому судні управління (ССУ).*

**Ключові слова:** спеціалізоване судно управління, телекерований підводний апарат, гідроакустична навігаційна система, гідроакустичний маяк-відповідач, траєкторія руху, підводний об'єкт.

**V. Davydov, V. Demchev, O. Musorin**  
**A METHOD FOR CONTROLLING THE LOCATION OF REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE IN THE TRAJECTORY OF MOTION WITH THE HELP OF THE SHIP SONAR NAVIGATION SYSTEM**

*The article shows the rationale for use in the provision of underwater engineering works (UEW) remotely operated underwater vehicle (ROV) additionally equipped with an active-passive sonar beacon transponders (APSBT). It is offered a not previously applied method of controlling the location of remotely operated underwater vehicle (ROUV) in the trajectory of motion by sharing more opportunities sonar navigation system (SNS) and electronic chart display and information system (ECDIS) installed on a dedicated control ship (DCS).*

**Keywords:** dedicated control ship, remotely operated underwater vehicle (ROUV), sonar navigation system, sonar beacon responder, motions route, underwater object.

УДК 537.843

**Даник О. В.**

**МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*В статье рассмотрены пути создания программного обеспечения мониторинга загрязнений водной поверхности. Также приведена разработанная структурная схема программного обеспечения. Делается вывод о необходимости построения модели функционирования комплекса и о продолжении дальнейших исследований в направлении определения функциональных характеристик.*

**Ключевые слова:** загрязнение водной поверхности, радиолокатор бокового обзора, радиофизическая аппаратура.

Всевозрастающее антропогенное загрязнение океана становится проблемой высокой общественной значимости. Поверхностное загрязнение антропогенного происхождения в основном связано с разливом нефти и нефтепродуктов. Значительное количество нефти