

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ МАСКИРОВКИ СУБМАРИНЫ ОТ СРЕДСТВ ПЕЛЕНГАЦИИ

Карачун В. В., Мельник В. Н., Фесенко С. В.

1. Введение

У подводников есть поговорка, которая гласит, что существуют только два типа кораблей – **ПОДЛОДКИ** и **МИШЕНИ**. Эти слова близки к истине, поскольку подводные корабли на сегодняшний день являются самой скрытной и разрушительной боевой единицей из всего обширного спектра орудий войны, когда-либо созданных человечеством.

Военно-морские силы (ВМС) США разрабатывают инновационную силовую установку для перспективных атомных ракетносцев. Новая ядерная энергоустановка будет практически бесшумной и сможет работать 50 лет без перезарядки.

Субмарина, которая заменит существующие подводные ракетносцы класса «*Огайо*», получит совершенно новую ядерную силовую установку без механической трансмиссии. Это сделает работу двигателя бесшумной, а возможное сочетание с водометным движителем (pump-jet) – позволит сделать подлодку практически неслышимой. Кроме того, реактор новой подлодки сможет работать на одной заправке 50 лет, т. е. весь срок службы субмарины.

Энергия реактора в новой подлодке не будет поступать от турбин через трансмиссию на гребные винты, как в современных подлодках. Вместо этого, реактор будет вырабатывать электроэнергию, которая будет непосредственно поступать в электросеть подлодки. Это не только снизит шум (для подлодки это главный демаскирующий фактор), но и позволит забирать от реактора больше энергии. В настоящее время от 75 до 80 % мощности реактора атомной подводной лодки используется для обеспечения движения. В новой подлодке свободной мощности будет больше, что позволит использовать и более мощные сонары, новую электронику и беспилотные аппараты.

Современные субмарины (от лат. Submarina) класса «*Огайо*» в настоящий момент являются самым мощным оружием на планете. Водоизмещение почти 19 тыс. тонн, две турбины по 30 тыс. л. с., 24 баллистические ракеты *Трайдент II* (D5) с дюжиной боеголовок в каждой или 154 крылатые ракеты *BGM-109 «Томагавк»* [1].

Основные боевые качества современных надводных кораблей – это большой запас хода, мощная противовоздушная оборона (ПВО), способность приема на борт беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов. К сожалению, надводные корабли уязвимы все же перед противокорабельными ракетами и, к тому же, слишком заметны. В отличие от них, субмарины обладают высокой степенью *скрытности* и лучшей *защищенностью от ракет*. Правда, приходится платить за все это невысокой скоростью движения, «*ниже перископной глубины*» и невозможностью использования палубной авиации [2].

В боевых условиях или при выполнении развед-диверсионных задач, одной из важнейших операций представляется достаточная скрытность субмарины.

Этой цели служат технические средства, исключаящие эффективность пеленгации субмарины – определение дистанции, пеленг, угол места.

Подводный флот, в частности субмарины, с носителями различного рода поражающих средств является мощным военным давлением на государства при наличии конфликтной или приближающейся к ней ситуации. С одной стороны, свой собственный подводный флот нужно уметь маскировать, с другой стороны – надо уметь вскрывать маскирующие средства субмарин противника.

В боевых условиях наличие буксируемого ограждающего туннеля позволит эффективно бороться с проблемой глубоководного бомбометания эсминцами противника, что показывает актуальность исследования данного направления.

2. Объект исследований и его технологический аудит

Объектом исследований служит процесс упругого взаимодействия ультразвукового луча с упругой оболочкой и причины возникновения особенностей резонансного типа в многофазной оболочечной структуре.

Облучение ультразвуковым лучом наружной поверхности системы двух соосных оболочек, разделенных специально подобранной жидкостью с требуемыми характеристиками скорости распространения звука в ней, позволяет сформировать конфокальную оболочкам поверхность каустики. Эта цель достигается выполнением требуемого эффекта аберрации звуковых волн во внутреннем межоболочечном пространстве, заполненном жидкостью. Степень эффективности изучаемой процедуры находится в прямой зависимости от выполнения условия значительного волнового размера оболочки, т. е. превышающего на много по величине единицу.

Регулирование направления ультразвукового луча относительно нормали к поверхности наружной оболочки дает возможность войти в зону волнового совпадения. Тогда будут проявляться локальные особенности механической системы в виде трансляции энергии ультразвукового излучения без диссипации энергии. Это послужит существенному увеличению энергетической активности, разделяющей оболочки жидкости. Такое явление принято называть *«акустической прозрачностью»* оболочки.

Искусственно формируемая турбулентность зоны каустики в изучаемой технической реализации двухсоосной оболочечной конструкции служит искусственно создаваемой преградой для средств пеленгации подводной лодки гидроакустическими станциями с антеннами переменной глубины (ГАС с АПГ). Предполагается, что изолирующий туннель из двух соосных оболочек, разделенных жидкостью, находится в стационарном положении. Внутри его заходит субмарина и находится в нем также в фиксированном состоянии, при полном отсутствии хода.

На экранах сенсоров локационных систем противника, таким образом, будет изображено размытое пятно, поглощающее контуры и особенности поверхности подводной лодки. Таким образом, дезинформация истинной картины существенно уменьшает опасность глубинного бомбометания по

результатам пеленгации ГАС с АПГ кораблями противника субмарины. Этим достигается более высокая степень живучести подводного аппарата и эффективность его боевых возможностей, транслирующая ложные изображения подводной ситуации.

3. Цель и задачи исследований

Целью проводимых лабораторных исследований макета является подтверждение технической возможности маскировки и ограниченной приметности субмарины от средств пеленгации противника, а также выбора необходимого режима маскировки и интенсивности зон каустики.

Задачи проводимых исследований состоят в следующем:

1. Построение расчетной аналитической модели выбранного технического решения в виде двух соосных оболочек, разделенных жидкостью и облучаемых снаружи ультразвуковым лучом.

2. Обоснование необходимости выполнения условия большого волнового размера поверхности наружной оболочки.

3. Выяснения условий необходимой степени аберрации излучаемых в жидкость окружной волной наружной оболочки звуковых волн и формирование поверхности каустики.

4. Определение угла падения ультразвукового луча на поверхность наружной оболочки необходимого для возникновения резонансной обстановки в механической системе – волнового совпадения (геометрического резонанса).

4. Исследование существующих решений проблемы

Передовые морские государства НАТО владеют всевозможными разведывательными комплексами (космическими, авиационными, корабельными, стационарными береговыми и подводными), снабженными радиотехническими, гидроакустическими, фотографическими и магнитометрическими средствами в различной комбинации. Это позволяет решать вопросы разведки постоянно, в любое время суток и независимо от погодных условий. Недостаточно внимания уделяется проблемам скрытия и имитации – способы маскировки, которые играют важную роль в устранении и ослаблении демаскирующих признаков подготовки сил флота к боевой поддержке. Скрытие, как известно, – это устранение или ослабление демаскирующих признаков расположения и деятельности сил и различных объектов. Имитация заключается в воссоздании демаскирующих признаков, присущих силам и объектам, путем обозначения их с помощью ложных сооружений, макетов, свето- и радиоимитации и других средств [3].

Оптическая маскировка – наиболее ранняя (но не потерявшая своей актуальности до настоящего времени). Однако до появления оптико-электронных средств разведки (телевизионных, приборов ночного видения, тепловизоров, тепlopеленгаторов и др.) она сводилась лишь к уменьшению заметности самих кораблей и их специфических признаков от визуального наблюдения. Оптическая маскировка опирается главным образом на использовании условий ограниченной видимости, масок, на окрашивании

надводных поверхностей кораблей красками, неконтрастными по отношению к оптическому фону района действий, на маскировочном окрашивании – камуфляже. Также широко применялась дымо- и светомаскировка.

Использование оптико-электронной маскировки сводится к скрытию от оптико-электронных средств разведки противника боевой техники и объектов. Это достигается с помощью использования маскирующих свойств окружающей среды, темного времени суток, метеоусловий, ограничивающих возможности этих средств, искусственных масок, дымов, аэрозолей, а также проведением мероприятий по светомаскировке, установкой макетов.

Тепловая маскировка ограничивает обнаружение сил средствами тепловой разведки и поражению боеприпасами с тепловыми головками самонаведения (ГСН). Достигается она с помощью скрывающих свойств окружающей среды, специальных покрытий, красок, экранированием нагреваемых поверхностей непрозрачными для ИК-излучений преградами, применением ложных тепловых целей. Для уменьшения тепловой заметности корабля используют устройства, распыляющие струи морской воды, маскирующие покрытия с диффузным отражением инфракрасного излучения, аэрозольные образования, получаемые из различных пенообразующих высокомолекулярных веществ, а также инфракрасные ложные цели. Тепловая маскировка обеспечивает, с одной стороны, скрытность действий сил, а с другой – их защиту от средств поражения, оснащенных инфракрасными головками самонаведения. Тепловые средства маскировки используются, как правило, в комплексе с радиолокационными, так как одни и те же разведывательные системы и средства поражения могут быть оснащены как инфракрасной, так и радиолокационной аппаратурой.

Радиолокационная маскировка – комплекс мероприятий, направленных на скрытие военной техники и объектов от радиолокационного обнаружения противника. Она нашла распространение уже в годы второй мировой войны в связи с внедрением радиолокационной техники на кораблях и самолетах ВМС враждующих сторон. В то время сложились, а затем получили дальнейшее развитие такие методы скрытия сил и объектов от радиолокационного наблюдения, как:

- использование условий, снижающих дальность обнаружения цели с помощью радиолокационных средств (РЛС);
- создание радиолокационных помех и масок;
- применение угольковых отражателей для имитации ложных объектов.

В ходе прошлых войн и военных конфликтов сложились два метода радиомаскировки – пассивный и активный.

Впервые металлизированные ленты для создания пассивных помех РЛС ПВО применили англичане в июле 1943 года при налете авиации на Гамбург. С октября 1943 года на американских самолетах стали широко использоваться передатчики активных помех «Карпет». Потери авиации резко снизились. А комбинированное применение пассивных и активных радиолокационных помех позволило снизить эффективность средств ПВО противника в 4–5 раз.

Существенное влияние на устранение или ослабление демаскирующих признаков кораблей является гидроакустическая маскировка. Она осуществляется в

целях скрытия подводных лодок (ПЛ) и надводных кораблей от гидроакустических средств противника. Гидроакустическая маскировка достигается:

- применением звукоизоляционных и звукопоглощающих устройств и материалов;

- возможностью использования малошумных скоростей хода подводной лодки и укрытием ее под слоем скачка (слой воды, резко снижающий возможности гидролокаторов по обнаружению ПЛ);

- отключением сильно шумящих вспомогательных механизмов, а также применением имитаторов шума.

По мере совершенствования средств разведки и морских систем вооружений развиваются виды, способы и средства маскировки, направленные на устранение или ослабление демаскирующих признаков.

Миниатюрный прибор «Вист-2» служит акустической помехой и глушит головки самонаведения торпед и гидролокаторы субмарин [4].

Известные методы маскировки подводного аппарата с помощью изменения плотности воды в следе аппарата. Это достигается повышением ее солености и путем охлаждения силовой установки более соленой водой, чем забортная, и сброса ее в след. Таким образом, достигается снижение различимости следа судна [5].

Также используются средства имитации подводных лодок [6].

Обеспечение скрытности подводных лодок рассматривается в работах [7–9]. Здесь обеспечивается возможное создание в морском боевом подвижном комплексе в виде надводного судна и соединенной с ним с помощью расстыковки подводной лодки. Соединительный элемент выполнен отделяемым от подводной лодки, и имеет положительную плавучесть и магистрали для воздухообмена и наблюдения за надводной обстановкой, соединяемые с соответствующими магистралями надводного судна. С подводной лодкой тросами с приводами соединены также элементы отрицательной плавучести, компенсирующей положительную плавучесть подводной лодки. При этом подводная лодка может перемещаться по тросам, изменяя свое заглубление [10].

Известные пути решения задач маскировки и ограниченной приметности контуров субмарин, основанные на пассивных методах, позволяют прийти к выводу, что наиболее перспективными являются все же средства, основанные на резонансных явлениях различной физической природы. Представленные в материале исследования авторов о средствах маскировки с помощью искусственно формируемых ограждающих поверхностей в виде зон каустики являются достаточно простым и эффективным для достижения поставленной цели.

В работе [11] используют акустику конформной трансформации для создания камуфляжных устройств со слоистыми однородными структурами, которые могут акустически генерировать иллюзии объектов. В исследованиях [12], используя оптическое преобразование, предлагают камуфляжное покрытие, которое может маскировать произвольный объект, имитируя электромагнитное рассеяние пустой V-образной полости под металлической поверхностью. Такое камуфляжное устройство будет вводить в заблуждение и

путать детекторы и зрителей, и, следовательно, любой объект, скрытый под этим камуфляжным покрытием, не может быть воспринят. В качестве примера сложных совместных миссий создание когерентного фантомного трека посредством управления несколькими электронными боевыми транспортными средствами представляет собой область, представляющую большой интерес для оборонного ведомства с целью обмана радиолокационной сети [13]. В работе [14] предлагается оптимизирующая процедура СВЧ-поглотителя, основанная на поглощающем механизме однослойного СВЧ-поглотителя. Амплитудно-частотная характеристика материала получается при оптимальных подгоночных электромагнитных параметрах вместе с использованием метода оптимизации. Исследования [15] рассматривают достижения в области биоиндуцированных фотонных материалов с различными структурными цветами, включая различные легкие и эффективные пути построения наноструктур, и разработку искусственных переменных структурных цветных фотонных материалов.

5. Методы исследований

Как уже отмечалось, непререкаемым преимуществом субмарины, как объекта военных действий, является ее *скрытность*. С другой стороны, к наиболее существенным недостаткам можно отнести «слепоту» и *шумность* подводного аппарата. Первый недостаток исчезает только при выходе субмарины на перископную глубину, второй – только при отсутствии собственного хода аппарата.

Гидроакустические станции с антеннами переменной глубины прослушивают заданный район акватории на предмет обнаружения подводной *цели*. Информация об основных параметрах подводной лодки, а именно, *пеленг*, *угол места*, *дистанция* сообщается диспетчеру воинского подразделения и оттуда поступает на эсминец, который направляется по месту нахождения лодки для осуществления глубинного бомбометания.

В настоящей работе предлагается один из вариантов технического решения обеспечения достаточной маскировки субмарины (при обязательном соблюдении отсутствия собственного хода). Это техническое решение представляет собой создание своеобразной норы в виде цилиндрического туннеля, в котором лодка будет находится на якоре. Поверхность туннеля представляет собой две соосные оболочки, заполненные жидкостью и облучаемые снаружи ультразвуковым лучом. Последний формирует, при определенных условиях, в жидкости оболочки туннеля зону каустики, которая служит преградой пеленгационным системам.

Представленное техническое решение в лабораторных условиях повторяет изначальную идеологию. В лабораторных условиях на макете оценивается принципиальная возможность достижения желаемой цели обеспечения маскировки и ограниченной приметности субмарины на любой глубине. В качестве внешнего облучателя используется генератор ультразвукового луча частотой 36 кГц и мощность 650 Вт (рис. 1) [11].

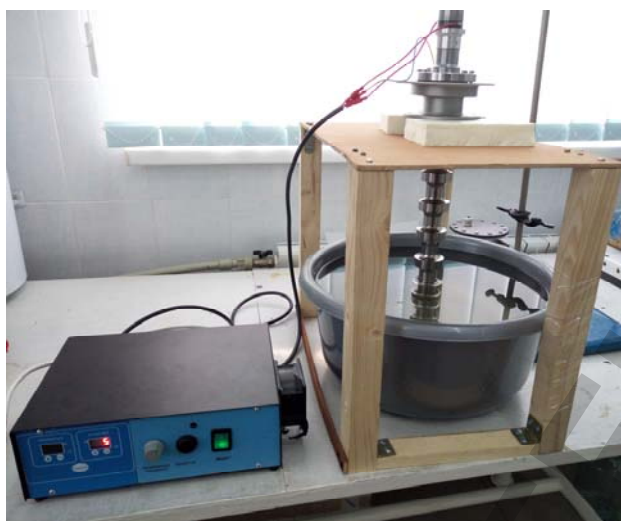


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки

Погружной блок ультразвуковых излучателей состоит из блока ультразвуковых излучателей, которые изготовлены из нержавеющей стали и ультразвукового генератора. На крышке блока внутри корпуса находятся ультразвуковые излучатели, которые превращают электрическую энергию в ультразвуковые колебания. На задней панели находится выход сетевого провода. Погружной блок соединен с ультразвуковым генератором. Дополнительно в жидкость опускается ультразвуковая установка.

6. Результаты исследований

При отсутствии облучения ультразвуковым лучом наружной оболочки туннеля на экране сенсора пеленгатора проявляются четкие изображения субмарины (рис. 2, а). Для получения требуемого эффекта маскировки под защитой поверхности зоны каустики необходимо выполнение двух условий – значительного волнового размера наружной оболочки туннеля и подбора угла совпадения луча ультразвукового генератора.

Первое условие позволяет при значительном волновом размере, т. е. большим нескольких единиц, рассматривать элемент наружной оболочки туннеля как пластину, которая излучает в межоболочечную жидкость звуковую волну. Явление абберация можно регулировать соответствующим подбором материала наружной оболочки и жидкости таким образом, чтобы соотношение скоростей распространения звука в них давали возможность построить зоны каустики в виде конфокальной поверхности оболочки туннеля заданного радиуса. Очевидно, что при незначительном значении волнового размера механизм построения изолирующей поверхности не будет срабатывать. На рис. 2, б продемонстрировано изначальное изменение приметности контуров корпуса подводного аппарата. Эти изменения, как видно, еще не носят принципиального характера, вместе с тем имеют место.

Подбор угла падения ультразвукового луча на поверхность наружной оболочки туннеля до значений угла совпадения, т. е. до наступления геометрического резонанса в виде волнового совпадения. Это позволяет далее развить искажения корпуса на экране пеленгатора субмарины (рис. 2, в). Это

достигается за счет того, что турбулентность и энергетическая активность межоболочечной жидкости в условиях резонанса достигает такого уровня, когда приметность контуров практически исчезает. Таким образом, обеспечивается удовлетворительная маскировка субмарины от средств пеленгации. Механизм этого явления обусловлен резким увеличением мощности ультразвукового луча, прошедшего внутрь и генерируемого им звуковых волн вследствие наступления так называемой «акустической прозрачности» наружной оболочки туннеля [12, 13].



a



б



в

Рис. 2. Изображение исследуемого образца субмарины: *a* – исходное положение, облучение ультразвуковым лучом изолирующего туннеля отсутствует; *б* – при внешнем искусственном акустическом излучении оболочки туннеля (вне зоны резонанса); *в* – на экране сенсора пеленгатора при наступлении резонансной обстановки в межоболочечном пространстве – волновое совпадение

Таким образом, «акустическая прозрачность» наружной оболочки создает предпосылки резкого увеличения энергетического состояния исходно стационарной межоболочечной жидкости. При этом «акустическая прозрачность» превращает межоболочечную жидкость в турбулентную структуру с имеющимся градиентом температуры по всему объему, кавитационными проявлениями и, естественно, стохастическим распределением амплитуды колебаний жидкости.

Очевидно, что предлагаемая техническая реализация, предусматривающая «акустическую прозрачность» наружной оболочки, превращает межоболочечную жидкость в высокоэнергетический турбулентный экран, являющийся единственно присутствующим маскирующим элементом.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Оригинальной стороной полученных результатов лабораторных исследований является подтверждение теоретических предпосылок технической реализации искусственного формирования ограждающих поверхностей в виде зон каустики для сокрытия и маскировки подводного изделия военного назначения. Очевидным преимуществом данного метода является возможность дистанционного регулирования маскировки субмарины со стороны диспетчера (командира подразделения), а также скорость перехода к активным действиям в форс-мажорном режиме.

Weaknesses. Предлагаемая техническая реализация не является единственно возможной для достижения поставленной цели маскировки субмарины, ее несовершенство можно классифицировать как малоподвижную ограждающую поверхность, предполагающую стационарное состояние ограждающего туннеля. Вместе с тем, представляется возможным сделать ограждающий туннель способным менять свою подводную дислокацию и по глубине, и в азимуте.

К недостаткам предлагаемого технического решения следует отнести стационарное, на якорной стоянке, расположение ограждающего туннеля и существенную зависимость быстроты и качества установки ограждающего туннеля от топографии морского дна. Перспективным решением устранения этого недостатка является проработка возможностей буксировки ограждающего туннеля на новое место дислокации в заданной части акватории.

Естественно, что основным недостатком входа субмарины в ограждающий туннель является ее «слепота», создающая массу трудностей для выполнения всех условий маскировки.

Opportunities. В боевых условиях наличие буксируемого ограждающего туннеля позволит эффективно бороться с проблемой глубоководного бомбометания эсминцами противника.

Следует обратить внимание на то, что маскирующий туннель может, в отсутствии субмарины, выполнять роль камуфляжа, воспроизводя шумовые эффекты и кавитационные явления подводного аппарата при буксировке. Таким образом, он примет на себя, подобно малому (МСМ) либо большому БСМ, судномишени.

Threats. Дополнительные затраты на использование маскировочного туннеля связаны с необходимостью буксировки подводными или надводными средствами, швартовки на определенной глубине на якорной стоянке, а также электромеханическое и энергетическое обеспечение технической реализации данной идеи.

В открытой печати по вопросам маскировки и ограниченной приметности подобного технического решения информация не предоставлена.

8. Выводы

1. Построена расчетная модель выбранного технического решения. Данная модель позволяют с должной степенью адекватности проанализировать природу изучаемого явления и выработать рекомендации по улучшению его функционирования.

2. Обоснована необходимость выполнения условия большого значения волнового размера, которая является порождением представления элементов наружной оболочки туннеля в виде совокупности плоских элементов. Это достигается либо увеличением радиуса наружной оболочки, либо изменением соответствующих скоростей звука в оболочке и разделяющую оболочку жидкости, либо и того, и другого фактора одновременно. В этом случае обеспечивается излучение теперь уже в плоском элементе оболочки внутрь жидкости и звуковых волн с определяемой степенью абберации.

3. Определены условия необходимой степени изменения состава физических свойств разделяющей жидкости и материала внешней оболочки туннеля, которые определяют необходимую степень абберации в виде соотношения $\sin \alpha = \frac{c}{V}$.

3. Обнаружено, что в лабораторной установке, на которой проводились полунатурные исследования, для частоты излучения в 36 кГц для резонанса окружных волн, необходимо угол падения обеспечить равным 10 *град* от внешней нормали.

Литература

1. 50 лет без дозаправки и шума: американцы совершенствуют подлодки [Электронный ресурс] // Zoom.CNews. – 21.03.2013. – Режим доступа: \www/URL:

http://zoom.cnews.ru/rnd/news/line/50_let_bez_dozapravki_i_shuma_amerikancy_so_vershenstvuyut_podlodki

2. Нужен ли военным корабль-подлодка? [Электронный ресурс] // Zoom.CNews. – 09.12.2011. – Режим доступа: \www/URL: http://zoom.cnews.ru/rnd/news/line/nuzhen_li_voennym_korablpodlodka

3. Аристов, А. П. Демаскирующие признаки, их устранение и ослабление в морских операциях [Электронный ресурс] / А. П. Аристов // Военная мысль. – 1986. – № 7. – С. 22–30. – Режим доступа: \www/URL: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/1986-vm/8121-demaskirujushhie-priznaki-ih-ustranenie-i>

4. Подводные лодки и корабли закрыли звуковым барьером [Электронный ресурс] // Газета Известия. – 31 марта 2017. – Режим доступа: \www/URL: <http://izvestia.ru/news/674389>

5. Способ маскировки следа подводного аппарата барьером [Электронный ресурс]: Патент RU № 2564935 / Бардаков Р. Н., Чаплина Т. О. – опубл. 10.09.2015. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.findpatent.ru/patent/256/2564935.html>

6. Самоходный имитатор подводной лодки [Электронный ресурс]: Патент RU № 2022872, МПК В63G8/34 / Павликов С. Н. – заявл. 13.11.1991, опубл. 15.11.1994. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.findpatent.ru/patent/202/2022872.html>

7. Морской боевой подвижный комплекс [Электронный ресурс]: Патент RU № 2137673, МПК В63G8/34, В63G 13/02; F41Н 3/00 / Таланов Б. П. – № 97122056/28, заявл. 22.12.1997, опубл. 20.09.1999. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.findpatent.ru/patent/213/2137673.html>

8. Способ маскировки подводной лодки [Электронный ресурс]: Патент RU № 2507108, МПК В63G13/02, В63G 8/34, F41Н 3/00/ Небольсин В. А. – заявл. 07.11.2012, опубл. 20.02.2014. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.findpatent.ru/patent/250/2507108.html>

9. Александров, Ю. И. Боевые корабли мира на рубеже XX–XXI веков [Текст]. Часть I. Подводные лодки: справочник / Ю. И. Александров, А. Н. Гусев. – Санкт-Петербург: Галера-Принт, 2000. – 302 с.

10. Karachun, V. The Additional Error of Inertial Sensors Induced by Hypersonic Flight Conditions [Text] / V. Karachun, V. Mel'nick, I. Korobiichuk, M. Nowicki, R. Szewczyk, S. Kobzar // Sensors. – 2016. – Vol. 16, № 3. – P. 299. doi:[10.3390/s16030299](https://doi.org/10.3390/s16030299)

11. Ren, C. Camouflage devices with simplified material parameters based on conformal transformation acoustics [Text] / C. Ren, Z. Xiang // Applied Mathematical Modelling. – 2014. – Vol. 38, № 15–16. – P. 3774–3780. doi:[10.1016/j.apm.2013.12.005](https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.12.005)

12. Wang, S.-Y. A v-shaped cavity camouflage coating [Text] / S.-Y. Wang, S.-B. Liu, Y.-N. Guo, C. Ghen // Optics & Laser Technology. – 2013. – Vol. 45. – P. 666–670. doi:[10.1016/j.optlastec.2012.05.014](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.05.014)

13. Xu, Y. Virtual motion camouflage based phantom track generation through cooperative electronic combat air vehicles [Text] / Y. Xu, G. Basset // Automatica. – 2010. – Vol. 46, № 9. – P. 1454–1461. doi:[10.1016/j.automatica.2010.05.027](https://doi.org/10.1016/j.automatica.2010.05.027)

14. Yu, X. An optimizing method for design of microwave absorbing materials [Text] / X. Yu, G. Lin, D. Zhang, H. He // Materials & Design. – 2006. – Vol. 27, № 8. – P. 700–705. doi:[10.1016/j.matdes.2004.12.022](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.12.022)

15. Xu, J. Biomimetic photonic materials with tunable structural colors [Text] / J. Xu, Z. Guo // Journal of Colloid and Interface Science. – 2013. – Vol. 406. – P. 1–17. doi:[10.1016/j.jcis.2013.05.028](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.05.028)

16. Мельник, В. Волновые задачи в акустических средах [Текст]: монография / В. Мельник, Н. Ладогубец. – Киев: Корнейчук, 2016. – 432 с.

17. Карачун, В. В. Задачі супроводу та маскування рухомих об'єктів [Текст]: монографія / В. В. Карачун, В. М. Мельник. – Київ: Корнійчук, 2011. – 264 с.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРЕИЗДАНИЕМ