

АО "НПП ПТ "ОКЕАНОС", ФГБОУ ВО СПбГМТУ, НОЦ "НЕФТЕГАЗОВЫЙ ЦЕНТР МГУ", ООО "СПЛИТ"

КОНЦЕПЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПОДВОДНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ПОДЛЕ ДНЫХ АКВАТОРИЯХ

Авторский коллектив:

Гайкович Борис Александрович,

Занин Владислав Юрьевич,

Тарадонов Владимир Станиславович,

Блинков Алексей Павлович,

Кожемякин Игорь Владиленович,

Токарев Михаил Юрьевич,

Бирюков Евгений Алексеевич.

1. СЕЙСМОРАЗВЕДКА

Сейсморазведка является геофизическим методом изучения акустических свойств среды с помощью фиксации картины распространения упругих волн, с целью определения ее геологического строения и месторождений полезных ископаемых. Результатом сейсморазведочных работ являются детальные сведения об акустических свойствах изучаемого геологического разреза, анализируя и интерпретируя которые, можно сделать выводы о строении разреза.

1.1. Методы морской сейсморазведки

Существует ряд методов, основанный на использовании различных физических свойств упругих волн в геологическом разрезе – метод отраженных волн (МОВ), метод преломленных волн (МПВ), сейсмическая томография (СТ). В основном при морских исследованиях применяются методы МОВ и МПВ.

С точки зрения методики проведения работ, в зависимости от сложности рельефа возможны различные виды съемки – площадная, профильная или средняя – т.н. «квазиплощадная». От выбранного вида съемки зависит номенклатура используемого оборудования. В настоящее время наиболее интересна площадная, или 3D съемка. Квазиплощадная съемка подразумевает использование нескольких источников, разнесенных поперек относительно главного профиля исследования.

1.2. Оборудование для морской сейсморазведки-источники.

Традиционно в качестве источника упругих волн использовали взрывчатые вещества, производя регулируемые подрывы. В связи с большим

негативным влиянием на экологию и общей опасности проведения взрывных работ, в настоящее время 100% исследований производится с применением импульсных невзрывных источников, возбуждающих колебания в широкой полосе частот (сейсмопушки). Мощность источников классифицируется по давлению во фронте волны во время импульса на расстоянии 1 м от источника. Это значение обычно составляет 0.1-0.5 мПа, у некоторых систем может достигать 2 мПа.

По физическому принципу работы разделяют пневматические, газовзрывные и электроискровые источники.

У пневмоисточников пульсирующая полость образуется в результате разряда в воду заряда сжатого воздуха (при давлении до 15 мПа). Такой источник дает 5-8 интенсивных колебаний. К положительным особенностям таких источников относят малую погрешность времени импульса (до 0.001 секунды), что облегчает синхронизацию при использовании каскада из нескольких источников. Для работы пневмоисточников необходим сжатый воздух с давлением до 15 МПа.

Газовзрывные источники используют контролируемую детонацию газовой смеси в эластичных оболочках и взрывных камерах (например, смеси кислорода с пропаном, ацетиленом или водородом).

Электроискровые источники основаны на явлении электрогидравлического эффекта при разряде конденсатора на межэлектродный промежуток в воде – «пробой». При пробое и расширении канала разряда порождается серия импульсов давления (первые два импульса (первый – при пробое, второй – при схлопывании га-

зовой полости) являются более мощными, дальнейшие быстро затухают) (рис. 1).

Также в последнее время появилась информация об успешном использовании вибрационных источников типа AquaVIB производства компании GeoKinetics, в котором вместо ударного принципа используется вибрационный (рис. 2).

1.3. Оборудование для морской сейсморазведки – приемники.

Различают четыре типа приемных устройств – плавучие сейсмокосы, донные косы, автономные донные регистраторы и буйковые регистраторы.

Сейсмокосы представляют из себя секционный, как правило маслозаполненный, шланг с расположенными внутри него гидрофонами. В случае донных и буйковых регистраторов гидрофоны выполняются в виде отдельных устройств. Сейсмокосы буксируются со скоростью 4-7 узла.

2. ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ МОРСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее эффективным методом проведения сейсмических исследований являются площадные исследования (т.н. 3D сейсмоисследования) с применением нескольких источников сигнала и нескольких приемников с большим количеством гидрофонов – сейсмокос. Однако, вследствие тяжелой ледовой, климатической и штормовой обстановки, отсутствия в должном количестве береговых баз требуемого уровня оснащения и высокой стоимости использования специализированных судов, представляется важным рассмотреть вопросы разработки альтернативных методов обследования, которые, возможно, не в состоянии дать столь качественный и исчерпывающий материал «за один проход», но способны осуществить исследования в местах, недоступных или затруднительных для традиционных судов и быть при этом экономически более целесообразными.

В связи с этим ряд компаний и научно-исследовательских сообществ начал исследовать возможности использования подводных робототехнических средств для проведения сейсмоисследований.

2.1. Эксперименты компании Schlumberger.

Корпорация Schlumberger экспериментировала со специально разработанными антеннами (рис. 3)

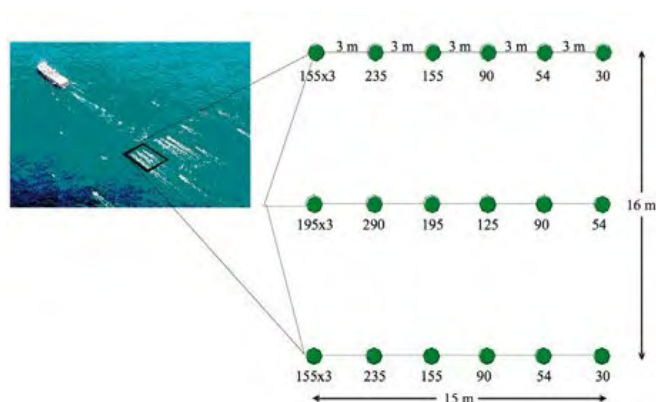


Рис. 1. Массив пневматических источников импульса, буксируемый за судном сейсморазведки.



Рис. 2. Вибрационный излучатель AquaVIB.

3D sensor Array, состоящими из нескольких гидрофонных блоков на пространственной раме. По уверениям компании, одна антенна такого типа эквивалентна 30 метрам традиционной сейсмокосы.

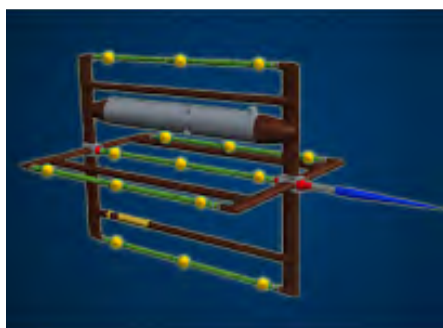


Рис. 3.
3D Sensor Array
компании
Slumberger.

В рамках эксперимента для буксировки антенн использовались волновые (т.е. поверхностные) глайдеры Liquid Robotics Wave Glider 2 (рис. 3).

В целом результаты опытных работ показали целесообразность дальнейших исследований в данном направлении, но также выявили и ограничения проекта, обусловленные применением только на открытой воде.

2.2. Проект WiMUST (Widely Scalable Underwater Sonar Technology).

Группа АНПА, способных перестраиваться в различные формации для изменения конфигурации приемного поля в зависимости от условий исследования. Проект запущен в 2014 году в соответствии с программой Евросоюза CORDIS, получил финансирование в размере >4 000 000 евро и числится законченным. При этом никакие официальные результаты и бюллетени по проекту открыто не публиковались. Ряд опубликованных статей авторства участников проекта в основном затрагивает проблематику локализации аппаратов

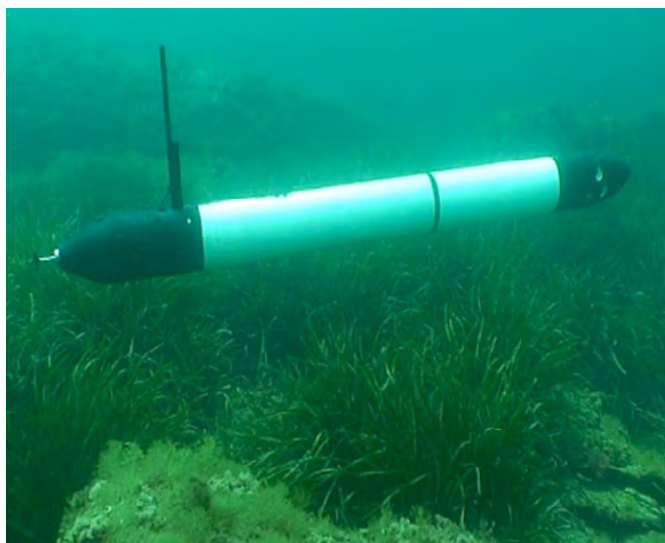


Рис. 4. АНПА Folaga (АНПА типа «гибридный глайдер»).

и поиска наиболее эффективных конфигураций строя аппаратов в зависимости от внешних условий.

В эксперименте участвовали АНПА «Folaga». Исходя из полученной информации, эксперименты по созданию и удержанию формации прошли достаточно успешно, а данные испытаний по фактическому проведению сейсмоисследований не оглашаются. Особо хочется отметить, что в качестве основного аппарата был выбран гибридный АНПА «Folaga», обладающий как чертами традиционных АНПА (с пропульсивной установкой), так и механизмом обеспечения перемещения аппарата путем изменения плавучести (подводный глайдер). Это дает потенциальную возможность для «стаи» аппаратов перемещаться/отстаиваться в районе исследований в глайдерном, энергоэффективном режиме, переходя в режим АНПА только при непосредственной надобности в построении и удержании формации (рис. 4).

Не смотря на успешность в целом проекта, использование данной технологии в морях с ледовым покровом ограничивает автономность АНПА, даже при использовании «гибридных» аппаратов.

3. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ В ЧАСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПОДВОДНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ПОДЛЁДНЫХ АКВАТОРИЯХ.

В связи с со сложностью проведения полномасштабных обследовательских работ описанными способами в условиях сложной ледовой и штормовой обстановки, характерной для представляющих интерес акваторий Российской Федерации, актуальной является проблема создания обследовательской системы, имеющей минимальную потребность в надводных компонентах, таких, как сейсмологические суда и буксируемые надводные антенны. Таким образом, предлагается распределенная система проведения сейсмообследований, состоящая из следующих компонентов:

- Универсальный гибридный надводно-подводный робот (носитель).
- Малогабаритные подводные автономные аппараты – носители сейсмоприемников с возможностью группового управления.
- Подводные автономные аппараты с возможностью отборов проб грунта и функционирования в качестве придонных станций наблюдения.

Аппарат-носитель имеет возможность двигаться

как в подводном, так и в надводном режиме (в том числе в сложной ледовой обстановке) и обладает достаточной энерговооруженностью и размерами, чтобы служить источником, носителем и командно-навигационным ядром для группы более малогабаритных автономных аппаратов, выполняющих функции сейсмоприемников. Носитель снабжен компрессорной установкой, поэтому при движении на поверхности он может использовать стандартную процедуру применения сейсмоисточников (пневматических сейсмопушек). Под водой в качестве источника газа высокого давления для работы пневматических установок может выступать система химической газогенерации – подводные системы отечественного производства обеспечивают необходимые параметры газовой среды и требуемую производительность (рис. 5).

3.1. Тяжёлый гибридный подводно-надводный робот-сейсмоисточник – носитель группы автономных необитаемых подводных аппаратов – сейсмоприёмников.

Санкт-петербургский государственный морской технический университет в содружестве с ГНИИЦ РТ МО РФ, АО «НПП ПТ «Океанос», Нефтегазовым центром МГУ им. Ломоносова, Морским научным центром МГУ им. Ломоносова разработали новый концептуальный облик робототехнического подводно-надводного аппарата повышенной автономности (РПНА ПА) «Тень» с изменяемой геометрией корпуса для проведения сейсмических, инженерно-геофизических исследований на шельфе Мирового океана и подо льдами Арктической зоны, который по своим тактико-техническим характеристикам может значительно превышать известные лучшие зарубежные надводные и подводные аналоги. Данная технология позволит проводить инженерно-геофизические исследования в недоступных ранее местах, вне зависимости от погодной и ледовой обстановки без участия человека.

Изменяемая конфигурация корпуса и надводно-подводный вариант аппарата позволяет минимизировать противоречия необходимости высокой скорости развертывания в район выполнения задачи, устойчивости при проведении поисковых действий, независимости от внешних условий (в подводном положении), а также обеспечивает функционирование высокотехнологичных морских робото-технических средств, которые способны:

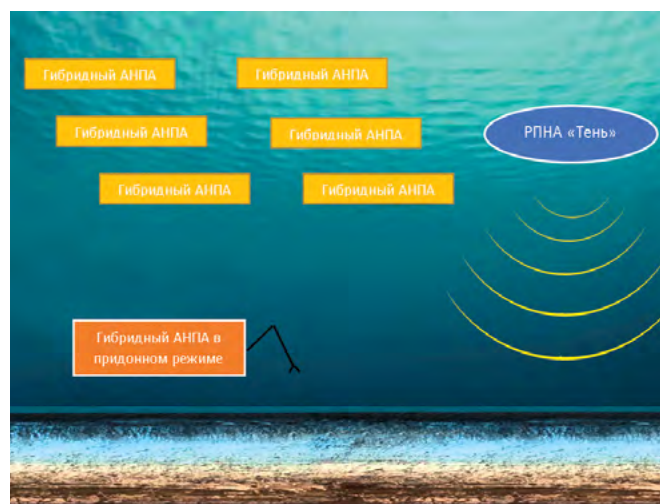


Рис. 5. Принципиальная схема функциональных элементов предлагаемой концепции..

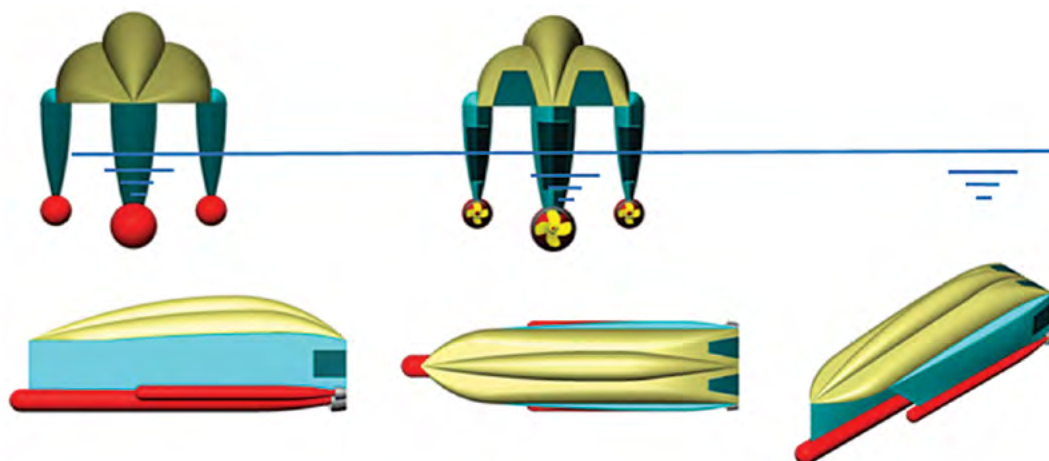
- осуществлять плавание и проводить работы не только в прикромочной зоне и среди разреженных льдов и припайных льдов, но также проникать и функционировать под массивами сплочённых льдов;

- обеспечивать возможность ведения сетечентричных наблюдений в заданных районах с большой продолжительностью во времени и разрешаемостью в пространстве.

С учетом конструктивных особенностей аналогов – прототипов автономных подводных и надводных аппаратов, разработанных на Западе, идея конструкции предлагаемого нового РПНА ПА «Тень» с изменяемой геометрией формы корпуса наглядно представлена на рис. 1.1 – 1.3.

Из этих рисунков видно, что движение этого автономного надводно-подводного аппарата (как и для дизель-электрической подводной лодки) должно быть обеспечено тремя электрическими двигателями, расположенными в трех нижних торпедообразных корпусах.

Движение этого РПНА ПА будет обеспечиваться тремя водометными движителями насосного типа в насадках, установленными в кормовых оконечностях всех трех торпедообразных корпусов. Работа этих движителей обеспечивается электромоторами, энергию для которых будут подавать аккумуляторные батареи, установленные в корпусах «Тени». Зарядка аккумуляторов будет осуществляться дизель-генератором при движении аппарата в надводном положении или под РДП. Работа дизель-генератора этого подводного

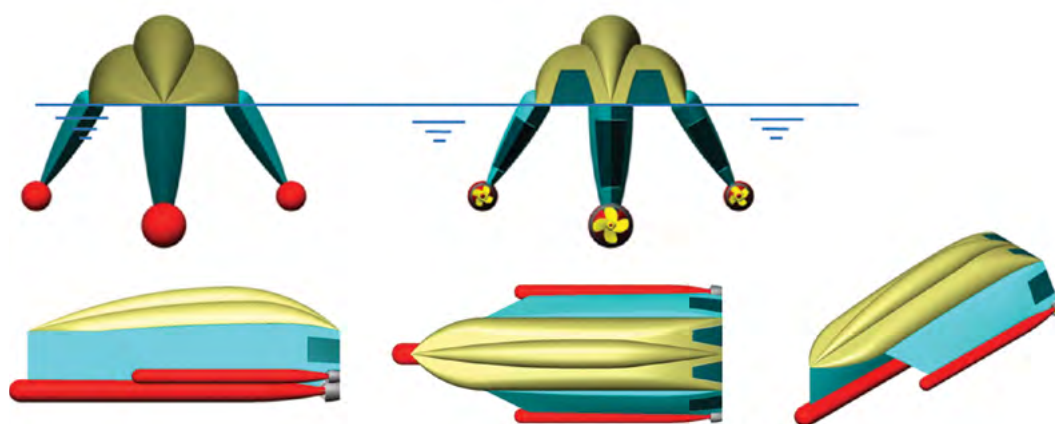


РПНА ПА «Тень»

Вариант 1

Движение в надводном положении в режиме «тримаран» при скоростном выдвигении в район и из района работ.

Рис. 6.
РПНА ПА «Тень»,
вариант 1.

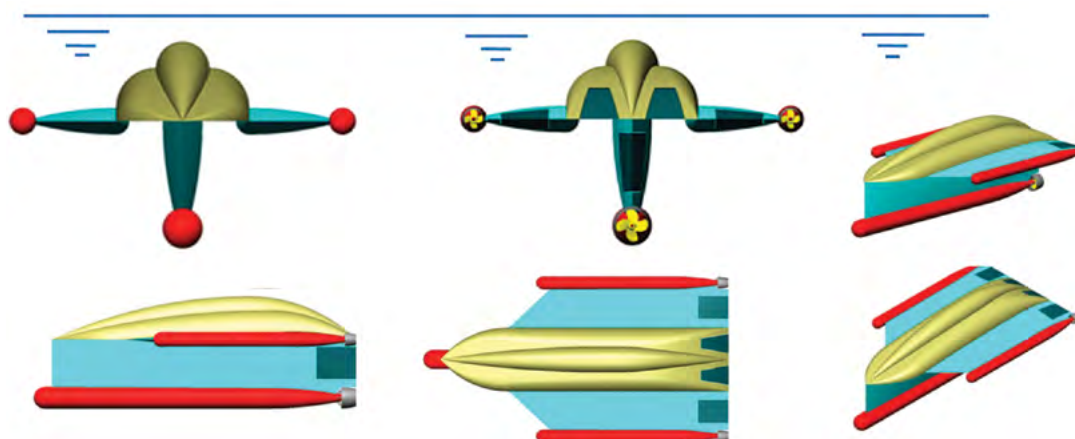


РПНА ПА «Тень»

Вариант 2

Движение в надводном положении в «малозаметном» режиме при возможности выполнения работ на открытой воде.

Рис. 7.
РПНА ПА «Тень»,
вариант 2.



РПНА ПА «Тень»

Вариант 3

Движение в подводном положении в покрытых льдом акваториях.

Рис. 8.
РПНА ПА «Тень»,
вариант 3.

аппарата при его движении под РДП должна обеспечиваться откидным или выдвигаемым шноркельным устройством, установленным в верхней средней части основного корпуса аппарата (откидной вариант) или в вертикальном среднем корпусе аппарата (выдвижной вариант).

На тихой воде или при небольшом волнении РПНА ПА «Тень» может двигаться в надводном положении – *рис. 6 – 7*. При большом волнении или штормовой погоде, а также в сложной ледовой обстановке этот автономный аппарат будет двигаться под водой на необходимой глубине – *рис. 8*.

Предложенный концепт робото-технического подводно-надводного аппарата повышенной автономности с изменяемой геометрией корпуса «Тень» по сравнению с зарубежными аналогами – прототипами имеет следующие основные преимущества.

1. Режимы движения «Тени» одновременно включают в себя режимы движения всех представленных ранее зарубежных аналогов – прототипов.

1.1. На тихой воде и при небольшом волнении РПНА ПА может перемещаться в «тримаранном» (*рис. 6*) и «малозаметном» (*рис. 7*) надводных режимах, а также под водой близко к поверхности с выдвижной или откидной мачтой со шноркелем.

1.2. При большом волнении, штормовой погоде или в условиях сложной ледовой обстановки «Тень» может двигаться под водой на необходимой глубине – *рис. 8*.

2. При движении в надводном или подводном положении при отказе работы любого из трех движителей РПНА ПА может при помощи оставшихся действующих движителей сохранять прямой ход или управляться рулями в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

2.1. Если в надводном или подводном положении откажет один из боковых движителей, то необходимо отключить второй работающий боковой движитель и идти прямым ходом при работе среднего движителя в торпедообразном корпусе или обеспечивать необходимое маневрирование в горизонтальной и вертикальной плоскостях с помощью рулей.

2.2. При отказе работы среднего движителя аналогичное движение и маневрирование «Тени» обеспечивается за счет работы двух боковых движителей и рулей.

3. Во всех трех торпедообразных корпусах можно установить автоматические устройства выпуска/подбора автономных необитаемых подводных аппаратов, пневматические сейсмоисточники на базе современных компрессоров / газогенераторов (в зависимости от режима плавания) или другую необходимую аппаратуру.

В итоге, на основании всего представленного выше, можно с большой степенью уверенности утверждать, что предложенный концепт автономного надводно-подводного аппарата «Тень» по своему конструктивному исполнению и функциональным возможностям существенно превосходит аналогичные параметры всех известных зарубежных аналогов – прототипов беспилотных аппаратов, представленных ранее.

Для оценки автономности, дальности хода, а также максимальной скорости хода РПНА ПА в надводном и подводном положении решены следующие задачи:

1. Построена теоретическая геометрическая модель РПНА ПА и выбран масштаб натурального аппарата «Тень», а также определено его объемное водоизмещение и площадь смоченной поверхности.

2. Определено гидродинамическое сопротивление этого натурального аппарата и мощность, затрачиваемая на движение «Тени» при разных скоростях хода.

3. Исходя из оптимальной скорости хода и времени обследования определена возможность размещения в этом аппарате необходимого количества аккумуляторных батарей, дизель-генератора с необходимым запасом дизельного топлива и электродвигателей для работы водометных движителей насосного типа.

Определение максимальной скорости хода «Тени» и время движения с этой скоростью хода при имеющихся запасах электроэнергии и определенных мощностях электродвигателей.

На *рис. 9* и *рис. 10* представлены предварительная компоновка энергетической установки, запаса дизельного топлива и аккумуляторных батарей, а также балластных цистерн.

Верхний крылообразный корпус РПНА ПА объемом водоизмещением 66,4м³ остается полностью свободным.

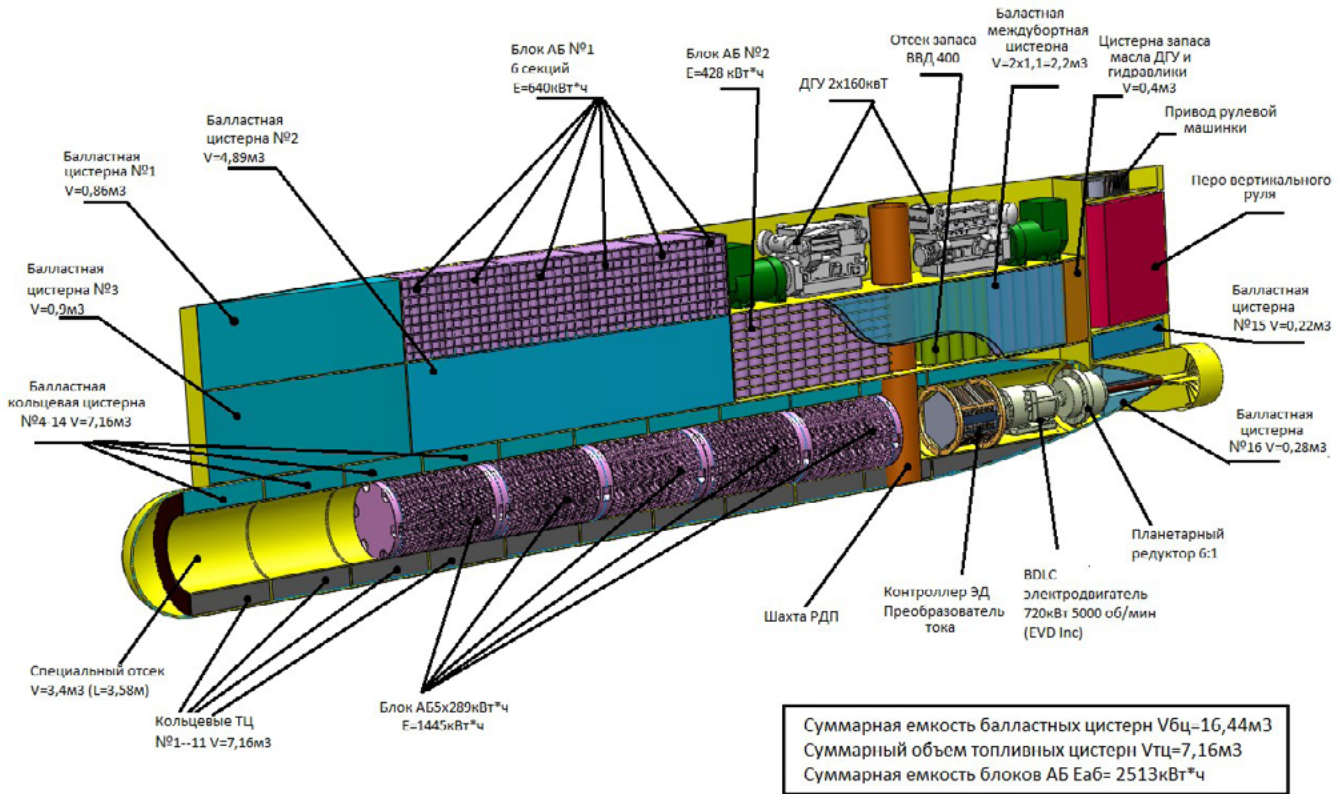


Рис. 9. Центральный корпус (предварительная компоновка).

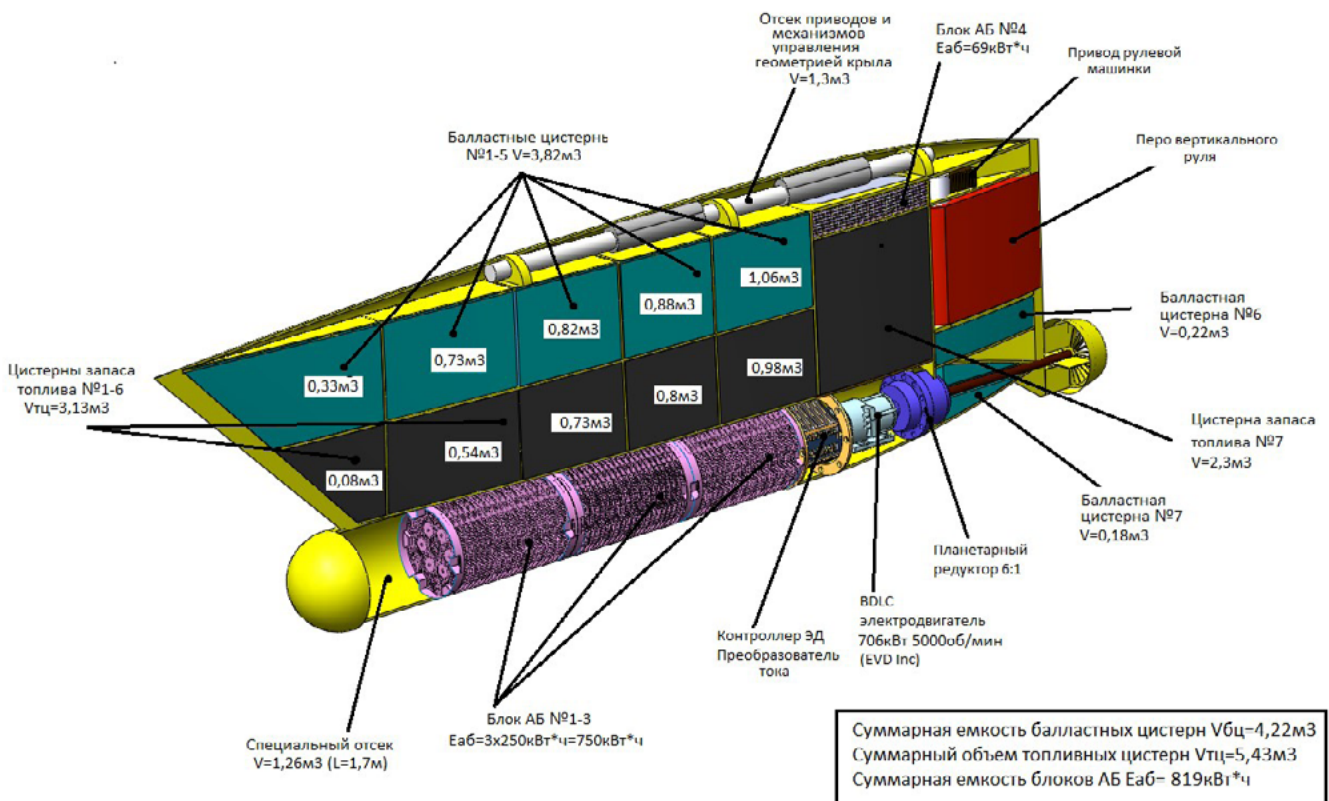
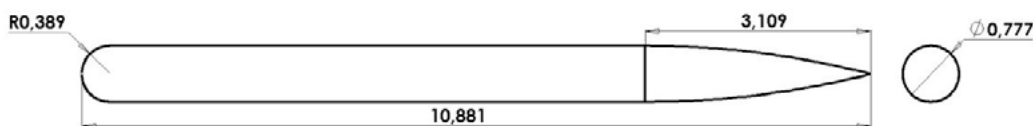


Рис. 10. Боковой корпус (предварительная компоновка).

Торпедообразный корпус

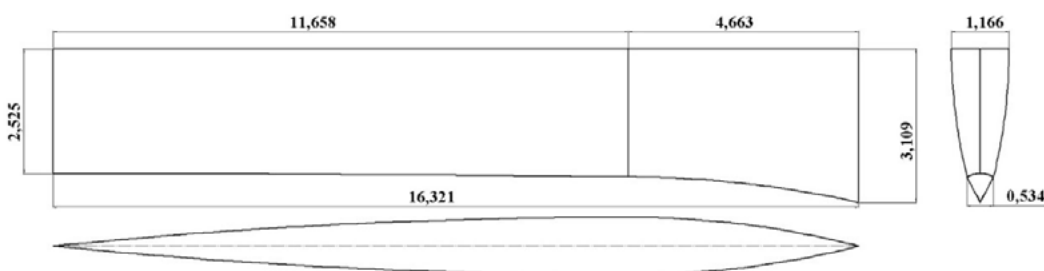


$$\nabla = 4,41577 \text{ m}^3$$

$$\Omega_{\text{общ.}} = 24,0841 \text{ m}^2$$

$$\Omega_{\text{смоч.}} = 22,9067 \text{ m}^2$$

3. Центральный корпус

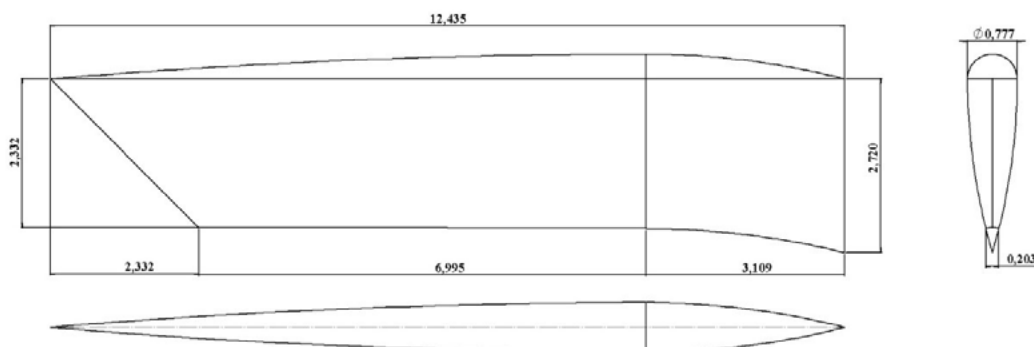


$$\nabla = 24,8937 \text{ m}^3$$

$$\Omega_{\text{общ.}} = 103,5363 \text{ m}^2$$

$$\Omega_{\text{смоч.}} = 85,8609 \text{ m}^2$$

4. Боковой корпус

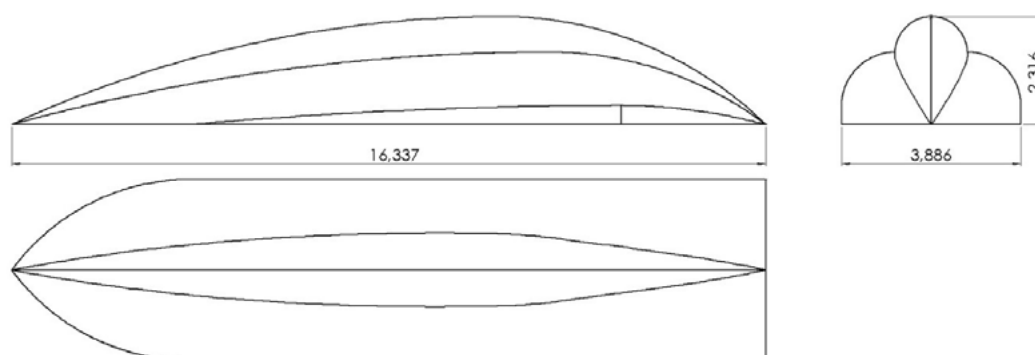


$$\nabla = 11,4238 \text{ m}^3$$

$$\Omega_{\text{общ.}} = 65,2078 \text{ m}^2$$

$$\Omega_{\text{смоч.}} = 64,0590 \text{ m}^2$$

5. Верхний корпус



$$\nabla = 66,3999 \text{ m}^3$$

$$\Omega_{\text{общ.}} = 149,2560 \text{ m}^2$$

$$\Omega_{\text{смоч.}} = 136,5542 \text{ m}^2$$

$$\Omega_{\text{max}} = 6,3458 \text{ m}^2$$

Рис. 11. Корпуса и элементы АНПА.

Тогда необходимый запас плавучести этого аппарата в подводном положении для обеспечения возможности его выхода в надводное положение приведен в *таблице 1*.

Таблица 1.

	Режим движения РПНА ПА	∇ , м ³	Необходимый запас плавучести в подводном положении, $\nabla_{зп}$, м ³	$\bar{\nabla}_{зп} = \frac{\nabla_{зп}}{138,5}$
1	Подводный	138,50	-	-
2	«Малозаметный»	69,29	69,2	0,50
3	«Тримаранный»	51,64	86,89	0,627

На данном аппарате с выбранной геометрией корпуса и всех его элементов теоретически имеется следующий запас плавучести:

1). Объем верхнего горизонтального корпуса крыльевой геометрии (*рис. 11*):

$$\nabla_{БК} = 66,4 \text{ м}^3 \quad (1)$$

2). Объем балластных цистерн центрального вертикального корпуса:

$$\nabla_{ЦК} = 2,43 + 0,35 = 2,78 \text{ м}^3 \quad (2)$$

3). Объем балластных цистерн 2-х боковых крыльевых корпусов (*рис. 11*):

$$\nabla_{БК} = 2 \cdot (0,87 + 0,51 + 0,1) = 2,96 \text{ м}^3 \quad (3)$$

В итоге суммарный запас плавучести «Тени» в подводном положении будет равен:

$$\nabla_{зп\text{е}} = 66,4 + 2,78 + 2,96 = 72,14 \text{ м}^3 \quad (4)$$

или

$$\bar{\nabla}_{зп\text{е}} = \frac{\nabla_{зп\text{е}}}{138,5} = 0,52 \quad (\text{или } 52\%) \quad (5)$$

Из сравнения данных Таблицы 1 и выражений (4) – (5) видно, что выбранная геометрия натурного противолодочного РПНА ПА, представленная в подводном положении, в данном конкретном исполнении сможет обеспечить движение этого аппарата только в «малозаметном» режиме – *рис. 6*.

Для движения в «тримаранном» режиме этому аппарату не хватает запаса плавучести, равного:

$$\nabla_{зп\text{тр.}} = 86,89 - 72,14 = 14,75 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Отсюда следует вывод, заключающийся в том, что для обеспечения движения этого натурного аппарата в «тримаранном» режиме необходимо увеличить объем дополнительных балластных цистерн, по крайней мере, на 15 м³, то есть объемное

подводное водоизмещение РПНА ПА должно быть не менее, чем

$$\nabla_{\text{н}} = 138,5 + 15 = 153,5 \text{ м}^3 \quad (7)$$

Соответственно его габаритные размеры и размеры всех корпусных элементов увеличатся на величину равную

$$\sqrt[3]{\frac{153,5}{138,5}} = 1,035 \quad (\text{т.е. на } 3,5\%) \quad (8)$$

а площадь смоченной поверхности на $1,035^2 = 1,071$, т.е. на 7,1 %. При этом естественно увеличится гидродинамическое сопротивление натурного РПНА ПА и мощность, затрачиваемая на его движение, не менее чем на 7-10 % при всех режимах его движения. Это, в свою очередь приведет к определенному уменьшению максимальной скорости хода аппарата, а также дальности хода и автономности при аналогичных затратах мощности ЭУ.

Существует и другой вариант увеличения объемного водоизмещения натурного противолодочного РПНА ПА, заключающийся в том, чтобы при тех же главных габаритных размерах аппарата определенным образом изменить геометрию всех элементов корпуса этого аппарата с целью одновременно минимизировать сопротивление движению под водой с заданными скоростями хода этого аппарата.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ФАКТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ НАТУРНОГО АППАРАТА «ТЕНЬ-2», А ТАКЖЕ ЕГО ТРАНСПОРТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ

Удельные затраты фактической мощности на движение натурного аппарата «Тень» при его движении в подводном, «малозаметном» и «тримаран-

ном» режимах движения определяются как:

$$N_{\nabla} = \frac{N_{\text{факт.}}}{\nabla}, \text{ кВт/м}^3 \quad (9)$$

где $N_{\text{факт.}}$ – фактические затраты мощности на движение аппарат «Тень-2», а ∇ – его объемное водоизмещение при соответствующих режимах движения.

Согласно данным рис. 2.2.7 объемное водоизмещение натурального аппарата «Тень-2» при трех различных режимах его движения равны:

$$\left. \begin{aligned} \nabla_{\text{П}} &= 169,222 \text{ м}^3 \\ \nabla_{\text{М}} &= 99,530 \text{ м}^3 \\ \nabla_{\text{Тр.}} &= 74,648 \text{ м}^3 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Можно определить удельные затраты фактической мощности натурального автономного надводно-подводного аппарата «Тень» при указанных режимах движения в зависимости от скорости его хода – таблица 2.2.

Таблица 2. Удельные затраты фактической мощности на единицу объемного водоизмещения натурального аппарата «Тень».

V, узл.	V, м/с	$N_{\nabla_{\text{П}}}$, кВт/м ³	$N_{\nabla_{\text{М}}}$, кВт/м ³	$N_{\nabla_{\text{Тр.}}}$, кВт/м ³
0	0	0	0	0
2	1,05	0,007	0,009	0,009
4	2,06	0,053	0,069	0,062
6	3,09	0,169	0,220	0,20
8	4,12	0,386	0,501	0,456
10	5,15	0,732	0,952	0,865
12	6,18	1,236	1,610	1,461
14	7,21	1,926	2,503	2,275
16	8,24	2,827	3,676	3,341
18	9,27	3,968	5,160	4,689
20	10,3	5,374	6,987	6,350
22	11,33	7,072	9,193	8,355
24	12,36	9,087	11,812	10,734
26	13,39	11,443	14,876	13,518
28	14,42	14,168	18,417	16,737
30	15,45	17,286	22,472	20,419
32	16,48	20,822	27,064	24,594
34	17,51	24,799	32,234	29,292
36	18,54	29,244	38,011	34,542

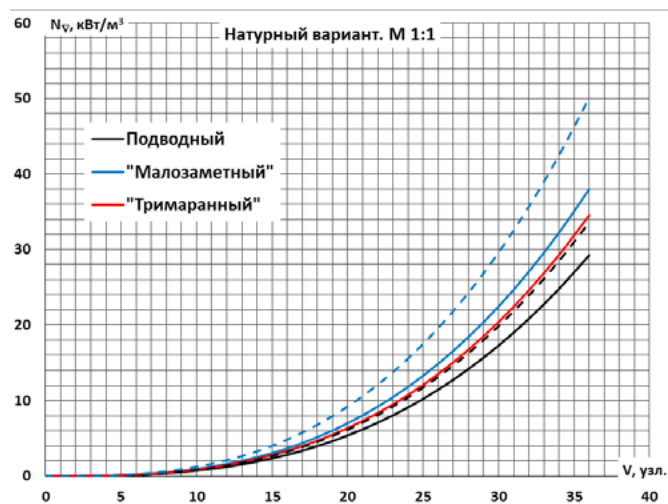


Рис. 12.

Согласно данным таблицы 2 на рис.12 сплошными линиями представлено изменение удельных затрат фактической мощности на единицу объемного водоизмещения натурального аппарата «Тень».

Штриховыми линиями на этом рисунке представлены аналогичные характеристики ранее исследованного в [1] натурального автономного аппарата «Тень». Здесь следует также напомнить, что вследствие относительно малого запаса плавучести натуральный аппарат «Тень» не способен был выйти на «тримаранный» режим движения.

Согласно данным Таблицы 2, рисунку 12 и [1] N_{∇} натурального аппарата «Тень» объемным подводным водоизмещением 169,222 м³, по сравнению с аналогичным аппаратом «Тень» с $\nabla_{\text{П}} = 138,5 \text{ м}^3$, практически на всех скоростях хода при движении под водой имеет удельные затраты фактической мощности на движение на 12,9% меньшие, а в надводном «малозаметном» режиме движения – на 23,8%.

Здесь также можно определить изменение параметра транспортной эффективности E_{T} в зависимости от числа Фруда по объемному водоизмещению F_{∇} для натурального аппарата «Тень-2». Транспортная эффективность, согласно [1], определяется как:

$$E_{\text{T}} = \frac{\gamma \cdot \nabla \cdot V}{102 \cdot N_{\text{факт.}}} \quad (11)$$

где γ – удельный вес воды, равный 1000 кг/м³;

∇ – объемное водоизмещение, м³;

V – скорость хода, м/с;

$N_{\text{факт.}}$ – фактические затраты мощности при движении с этой скоростью хода, кВт.

Число Фруда по объемному водоизмещению равно: Расчет E_T в зависимости от Fn_V натурального автономного аппарата «Тень» при различных режимах его движения, с учетом Таблицы 2.2.6, представлен в таблице 3.

$$Fn_V = \frac{v}{\sqrt{g \cdot v^{1/3}}} \quad (12)$$

Таблица 3.

V, узл.	V, м/с	Подводный ход		«малозаметный» режим		«тримаранный» режим	
		$Fn_{Vп}$	$E_{Тп}$	$Fn_{VМ}$	$E_{ТМ}$	$Fn_{VТр.}$	$E_{Ттр.}$
2	1,05	0,140	1388,10	0,153	1066,9	0,160	1174,14
4	2,06	0,280	382,30	0,306	293,9	0,321	323,52
6	3,09	0,419	179,40	0,458	137,9	0,481	151,77
8	4,12	0,559	104,75	0,611	80,57	0,641	88,63
10	5,15	0,70	68,98	0,764	53,05	0,801	58,37
12	6,18	0,839	49,02	0,917	37,70	0,962	41,48
14	7,21	0,979	36,71	1,069	28,24	1,122	31,07
16	8,24	1,119	28,57	1,222	21,98	1,282	24,18
18	9,27	1,258	22,90	1,375	17,62	1,442	19,38
20	10,3	1,398	18,79	1,528	14,45	1,603	15,90
22	11,33	1,538	15,71	1,680	12,08	1,763	13,30
24	12,36	1,678	13,33	1,833	10,26	1,923	11,29
26	13,39	1,818	11,47	1,986	8,82	2,083	9,79
28	14,42	1,958	9,98	2,139	7,68	2,244	8,45
30	15,45	2,097	8,76	2,291	6,74	2,404	7,42
32	16,48	2,237	7,76	2,444	5,97	2,564	6,57
34	17,51	2,377	6,92	2,597	5,33	2,724	5,86
36	18,54	2,517	6,22	2,750	4,78	2,884	5,26

В соответствии с этой таблицей на рис. 13 представлено изменение E_T в зависимости от Fn_V при различных режимах движения натурального аппарата «Тень».

Согласно данным для натурального аппарата «Тень» зависимость транспортной эффективности E_T от числа Фруда по водоизмещению можно представить следующими приближенными формулами:

- для подводного хода
$$E_{Тп} = \frac{35,16}{Fn_V^{1,87}}, \quad (13)$$

- для надводного «малозаметного» режима движения
$$E_{ТМ} = \frac{31,91}{Fn_V^{1,87}}, \quad (14)$$

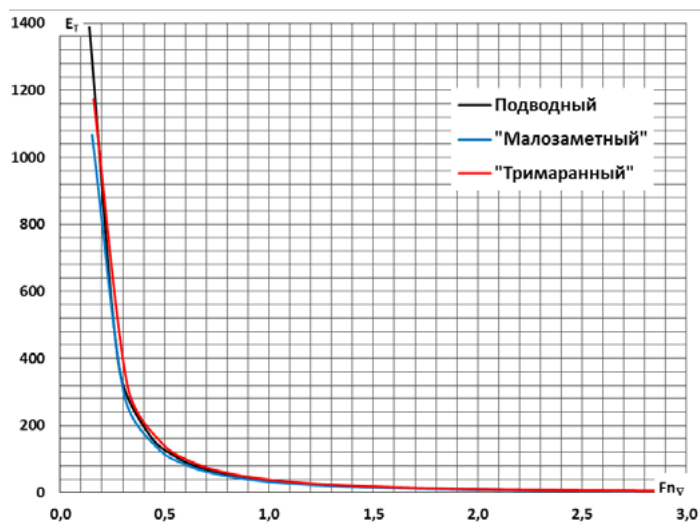


Рис. 13.

Основными параметрами энергоустановки, определяющими эксплуатационные характеристики аппарата «Тень» – дальность и продолжительность хода – являются:

- величина максимальной мощности, соответствующая принятой суммарной максимальной мощности ЭД.

- массы и условно занимаемые объемы элементов ЭДК (обеспечивающих требуемую максимальную мощность ЭУ).

- масса и энергоемкость энергосодержащих элементов аппарата.

- мощность и массо-габаритные характеристики ДГУ (в соответствии с принятым временем заряда АБ).

Предлагаемые методы расчета основных параметров и характеристик элементов ЭУ основаны на алгоритмах расчета энергетических установок подводных объектов, представленных в [3-4] и предназначены для определения:

1. Требуемых величин максимальной мощности и массо-габаритных характеристик элементов ЭДК- в соответствии с принятой величиной суммарной максимальной мощности ЭД.

2. Времени заряда аккумуляторной батареи аппарата «Тень» РЭА при движении аппарата в подводном положении под РДП со скоростью 6 узлов в зависимости от кратности избытка мощности ДГУ и массового соотношения располагаемых энергозапасов. Кратность избытка мощности ДГУ определяется как отношение мощности ДГУ, требуемой на обеспечение заряда полностью разряженной АБ, к мощности необходимой для функционирования этого аппарата при движении под РДП со скоростью 6 узлов.

$$N_{РЭА}=0,5\text{кВт}; E_{ЭН} =72573,9\text{кВт}\cdot\text{ч}; N_{ФК} =274,3\text{кВт};$$

Скорость хода, V (узл.)	Факт мощность, N _ф , (кВт)	Потребляемая мощность, N _{АБ} ⁻ , (кВт)	Время заряда* АБ, T _{зАБ} , (ч)	Продолжительность движения, T _а (сут)	Дальность хода D _а (мили)
-	Табл.4.1.2	(4.2.5)	(4.2.11)	(4.2.14)	(4.2.2)
2	0,942	1,55	13,58	1946,28	93421,27
4	6,84	8,15	13,88	370,99	35614,70
6	21,86	24,95	14,70	121,19	17451,31
8	49,9	56,32	16,54	53,69	10309,42
10	94,72	106,45	20,67	28,41	6817,60
12	159,95	179,41	32,47	16,85	4854,04
14	249,16	279,20	148,21	10,83	3639,06
14,45	274,3	307,32	Г	9,84	3412,34

Таблица 4. Результаты расчета основных параметров движения натурального аппарата «Тень» в «малозаметном» режиме со скоростями хода не превышающими крейсерскую скорость.

* - Расчет производился при условии полностью разряженной АБ.

3. Параметров ДГУ в соответствии с принятым временем заряда АБ и оценки параметров энергосодержащих элементов аппарата «Тень».

Определенные в соответствии с указанным перечнем параметры дадут возможность произвести расчеты по определению автономности и дальности хода выбранного натурального варианта робототехнического подводно-надводного аппарата «Тень».

Предлагаемые методы являются приближенными, так как расчеты базируются на аппроксимациях и осреднениях удельных коэффициентов, представленных разработчиками энергетического оборудования. Результаты расчетов будут корректироваться на дальнейших стадиях проектирования – на основании параметров и характеристик конкретного перечня оборудования натурального надводно-подводного аппарата «Тень».

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АППАРАТА «ТЕНЬ-2» В «МАЛОЗАМЕТНОМ» РЕЖИМЕ

Крейсерская скорость хода этого аппарата в «малозаметном» режиме составляет:

$$V_{К} = 2,0482 \cdot N_{ФК}^{0,3481} = 2,0482 \cdot 274,3^{0,3481} = 14,5 \text{ узлов} \quad (13)$$

В соответствии с выражениями (4.2.15) и (4.2.17) максимальная скорость хода аппарата «Тень-2» в «малозаметном» режиме составляет:

$$V_{max} = 2,0482 \cdot N_{Фmax}^{0,3481} = 2,0482 \cdot 2028,6^{0,3481} = 29,0 \text{ узлов} \quad (14)$$

Результаты расчета основных параметров движения аппарата в малозаметном режиме приведены в таблицах 4-5.

Таблица 5. Результаты расчета основных параметров движения аппарата «Тень» в «малозаметном» режиме со скоростями хода, превышающими крейсерскую скорость.

$$N_{P3A} = 0,5 \text{ кВт}; N_{\Phi_{max}} = 2028,6 \text{ кВт}; V_{3AB} = 6 \text{ узлов}; T_{3AB} = 14,7 \text{ ч.}$$

Скорость хода, V (узл.)	Факт мощность Nф, (кВт)	Потребляемая мощность N _{AB} (кВт)	Время цикла хода, T _x (ч)	Дальность цикла хода D _x , (миль)	Кол-во полных циклов n	Усл. продолж. хода T _y (ч)	Усл. дальность хода D _y (миль)
-	таб.4.1.2	(4.2.5)	(4.2.19)	(4.2.20)	(4.2.22)	(4.2.23)	(4.2.24)
16	365,84	409,72	40,48	647,62	4,00	161,90	2590,48
18	513,45	574,83	15,50	279,08	7,00	108,53	1953,59
20	695,38	778,33	8,81	176,15	9,00	79,27	1585,36
22	914,99	1023,98	5,79	127,36	10,00	57,89	1273,60
24	1175,61	1315,50	4,12	98,77	11,00	45,27	1086,45
26	1480,54	1656,59	3,08	79,95	12,00	36,90	959,43
28	1833,04	2050,88	2,38	66,63	13,00	30,94	866,22
29	2028,6	2269,63	2,11	61,32	13,00	27,49	797,16

Результаты вычислений основных параметров в соответствии с располагаемыми характеристиками «малозаметного» режима движения этого аппарата элементов ЭУ представлены в сводной таблице 6.

Таблица 6. Сводная таблица параметров энергетической установки аппарата «Тень» и результаты расчетов основных параметров его движения в «малозаметном» режиме. (Объемное водоизмещение $\nabla = 99,53 \text{ м}^3$).

γ	Соотношение масс AB и ДТ		Масса энергоносителей, тонн 47,3		Энергоемкость энергоносителей, кВт·ч 182770,3		Мощность ДГУ, кВт 320		Мощность ЭД, кВт 2134			Скорость патрулирования 6 узлов		Крейсерская скорость 14,45 узла			Время непрерывн. движ. при макс. скорости 29,0 узла, час	
			AB	ДТ	AB	ДТ	№1	№2	ЦК	БК	БК	Дальн. хода, мили	Продолж. хода		Дальн. хода, мили	Продолж. хода		
													сут.	час.		сут.		час.
0,68	2,13	32,2	15,1	4149,5	178620,8	160	160	720	707	707	17451,3	121,2	2908,8	3412,3	9,84	236,16	2,11	

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АППАРАТА «ТЕНЬ» В «ТРИМАРАННОМ» РЕЖИМЕ

Крейсерская скорость хода этого аппарата в «тримаранном» режиме составляет:

$$V_K = 2,3407 \cdot N_{\Phi_K}^{0,3481} = 2,3407 \cdot 274,3^{0,3481} = 16,5 \text{ узлов} \quad (14)$$

Максимальная скорость хода аппарата «Тень» в

«тримаранном» режиме составляет:

$$V_{max} = 2,3407 \cdot N_{\Phi_{max}}^{0,3481} = 2,3407 \cdot 2028,6^{0,3481} = 33,15 \text{ узла} \quad (15)$$

Результаты расчета основных параметров движения РПНА ПА «Тень» в «тримаранном» режиме приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7. Результаты расчета основных параметров движения натурального аппарата «Тень-2» в «тримаранном» режиме со скоростями хода не превышающими крейсерскую скорость.

$$N_{P3A}=0,5\text{кВт}; E_{ЭН} = 72573,9\text{кВт}\cdot\text{ч}; N_{ФК}=274,3\text{кВт};$$

Скорость хода, V (узл.)	Факт мощность, Nф, (кВт)	Потребляемая мощность, N_{AB}^- , (кВт)	Время заряда* АБ, T _{зАБ} , (ч)	Продолжительность движения, Ta(сут)	Дальность хода Da (мили)
-	Табл.4.1.2	(4.2.5)	(4.2.11)	(4.2.14)	(4.2.2)
2	0,642	1,22	13,56	2482,44	119157,16
4	4,66	5,71	13,76	529,35	50817,37
6	14,9	17,17	14,31	176,15	25365,64
8	34,02	38,55	15,45	78,43	15059,29
10	64,57	72,73	17,70	41,58	9979,09
12	109,03	122,46	22,46	24,69	7111,75
14	169,84	190,48	35,55	15,88	5334,14
16	249,37	279,44	149,46	10,82	4155,43
16,5	274,3	307,32	Г	9,84	3896,45

* – Расчет производился при условии полностью разряженной АБ.

Таблица 8. Результаты расчета основных параметров движения аппарата «Тень» в «тримаранном» режиме со скоростями хода, превышающими крейсерскую скорость.

$$N_{P3A}=0,5\text{кВт}; N_{Фmax} = 2028,6\text{кВт}; V_{зАБ} = 6 \text{узлов}; T_{зАБ} = 14,31 \text{ч.}$$

Скорость хода, V (узл.)	Факт мощность Nф, (кВт)	Потребляемая мощность, N_{AB}^- , (кВт)	Время цикла хода, Tх (ч)	Дальность цикла хода, Dx, (миль)	Кол-во полных циклов n	Усл. продолж. хода Ty(ч)	Усл. дальность хода Dy(миль)
-	таб.4.1.2	(4.2.5)	(4.2.19)	(4.2.20)	(4.2.22)	(4.2.23)	(4.2.24)
18	349,98	391,98	48,95	881,03	3,00	146,84	2643,10
20	473,98	530,68	18,57	371,35	6,00	111,41	2228,13
22	623,66	698,11	10,62	233,53	8,00	84,92	1868,25
24	801,29	896,80	7,04	168,91	10,00	70,38	1689,08
26	1009,12	1129,27	5,05	131,24	11,00	55,52	1443,62
28	1249,36	1397,99	3,80	106,52	12,00	45,65	1278,18
30	1524,23	1705,46	2,97	89,03	12,00	35,61	1068,35
32	1835,92	2054,10	2,38	76,01	13,00	30,88	988,14
33,15	2028,6	2269,63	2,11	70,11	13,00	27,49	911,44

Результаты вычислений основных параметров «тримаранного» режима движения этого аппарата в соответствии с располагаемыми характеристиками элементов ЭУ представлены в сводной таблице 9.

Таблица 9. Сводная таблица параметров энергетической установки аппарата «Тень» и результаты расчетов основных параметров его движения в «тримаранном» режиме. (Объемное водоизмещение $\nabla = 74,65 \text{ м}^3$).

γ	Соотношение масс АБ и ДТ		Масса энергоносителей, тонн 47,3		Энергоемкость энергоносителей, кВт·ч 182770,3		Мощность ДГУ, кВт 320		Мощность ЭД, кВт 2134			Скорость патрулирования 6 узлов		Крейсерская скорость 16,5 узла		Время непрерывн. движ. при макс. скорости 34,15 узла, час		
			АБ	ДТ	АБ	ДТ	№1	№2	ЦК	БК	БК	Дальн. хода, мили	Продолж. хода		Дальн. хода, мили		Продолж. хода	
													сут.	час.			сут.	час.
0,68	2,13	32,2	15,1	4149,5	178620,8	160	160	720	707	707	25365,6	176,15	4227,6	3896,45	9,84	236,16	2,11	

Результаты вычислений основных параметров движения при скорости патрулирования 6 узлов для всех режимов движения аппарата «Тень-2» в соответствии с располагаемыми характеристиками элементов и состава ЭУ представлены в сводной таблице 10.

Таблица 10. Основные параметры движения аппарата «Тень-2» при скорости патрулирования 6 узлов.

Соотношение масс АБ и ДТ	Масса энергоносителей, тонн 47,3		Энергоемкость энергоносителей, кВт·ч 182770,3		Мощность ДГУ, кВт 320		Мощность ЭД, кВт 2134			Режимы движения аппарата «Тень»																	
										Подводный $\nabla, \text{ м}^3 = 169,2$ $V_{\text{max}} (\text{узл.}) = 26,4$				Малозаметный $\nabla, \text{ м}^3 = 99,53$ $V_{\text{max}} (\text{узл.}) = 29,0$		Тримаранный $\nabla, \text{ м}^3 = 74,65$ $V_{\text{max}} (\text{узл.}) = 33,15$											
										Скорость патрулирования 6 узлов										Дальн. хода, мили		Продолж. хода		Дальн. хода, мили		Продолж. хода	
										АБ	ДТ	АБ	ДТ	№1	№2	ЦК	БК	БК	Дальн. хода, мили	Продолж. хода	Дальн. хода, мили	Продолж. хода	Дальн. хода, мили	Продолж. хода			
2,13	32,2	15,1	4149,5	178620,8	160	160	720	707	707	12770,7	88,7	2128,5	17451,3	121,2	2908,8	25365,6	176,15	4227,6									

В итоге можно построить сводную таблицу тактико-технических характеристик о тримаране «Морской охотник» и аппарата «Тень» при движении под водой и в надводном «малозаметном» и «тримаранном» режимах – *таблица 11*.

Таблица 11 . Сводная таблица тактико-технических характеристик тримарана «Морской охотник» и аппарата «Тень».

Параметр	Беспилотный тримаран «Морской охотник»*	«Тень» подводный режим движения	$\frac{(3)}{(2)}$	«Тень» полупогружной «малозаметный» режим движения*	$\frac{(5)}{(2)}$	«Тень» надводный «тримаранный» режим движения*	$\frac{(8)}{(2)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Водоизмещение, тонн	138,5	169,22	1,22	99,53	0,72	74,65	0,54
Максимальная длина, м	43,2	17,3	0,40	17,3	0,40	17,3	0,40
Максимальная ширина, м	12,2	10,4	0,85	7,6	0,62	5,0	0,41
Максимальная высота, м	12,2	6,24	0,51	6,24	0,51	6,24	0,51
Максимальная скорость надводного (для «Морского охотника») и подводного (для «Тени-2») хода, узл.	27	26,43	0,98	29,9	1,11	34,15	1,26
Скорость патрулирования, узл.	6	6	1,0	6	1,0	6	1,0
Количество гребных двигателей	2	3	-	3	-	3	-
Количество дизель-генераторных установок	-	2	-	2	-	2	-
Общая мощность двигателей, кВт	2134	2134	1	2134	1	2134	1
Масса запаса дизельного топлива, тонн	40	15,1	0,38	15,1	0	15,1	
Масса аккумуляторных батарей, тонн	-	32,2	-	32,2	-	32,2	-
Назначенное потребление радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), кВт	-	0,5	-	0,5	-	0,5	-
Относительный вес дизельного топлива по сравнению с водоизмещением	0,29 (29%)	0,09 (9%)	0,31	0,15 (15%)	0,51	0,2 (20%)	0,7
Относительный вес аккумуляторных батарей по сравнению с водоизмещением	-	0,19 (19%)	-	0,32 (32%)	-	0,43 (43%)	-
Автономность «Морского охотника» и продолжительность хода «Тени-2» при скорости хода 6 узлов, сутки	70	88,7	1,27	121,2	1,73	176,15	2,52
Дальность надводного хода «Морского охотника» и хода «Тени-2» при скорости патрулирования 6 узлов, мили	10080	12770	1,28	17451,3	1,75	25365,6	2,54

* – на тихой воде или при малом волнении.

Таким образом продемонстрирована реальность концептуального предложения по созданию тяжёлого гибридно подводно-надводного робота – сейсмоисточника – носителя группы автономных необитаемых подводных аппаратов – сеймоприёмников.

1. Разработана оптимальная геометрия автономного необитаемого надводно-подводного аппарата с изменяемой геометрией «Тень-2», способного двигаться в надводном «тримаранном» и «малозаметном» режимах, а также в подводном положении.

2. Разработаны приближенные методы расчета основных параметров энергоустановки (ЭУ) для натурального аппарата «Тень», а также один из вариантов предварительной компоновки ЭУ на этом аппарате.

3. Определены автономность и дальность хода надводно-подводного аппарата «Тень» при его движении в подводном, надводном «малозаметном» и «тримаранном» режимах.

В целом проведенные исследования показали, что тактико-технические характеристики (в том числе автономность и дальность хода) в подводном, полупогружном и надводном положении аппарата «Тень» могут существенно превышать такие же параметры лучших известных зарубежных аналогов. В частности, при объемном водоизмещении аппарата «Тень» на 22% больше, чем у американского роботизированного тримарана «Морской охотник» водоизмещением 138,5 тонн и равных мощностях энергетических установок, максимальная скорость подводного хода аппарата «Тень» равна 26,43 узла (98% от максимальной скорости хода «Морского охотника»), при движении в надводном «малозаметном» или полупогружном режиме – 29,9 узла (110%) и при движении в режиме «тримарана» – 34,15 узла (126%). Автономность и дальность хода надводно-подводного аппарата «Тень» по сравнению с «Морским охотником» при движении со скоростью 6 узлов в подводном положении примерно в 1,275 раза, в надводном «малозаметном» режиме движения – в 1,74 раза и в надводном «тримаранном» режиме движения – в 2,53 раза больше.

Здесь также принципиально важно отметить, что разработанная новая базовая платформа универсального и многофункционального автономного

необитаемого надводно-подводного аппарата с изменяемой геометрией корпуса является основой для создания других надводных, полупогружных и подводных гражданских аппаратов.

Универсальность этого аппарата заключается в том, что он может перемещаться в надводном, полупогружном и подводном положениях (в т.ч. и при движении под РДП).

Кроме того, этот аппарат в подводном положении без движителей за счет изменения плавучести и при соответствующей перекладке горизонтальных рулей может двигаться в режиме «глайдера», а также может использоваться в качестве буксируемого подводного аппарата, управляемого рулями в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Иными словами, ему доступны все способы движения автономных необитаемых морских аппаратов.

Многофункциональность надводно-подводного аппарата с изменяемой геометрией корпуса заключается в том, что он может выполнять все функции и задачи, которые в настоящее время выполняются и решаются отдельно надводными, полупогружными и подводными необитаемыми гражданскими аппаратами.

Кроме того, предложенный надводно-подводный автономный необитаемый аппарат способен эффективно работать, практически, при любых погодных условиях. На тихой воде и при малом волнении он может двигаться в надводном и полупогружном положениях, а также в режиме движения под РДП. При большом волнении или в сложной ледовой обстановке этот аппарат будет двигаться под водой.

В заключении следует отметить, что приведенные расчеты имеют приближенный характер и подтверждают только принципиальную возможность создания такого надводно-подводного аппарата с изменяемой геометрией корпуса, значительно превышающего по своей эффективности лучшие зарубежные аналоги (рис. 14).

1.2. Группа автономных необитаемых подводных аппаратов – сейсмо-приёмников гибридного типа.

11.04.2015 на сайте Vessel Finder (международной справочной базе судоходства) была опубликована статья «US NAVY Deploys under-ice drones in competition with Russia for Arctic», в которой, со ссылкой на источники в BMC

США указано, что в свете ожидаемой борьбы с РФ за арктические ресурсы, американский флот уже разместил ряд долговременных подводных робототехнических средств, которые в настоящее время ведут сбор информации о температурных колебаниях и состоянии моря, для уточненных оперативных прогнозов погоды и построения компьютерных моделей таяния арктических льдов. Европейцы разместили на подводных глайдерах сеть гидрофонов в рамках проекта PERSEUS, создав мобильный рубеж наблюдения за морским трафиком, по заявлению авторов программы: «в целях противодействия противоправной деятельности». Очевидно что этим функции развернутого гидроакустического рубежа слежения вряд ли исчерпываются. Таким образом подлёдные морские роботизированные операции на сегодня достаточно активно ведутся, остаётся лишь задать кроме милитаристских целей и иные прикладные назначения, в том числе и сейсморазведку в акваториях с тяжёлыми ледовыми условиями (рис. 15).

В соответствии с вышеизложенным АО «НПП ПТ «Океанос» с 2011 года в инициативном порядке, в содружестве с Санкт-Петербургским Государственным Морским Техническим Университетом и другими высшими научными учреждениями страны, ведет работу над созданием семейства подводных аппаратов с преимущественно гидродинамическими принципами движения (глайдеров), а также аппаратов гибридного типа.

Подводный глайдер - автономный необитаемый подводный аппарат, приводимый в движение гидродинамическими силами за счет изменения плавучести. В самом общем виде это автономный необитаемый подводный аппарат многократного использования, который перемещается в водном пространстве подобно планеру - с минимальным расходом энергии и по заданной программе.

У данного аппарата отсутствует «винт» или «традиционный двигатель», а все движение происходит за счет изменения плавучести самого аппарата. Он может использоваться как универсальная платформа-носитель различных инструментов для исследования любых акваторий Мирового океана, в т.ч. для Арктической зоны, где он может использоваться в «подледном» режиме на «сверхбольших» автономных временных интервалах с возможностью «приземления» на



Рис. 14. Архитектурно-конструктивный вид концепта тяжёлого гибридно подводно-надводного робота - сейсмоисточника - носителя группы автономных необитаемых подводных аппаратов - сейсмоприёмников.

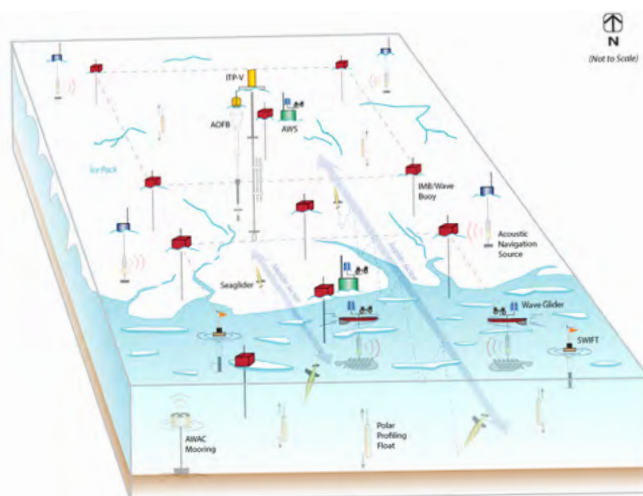


Рис. 15. Иллюстрация из программного документа US NAVY Arctic Roadmap 2020, наглядно демонстрирующая построение мультиагентной системы при ведении деятельности в акваториях с тяжёлыми ледовыми условиями.

грунт и работы как донного сейсмоприёмника, так и в гибридном варианте – группового движения в сформированном строю (сети) сейсмоприёмников в толще воды.

Причём все эти операции он может выполнять базирясь на тяжёлый гибридный подводно-надводный робот - сейсмоисточник - носитель группы автономных необитаемых подводных аппаратов - сейсмоприёмников, как выходя из него для проведения измерений, так и возвращаясь обратно для подзарядки и передачи накопленных данных на обработку (рис. 16).



Рис. 16. Общий вид созданного СПбГМТУ / АО «НПП ПТ «Океанос» аппарата (версии 2017 года).

С 2011 года АО «НПП ПТ «Океанос» совместно СПбГМТУ провело разработку платформы АНПА типа «глайдер», создав испытательный образец и проведя его испытания в различных условиях, на внутренних акваториях и в открытом море. Вместе с аппаратом было создано семейство проприетарного программного обеспечения, позволяющее задавать режи-

мы работы аппарата, собирать всю информацию и телеметрию и анализировать результаты работы, в том числе и с трехмерной визуализацией данных. В ходе работы была создана архитектура системы автоматического управления необитаемым подводным аппаратом, которая полностью решает задачи самостоятельного управления АНПА в ходе практических работ.

Таблица 12. Основные характеристики созданного АНПА типа «глайдер».

Характеристика	Значение
Тип корпуса	Торпедообразный (цилиндрический) с оконечностями в виде тел вращения
Длина корпуса (без антенны)	2720 мм
Диаметр корпуса	320 мм
Удлинение корпуса	8,5
Размах крыльев	1680 мм
Удлинение крыла	5
Форма крыла в плане	Прямоугольная
Кормовые стабилизаторы	Схема «крест»
Управляемые гидродинамические поверхности	Вертикальный руль
Объем МИПа* носового	1,8 л
Объем МИПа кормового	3,1 л (используется в режиме связи)
Система точной дифферентовки и изменения угла крена	Продольное и радиальное смещение батарейного блока
Вес	132 кг
Горизонтальная скорость	0,38 м/с
Масса полезной нагрузки	До 26 кг
Глубина погружения	До 1000 м (при замене материала корпуса с сохранением размеров)
АКБ, типа	Литий-ионная
Емкость	40 АЧ



Рис. 17. Испытания АНПА в ледовых условиях (пролив Бьеркезунд), зима 2017 года). Аппарат показан после тестового срабатывания аварийного понтона.

В настоящее время созданная базовая платформа глайдера приняла участие в составе объединенной команды СПбГМТУ и АО «НПП ПТ «Океанос» в Первых Всероссийских соревнованиях по морской робототехнике «Аквароботех – 2018», проходящих под патронажем ВПК и ФПИ, и с честью выдержав все испытания заняла призовое место (рис. 18, 19).

Этот результат наглядно доказывает потенциал глайдеров даже при использовании из в крайне неблагоприятных условиях (сверхмалые глубины, местами до 4 м.), в режиме крайне сокращенной подготовки и использованием дополнительного, не предусмотренного конструкцией регистрационного оборудования (по требованиям соревнований). Введение гибридного режима и разрабатываемых в настоящее время АО «НПП ПТ «Океанос» автономных манипуляторных устройств еще увеличит функциональность аппаратов, позволив им решать такие сложные задачи, как подводные групповые сейсмоисследования (рис. 20).

Уже в ходе подготовки данного материала пришли очередные подтверждения правильности выбранного курса – в конкурсе Best Innovation



Рис. 18. Траектория движения аппарата СПбГМТУ / «Океанос» на соревнованиях по морской робототехнике.



Рис. 19. Спуск на воду глайдера СПбГМТУ / НПП ПТ «Океанос» в ходе Первых Всероссийских соревнований по морской робототехнике, август 2018 г. город Владивосток.



Рис. 20. Автономный манипуляторный комплекс АНПА типа «Глайдер» разработки СПбГМТУ / АО «НПП ПТ «Океанос» на стендовой отработке размещения и типовых операций по размещению донных сейсмо-приёмников.

французского концерна Total победил проект GLIDE французской же компании ALSEMAR, основой которого является группа глайдеров, оборудованных различным оборудованием для поиска месторождений нефти и газа, основанных на различных физических и химических принципах. Датчики для аппаратов были специально разработаны в рамках конкурсного проекта, но уже успели пройти практическую апробацию на различных месторождениях, эксплуатируемых Total (рис. 21).

Также, по информации из Китая, Академия наук Китая в 9-й Китайской Арктической экспедиции 28 июля 2018 г. запустила в Беринговом море с борта ледокола Хуэ Лонг следующее поколение

своих аппаратов типа «глайдер» модели Haiyi, способных погружаться до глубин в 7000 метров, в долговременную Арктическую экспедицию. Безусловно, одной из основных целей подобного проекта является набор статистической информации для дальнейшей разведки потенциальных месторождений полезных ископаемых (рис. 22).

Все это лишний раз подчеркивает актуальность выбранной темы и правильность магистрального направления по широкому использованию автономных робототехнических средств для масштабных обследований потенциальных месторождений в районах, слабодоступных для традиционных методов.

Best Innovators 2018 - Glide

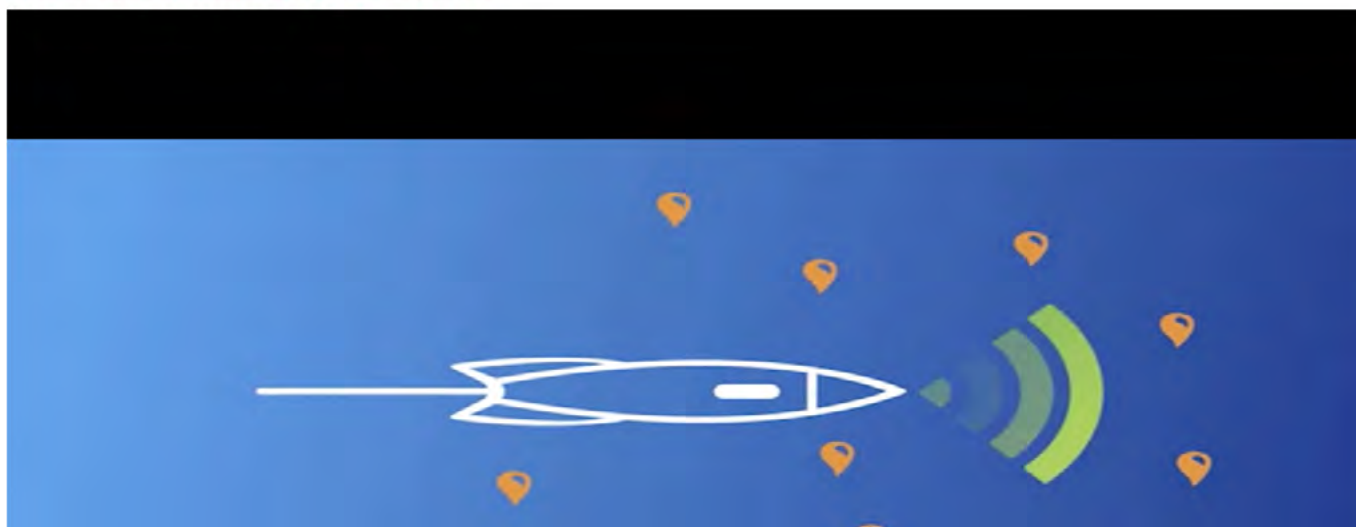


Рис. 21. Слайд конкурсной презентации Total 2018 г. в части применения глайдеров для морской нефте-газоразведки.

China's 9th Arctic Expedition Team launches underwater glider in Bering Sea

Xinhua, July 29, 2018

0 Comment(s) Print E-mail

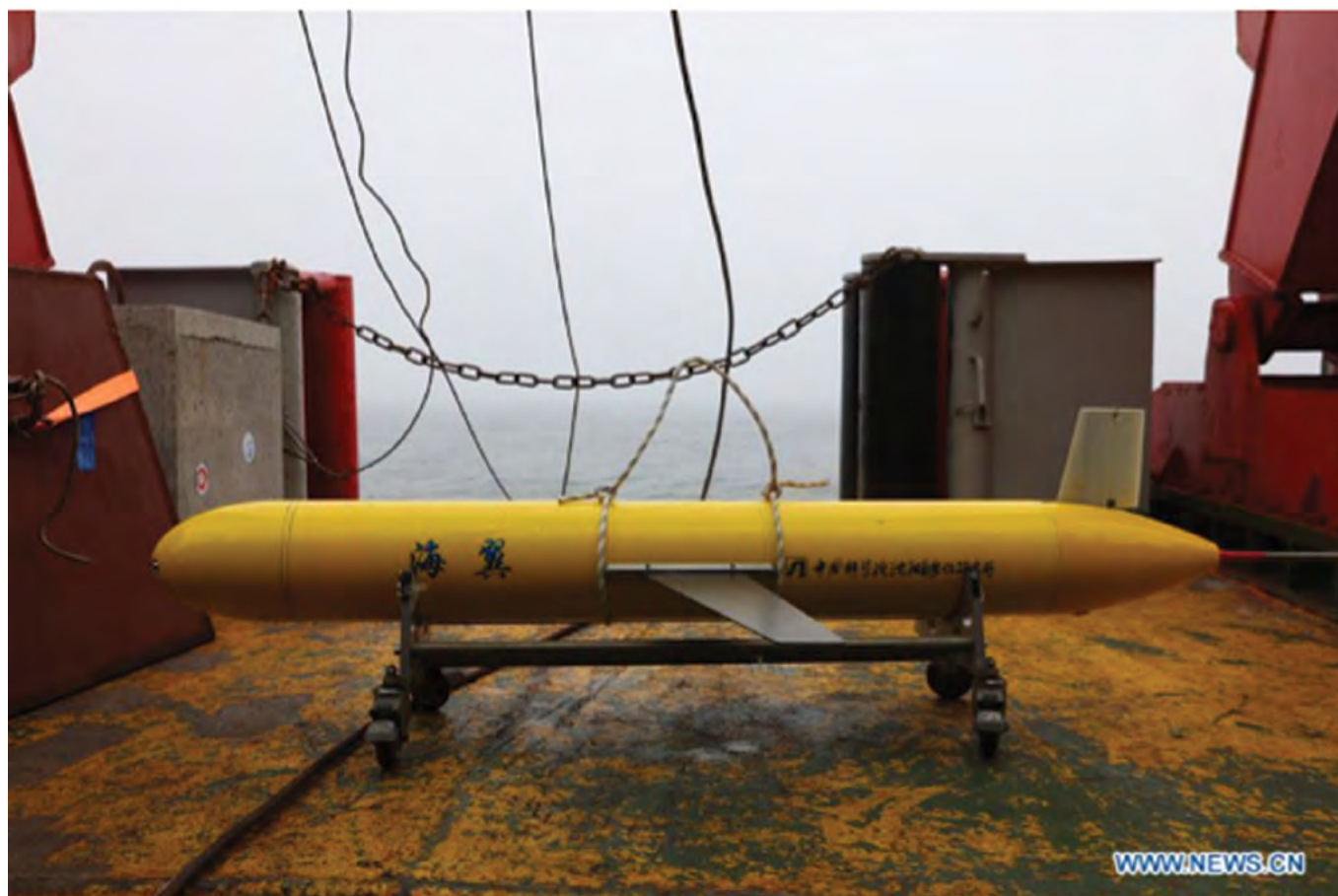


Photo taken on July 28, 2018 shows the underwater glider "Haiyi" on China's Icebreaker "Xue Long", or "Snow Dragon", at Bering Sea. China's ninth Arctic Expedition Team made a successful launch of the autonomous underwater glider "Haiyi" (sea wings) in Bering Sea on Saturday. The China's independently-developed underwater glider is used to monitor the deep-sea environment in vast areas. (Xinhua/Shen Cheng)

1 2 3 4 5

Рис. 22. Глайдер Haiyi перед погружением в Беринговом море на борту Китайского ледокола Xue Long в июле 2018 г.