

УДК 681.883.41:551.462.8

ОБЗОР АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Амиргалиев Д.Д.

Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан, amirgaliev01@mail.ru

Аннотация. Для исследования глубокого океана требуются подводные лодки, автономные подводные аппараты (АНПА), обитаемые подводные лодки, дистанционно управляемые аппараты (ROV) и подводные аппараты (UV), такие как буксируемые суда. Среди них АНПА доминируют при исследовании глубоководных районов Мирового океана. Список возможных применений UVS включает долгосрочное развертывание, где они служат пространственно-временными платформами для отбора проб физических характеристик водной толщи.

Ключевые слова. Вычислительная гидродинамика, автономные подводные аппараты, гидродинамическое сопротивление, следовые фракции.

Океаны покрывают две трети поверхности Земли и оказывают серьезное воздействие на наши экосистемы. С развитием науки об океане стала лучше пониматься их экологическая, экономическая и социальная значимость. С другой стороны, деятельность океана тесно связана с некоторыми смертоносными природными явлениями, такими как цунами, землетрясения и ураганы. Следовательно, устойчивый мониторинг состояния океана становится насущной необходимостью для сокращения потерь от стихийных бедствий, максимизации добычи из океанов и т. д. с точки зрения пользы для человечества. Подводные лодки – это передовые инструменты, которые позволяют нам наблюдать за океаном. Глубоко под поверхностью океана мы можем собирать различные данные и видеть, как океаны меняются. Подводные аппараты могут быть обитаемыми и беспилотными. Очевидно, речь шла прежде всего об пилотируемых подводных лодках. С 1962 года, когда была построена первая подводная лодка, были достигнуты значительные успехи в проектировании и производстве. Однако присущая ему слабость полагаться на пилотов-людей ограничивает его использование. Напротив, достижения в области навигации, управления, компьютерных, сенсорных и коммуникационных технологий сделали идею беспилотной подводной лодки реальностью.[1]

Подводные лодки – современное средство наблюдения за океаном. Подводные аппараты можно классифицировать по-разному. Автономные подводные аппараты – это отвязанные мобильные роботизированные платформы, используемые океанографическим сообществом. АНПА несут сложную научную нагрузку для измерения критических свойств воды, а также инструменты для регистрации морфологии донной среды с помощью современного гидроакустического оборудования. Большая грузоподъемность и эксплуатационная универсальность этих транспортных средств предлагают экономичную альтернативу традиционному океанографическим измерениям на судах. Существующие методы управления миссиями основаны на заранее разработанных ручных методах, которые не утомительны в разработке и, что более важно, не поддаются изменениям в ходе выполнения миссии. Это предотвращает адаптацию критической структуры миссии на месте для улучшения производительности в динамичной и неопределенной среде, такой как океан. Исследова-

ние океана также требует адаптации для реализации неожиданных научных возможностей. Безопасная и эффективная адаптация требует сбалансированного рассмотрения целей миссии, условий окружающей среды и имеющихся ресурсов. Мы разработали и внедрили бортовую адаптивную систему управления, сочетающую планирование и вероятностную оценку ситуации в гибридном контроллере. Оценка, планирование и реализация должны быть интегрированы, чтобы информировать системы планирования о прогнозах наиболее вероятной эволюции окружающей среды. Вероятностная оценка объединяет ряд научных наблюдений для определения вероятности того, что датчики транспортного средства уловят интересующую особенность. Бортовое планирование и исполнение позволяют адаптировать навигационное и приборное управление с учетом вероятности обнаружения такого события.[2]

Подводные лодки – это обитаемые подводные лодки. Их рабочая скорость составляет от 8 до 20 м/с, а рабочая глубина – от 200 до 600 м. Длина существующих подводных лодок варьируется от 57,3 м (класс «Дельфин-1») до 175 м (класс «Тайфун»). Подводные лодки используются в подводной войне, скрытных операциях и береговой обороне. Автономные подводные лодки (АНПА) – подводные роботы со скоростью от 0,5 до 2 м/с и глубиной до 1,42 м (АНПА «Корморан»). До 10 м (АНПА «Урасима»). По сути, они имеют торпедоподобную форму корпуса. АНПА можно использовать для сбора образцов данных о физических характеристиках воды, таких как температура, соленость, плотность, глубина и электропроводность, а также о гидротермальных источниках, цунами и т. д. также используется для картографии [3].

Автономные подводные планеры (АУТ) – это подводные роботы, которые могут сохранять свое положение, скользя против течения или волн, плавая в нейтральном положении и дрейфуя вместе с течениями и волнами или опираясь на морское дно. Для движения им не нужны двигатели или пропеллеры. Миссия, способная АУТ, более экономична и долговечна, чем АУВ. Некоторые существующие АУТ даже способны получать энергию движения из самого океана. Одна из концепций заключается в использовании изменений температуры в термоклине океана (принцип термической стратификации для преобразования тепло в механическую энергию). Как правило, это

транспортное средство очень мало по средствам. Их рабочая скорость от 0,1 до 0,5 м/с. Буксируемая рыба представляет собой торпедоподобное тело без активной тяги. Они буксируются судном с помощью троса и имеют ограничения по глубине эксплуатации. Глубина их использования обычно ограничивается примерно 200 метрами. Обычно это акустический доплеровский профилировщик тока, DRAKE (настраиваемый по глубине и крену воздушный змей для измерения потока энергии) и т. д. б. оснащен такими инструментами. При их разворачивании скорость корабля обычно находится в пределах 2,5–5,5 м/с. Они часто соединяются с судном нейтральным плавучим тросом или шлангокабелем, несущим нагрузку. Глубина их использования варьируется от 200 до 11 000 м. Их можно использовать при разведке и картировании полезных ископаемых морского дна. В отличие от дистанционно управляемых аппаратов (ДУА), глубоководные аппараты (ДСВ), автономные надводные аппараты (АСВ) и автономные подводные планеры (АУГ) представляют собой беспилотные подводные лодки без привязей и соединительных кабелей и следуют по заданному маршруту без вмешательства оператора. Обычно они несут на борту источник питания в виде аккумуляторов и имеют полезную нагрузку, соответствующую их назначению. Подробная информация об источнике питания и некоторые текущие скорости СН перечислены в Таблице 1.[4].

Таблица 1 – Общие характеристики автоматических подводных лодок мира.

Автономные подводные аппараты	Скорость (узлы)	Выносливость (км или час)	Устройство хранения/передачи энергии
АВРОРА (Канада)	3,5 (макс.) 1,5-2 (крейсерский режим)	750 км	Литий-ионные аккумуляторные батареи
ДеерС (Германия)	6 (макс.) 0,5-4 (крейсерский режим)	400 км 60 часов	топливные элементы ПОМ
АВТОСУБ (Великобритания)	2-4 (круиз)	500 км 144 часа	Щелочные блоки первичной батареи Батарейки
ОКПО 6000 (Корея)	3 (Макс.)	10 часов	AG - Zn-батареи
МАРИДАН 600 (Дания)	4 (Макс.) 3 (круиз)	36 км 10 часов	Аккумуляторы Pb-H2SO4

Проектирование подводных лодок

Конструкция подводной лодки зависит от конкретной миссии, и каждая конструкция подводной лодки уникальна, поскольку она должна соответствовать уникальному набору требований миссии. Однако связанные с ними проблемы проектирования включают гидродинамическое сопротивление, мощность, тягу, маневренность и управление плавуче-

стью. Среди них гидродинамическое сопротивление является наиболее важным, поскольку оно напрямую влияет на энергопотребление, дальность полета и выносливость. Таким образом, снижение сопротивления является центральной целью проектирования автоматических подводных лодок и важным вопросом морской гидродинамики. Обычно этого можно достичь за счет некоторой комбинации упрощенной формы корпуса, управления пограничным слоем, такого как впрыск полимера или впрыск через отверстие, и энергоэффективной электростанции; например, гребной винт, адаптированный к следу, или всасывающее отверстие с обратным потоком и эффективным маневрированием, соответствующим гидродинамической устойчивости.[5]

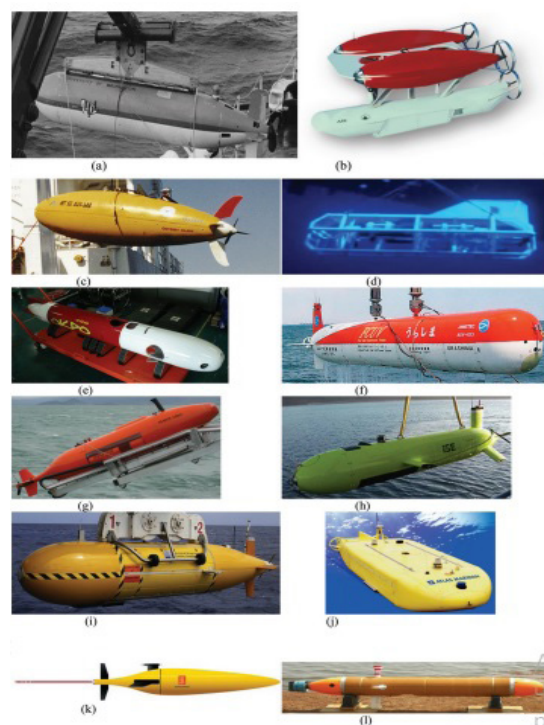


Рисунок 1 – Различные формы автономных подводных аппаратов. а) Специализированный подводный исследовательский аппарат, б) Автономный исследователь бентоса, в) Автономный подводный аппарат Одиссей ПВ, г) Дистанционно управляемый необитаемый подводный аппарат, д) Автономный подводный аппарат ОКПО 6000, е) Автономная подводная лодка Урасима, ж) Автономный подводный аппарат Хугин 3000, з) Автономный подводный аппарат Тесей, и) Автономный подводный аппарат AutoSub, к) А Атлас Маридан 300, л) Автоматический подводный планер Seaglider, м) Автоматический подводный автомобиль Майя.

В настоящее время в процессе проектирования подводных лодок преобладают специальные подходы, которые опираются на простые эмпирические правила, основанные на опыте проектирования, или эмпирические концепции гидродинамического сопротивления и занимаемой площади. Хотя эмпирический подход удобен на этапе предварительного проектирования, он не учитывает локальное влияние фронта на течение, которое играет важную роль при оценке вклада лобового сопротивления и следа.

Для преодоления этих ограничений часто используют экспериментальный подход с использованием модельных испытаний в буксирной цистерне, что требует много времени и денег и, как следствие, неосуществимо для многих конструкций. Обычно за один эксперимент можно испытать не более трех конструкций. Буксирный бак, которого недостаточно для определения оптимальной конструкции. В связи с этим последние достижения в области вычислительной гидродинамики (CFD) играют важную роль при проектировании подводных лодок, поскольку с помощью вычислительной гидродинамики можно точно прогнозировать влияние локального течения, что позволяет для экономичной гидродинамической оценки многих сооружений в короткие сроки. В результате, если подход CFD интегрирован в процесс проектирования, можно получить наиболее оптимальную конструкцию. Использование CFD для анализа поля течения вокруг корпуса и расчета вязкого сопротивления нашло интересное применение в проектировании судов.[6]

Геометрическое определение форм тела.

Одним из наиболее важных аспектов автономных подводных аппаратов является корпус. Существует несколько различных подходов к проектированию корпуса (Allmendinger, 1990). Эти различные методы проектирования обычно зависят от конкретной ситуации/задачи. Существует ряд ключевых задач, которые должен решать основной орган. Аспекты, которые следует учитывать при разработке органа, включают: Требуемое давление или глубина; рабочий температурный диапазон; структурная целостность этикеток и наклеек; условия воздействия; водонепроницаемость; доступность; универсальность; практичность; ограничения для будущих дополнений; требования к размеру; коррозионная и химическая стойкость. Среди этих соображений корпус беспилотного летательного аппарата должен быть способен выдерживать гидростатическое давление на заданной глубине. Кроме того, корпус должен быть спроектирован таким образом, чтобы свести сопротивление к минимуму. Когда автомобиль движется с постоянной скоростью, сила сопротивления равна силе сопротивления. Чем меньше сопротивление автономного подводного аппарата, тем меньшая двигательная мощность требуется. Эти два требования – устойчивость к гидростатическому давлению и уменьшение лобового сопротивления - зависят от формы и размеров аппарата. Гидростатическое давление определяется уравнением.

$$P = Pa + pgh.$$

Здесь p -гидростатическое давление в Н/м², атмосферное давление на уровне моря в Па-Н/м²; ρ -плотность воды в кг/м³, g -ускорение свободного падения в м/с² и h -глубина в м. Гидростатическое давление увеличивается примерно на 105 Н/м² на каждые 10 метров. Тело должно быть в состоянии противостоять этой силе. Сфера – первая форма, которая приходит на ум, которая хорошо сопротивляется давлению. Круглое цилиндрическое тело – хорошая форма для

сопротивления давлению. Большинство современных автономных подводных лодок имеют круглый цилиндрический корпус, в том числе REMUS100, наиболее популярный в военном и научном применении. Геометрия подводных устройств асимметрична и представлена на рисунке 2. Параметризованная форма оболочки определяется выражением

$$r(x) = r_{max} \left(1 - \frac{L-x}{L_n} \right) \text{ for } 0 \leq x \leq L_n$$

$$r(x) = r_{max} \text{ for } L_n < x < L_n + L_m$$

$$L_n + L_m + L_t = L$$

где r_{max} – максимальный радиус тела, поэтому максимальный диаметр равен $d_{max} (=2r_{max})$, а средняя длина тела L_m имеет этот радиус, $r(x)$ – изменение радиуса по всей длине.[7]

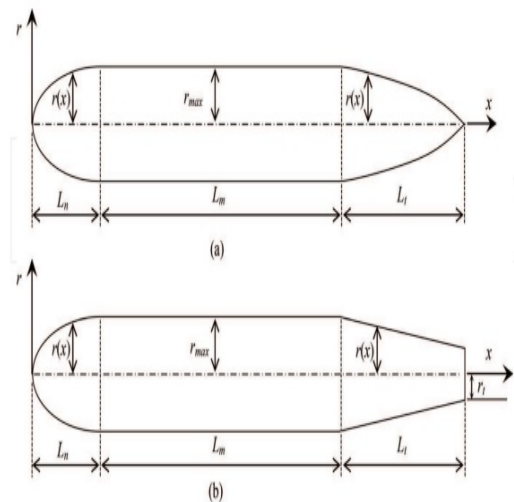


Рисунок 2. Параметризация геометрии тела. (а) Асимметричное тело без тупого хвоста. (б) Асимметричное тело с тупым хвостом.

L_n , L_m и L_t – длины носа и хвоста соответственно, а n_n и n_t

Форма, определяемая уравнением, приводит к форме носового конуса (т.е. линейному $r(x)$) при $n_n = 1$ и форме хвостового конуса при $n_t = 1$. При больших значениях n_n профиль формы носа приближается к прямоугольнику (т.е. $r(x)$ приближается к r_{max}), а при больших значениях n_t профиль формы хвоста также приближается к прямоугольнику. При $n_n < 1$ и $n_t < 1$ формы носа и хвоста меняют знак изгиба. Объем (V), переменная проекта, равна:

$$V = \pi \int_0^L r^2(x) dx$$

В данной работе мы выбрали два асимметричных транспортных средства, а именно игрушечный военный корабль США «Даллас» (рис. 3). и АНПА «Корморан» (рис. 4)

Параметры этих устройств приведены в таблице 2. Следует отметить, что подводная лодка не имеет базовой формы корпуса. Его параметры приведены в таблице 2.[8]

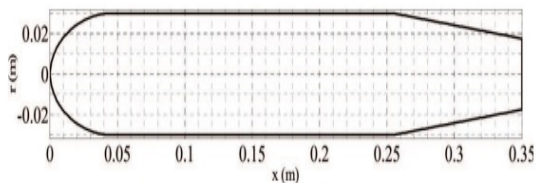


Рисунок 3. – Игрушечная подводная лодка USS Dallas.

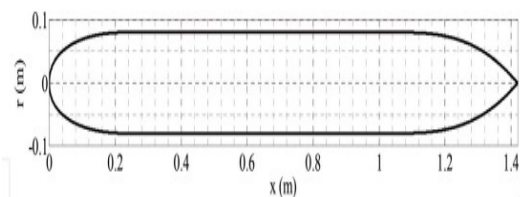


Рисунок 4 – Автономная подводная лодка «Корморан».

Таблица 2 – Параметры кузова.

Параметры	Игрушечная подводная лодка USS Dallas	Автономная подводная лодка «Корморан».
Ln(м)	0,045	0,24
Lм(м)	0,210	0,8
л(м)	0,095	0,38
Л(м)	0,35	1,42
Rмакс(м)	0,03	0,08
Rt(м)	0,0175	0
Nn	1,9	2,3
Nt	1	3
Lc(м)		-
U(м/с)	0,5	1
C(м2)	0,0612	0,63
V(м3)	0,000848	0,0245
L/2гмакс	5,8	8,875
√2/3/C	0,6795	0,134

Была изучена игрушечная подводная лодка USS Dallas, которая сообщила о силе сопротивления, полученной в результате моделирования CFD для скорости 0,5 м/с, что соответствует $ReL = 1,75 \cdot 10^5$. Автономную подводную лодку «Корморан» исследовала ВОЗ, которая сообщила коэффициенты лобового

сопротивления для нескольких скоростей, измеренные в буксирном танке.[9]

Заключение.

Использование единой системы визуализации и вычислений для оценки, планирования и выполнения оказалось полезным для адаптивного управления миссией. Сочетание таких функций привело к точному контролю и выборке динамических процессов, чего до сих пор не было. Критический обзор литературы показывает, что с использованием подхода вычислительной гидродинамики (CFD) разработано несколько автономных подводных лодок, АУГ (автономный подводный планер), подводных лодок и аналогичных аппаратов, что доказывает, что обработано около 15 типов подводных лодок. Методология CFD, принятая в этой работе, подтверждается несколькими примерами из литературы. Параметрами, рассчитанными с помощью гидродинамического CFD, являются сопротивление и волновое сопротивление.

Литература

1. Парсонс Дж.С., Гудсон Р.Е., Гольдшмид Ф.Р. Формирование осесимметричных тел для обеспечения минимального лобового сопротивления в несжимаемом потоке/Журнал гидронавтики. 1974 год; 8(3): 100-107
2. Гайкович Б.А. Подводные глайдеры-роботы для исследования и мониторинга арктических акваторий. / Корабел.ру, 2015. – № 4 (30). – С. 126–127 с
3. Гаикович Б.А. Автономные подводные аппараты с гидродинамическими принципами движения. / Новый оборонный заказ. Стратегии, 2013. – № 4 (26). – С. 4–6
4. Грейнер, Леонард Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов / Леонард Грейнер. - М.: Судостроение, 1978. - 380 с.
5. Алам К., Рэй Т. Новый надежный подход к оптимизации конструкции беспилотного подводного аппарата. Инженерный журнал морской среды, 2012 г.
6. Ястребов В.С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.
7. Подводные аппараты для геологических исследований / Под ред. А.М. Игнатова. –Геленджик: ПО «Южморгеология», 1990. – 92 с
8. Автоматические подводные аппараты / Под ред. А. А. Воронова.- Л.: Судостроение, 1981.
9. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд. 6е. – М.: Мир, 2003. – 704 с.

OVERVIEW OF AUTONOMOUS UNDERWATER DEVICES

D.D. Amirgaliyev

Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, amirgaliyev01@mail.ru

Abstract. Deep ocean exploration requires submarines, autonomous underwater vehicles (AUVs), manned submarines, remotely operated vehicles (ROVs), and underwater vehicles (UVs) such as towed vessels. Among them, AUVs dominate in the exploration of deep-sea regions of the World Ocean. The list of possible applications of UVS includes long-term deployment, where they serve as spatiotemporal platforms for sampling physical characteristics of the water column.

Keywords. Computational fluid dynamics, autonomous underwater vehicles, hydrodynamic resistance, trace fractions.