

ISSN 2949-3684

ВЕСТНИК
МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 93 / 2023

Вестник Морского государственного университета. Вып. 93 / Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2023. — 74 с. ; цв. ил., табл. — Библиогр. в конце ст. — ISSN 2949-3684.

Вестник Морского государственного университета содержит публикации, посвященные актуальным нормативно-организационным, техническим и технологическим проблемам судовождения и безопасности мореплавания, судоремонта, судовых силовых установок и их элементов, логистических транспортных систем и гидрографии, автоматизации и управления технологическими процессами, обработки информации, системного анализа и управления процессами перевозок на морском транспорте. Материалы содержат теоретические выводы и практические рекомендации, которые могут быть использованы для развития научных направлений и для принятия инженерных, административных и коммерческих решений.

Дата выхода в свет – 30 декабря 2023 г. Выходит четыре раза в год.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского».

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а. Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36.

Главный редактор – Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор.

Заместитель главного редактора – Рычкова Виктория Феликсовна, начальник управления научно-исследовательской и инновационной деятельности.

Научный редактор – Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент.

Выпускающий редактор – Сикорская Оксана Геннадьевна, начальник отдела электронных изданий.

Редакционная коллегия:

Азовцев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор;

Буров Денис Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент;

Войлошников Михаил Владиленович, доктор технических наук, профессор;

Глушков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор;

Друзь Иван Борисович, доктор технических наук, профессор;

Дыда Александр Александрович, доктор технических наук, профессор;

Лазарев Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Луговец Александр Анатольевич, доктор экономических наук, доцент;

Москаленко Михаил Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Надежкин Андрей Вениаминович, доктор технических наук, профессор;

Огай Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент;

Оськин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Данченков М.А. Основные характеристики Японского моря.....	4
Данченков М.А. Географические характеристики залива Петра Великого.....	17

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Марьясов Г.В. Особенности грузовых операций на грунте необорудованного берега в районах Арктики и Дальнего Востока	21
Марьясов Г.В. Оценка возможности снятия судна с мели работой только собственных двигателей.....	25
Пастухов С.В. Обзор эволюции обучающего оборудования как устройств, моделирующих работу сложных инженерных систем (продолжение)	32
Рак А.Н. Эффективность подруливающих устройств при различных скоростях движения судна	46

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Орошук И.М., Кудрявцева Е.В., Кадочников М.М., Горелов И.Д. Возможности применения антенн на основе метаматериалов	53
Орошук И.М., Кудрявцева Е.В., Горелов И.Д. Тенденции развития беспилотных летательных аппаратов.....	60
Орошук И.М., Сучков А.Н., Кудрявцева Е.В., Горелов И.Д. Возможности применения антенн из метаматериала на беспилотных летательных аппаратах.....	66

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 551.468 (265.54)

Основные характеристики Японского моря

Данченков Михаил Алексеевич, danchenkov4@gmail.com

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Проведен анализ достоверности основных характеристик моря в пределах 32°34 с.ш. – 51°45 с.ш., 125°48 в.д. – 142°15 в.д. Определены новые, более обоснованные значения. Длина и ширина моря: 2130 км×1355 км; длина береговой линии – 9760 км; площадь поверхности – 1075 тыс. км², объём вод – 1612 тыс. км³; средняя глубина – 1514 м; максимальная глубина – 3777 м.

Ключевые слова: Японское море, длина, ширина, длина береговой линии, площадь, средняя глубина, максимальная глубина.

The main characteristics of the Sea of Japan

Danchenkov Mikhail A., danchenkov4@gmail.com

Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute

The analysis of the reliability of the main characteristics of the sea in the range of 32°34 °s.s. – 51°45°s.s., 125°48 v.d. – 142°15 v.d. was carried out. New, more reasonable values have been identified. The length and width of the sea: 2130 km×1355 km; the length of the coastline – 9760 km; surface area – 1075 thousand km², volume of waters – 1612 thousand km³; average depth – 1514 m; maximum depth – 3777 m.

Keywords: Sea of Japan, length, width, shoreline length, area, average depth, maximum depth.

Введение

Характеристики Японского моря (границы, площадь, объём и средняя глубина) сильно отличаются от характеристик Охотского и Берингова морей. Площадь Японского моря в 1,5-2 раза меньше, чем у других морей, но его средняя глубина равна средней глубине Берингова моря и кратно больше таковой Охотского [Ларина, 1968; Фролов, 1971].

Площадь самой продуктивной (200 м) его части («шельф») вдвое меньше таких площадей в соседних морях. Справочники и статьи по океанографии моря публикуют девять географических характеристик: границы, размеры, длину береговой линии, площадь поверхности моря, объём вод, максимальную и среднюю глубины. Под длиной понимается протяженность моря с юга на север, а под шириной – протяженность его с запада на восток.

Под длиной береговой линии обычно понимают периметр, то есть линию границы, независимо от того, идёт она по берегу или по воде. В понятие площади моря, если специально не оговаривается иное, входят и острова. Эти характеристики неизменны, если не меняются границы моря. Поэтому важно знать, что границы Японского моря были изменены в середине XX века.

1. Обзор опубликованных характеристик Японского моря

В публикациях набор географических характеристик обычно неполон. Чаще всего отсутствует информация о размерах моря (длине и ширине). Обычно отсутствуют ссылки на оригинальный источник сведений или их обоснование. Часто приводимые сведения непрозрачны, то есть не поддаются проверке. В таких случаях нельзя понять, сам ли автор получил приводимые значения или он просто забыл сделать ссылку на источник значений параметров. Отсутствие в публикациях ссылок на источники и незнание источников – барьеры для установления истины в региональной океанографии. Учёный делает открытия, создает новые истины каждой публикацией. Если предлагаемые читателю истины (числа или утверждения) проверить нельзя, то это – постулаты веры и им место в иных изданиях.

В табл. 1 отражены публикации, в которых приведены хоть какие-то оригинальные значения характеристик. Разброс значений и живучесть устарелых сведений – показатель плохого состояния науки о море. Нужно заметить, что этих значений намного меньше, чем источников (книг и статей). В большинстве публикаций просто приводятся одинаковые (чужие) сведения без ссылки на автора.

Таблица 1 — Опубликованные характеристики Японского моря

Источник	Границы широтные (с.ш.)	Границы долгот (в.д.)	ДБЛ (тыс. км)	S (тыс. км ²)	Д×Ш (км)
Советов, 1904	35°-52°	127.5°-142.0°		1044	
Соколов, 1931			>8000	1000	
Аноним, 1957		127°20		978	
<i>Истошин, 1959</i>	34°26-51°45	127°20-142°15	7600	978	
Леонов, 1960	32°42-52°14	127°22-142°14	7600	983	2254×1265
<i>Добровольский, Залогин, 1965</i>	34°26-51°45	127°20-142°15	7600	980	2255×1070
Хидака, 1966/1974	51°34			1010	
Ларина, 1968				1060	
Фролов, 1971				1060	
БСЭ-3, 1978			7600	1062	2255×1070
Шунтов, 2001	34°26-51°45				2224
<i>Ростов, 2005</i>	34°26-51°41	127°20-142°15	7531	1062	
Зуенко 2008				1070	1600×900
Зонн, Костяной, 2009			7307	1062	2255×1070
ЕСИМО, 2023	32°25-51°41	127°20- 142°15	7307	1062	2255×1070
ДМА, 2023	32°34-51°45	125°48-142°15	9760	1075	2130×1355

Примечание. ДБЛ – длина береговой линии, км; S – площадь. Д – длина; Ш – ширина (км). БСЭ – Большая Советская энциклопедия (1-3 издания); ЕСИМО – сайт Росгидромета (<http://esimo.oceanography.ru>). Курсивом выделены часто цитируемые источники. Знаки минут широты и долготы опущены.

Здесь для сравнения приведены (выделены жирным шрифтом) значения параметров, определенные автором. Средняя глубина и объём вод, определенные автором по измеренным глубинам, приведены в конце статьи.

По годам источников видно, что противоречия и грубые ошибки в характеристиках сохранялись на протяжении десятков лет. Достоверность их не проверялась. Обзоров или их анализа не было. Публиковались одни и те же значения без ссылок на источник. Вроде бы, это логично: характеристики давно известны, а море не изменилось. Но нежелание анализировать противоречия, проверять значения привело к признанию верным не одного, а двух разных значений одного параметра (БСЭ-3, 1978; Зонн, Костяной, 2009; Шунтов, 2001), см. табл. 2.

Таблица 2 — Двойственность характеристик моря

Источник	$H_{\text{ср.}}$	$H_{\text{макс.}}$	S	V
БСЭ-3, 1978	1536 или 1750		1062 или 978	1630 или 1713
Зонн, Костяной, 2009	1536 или 1750	3699 или 4224		
Шунтов, 2001		3669 или 3695	1062 или 1008	1360 или 1700

Примечание. $H_{\text{ср.}}$ – средняя глубина (м); $H_{\text{макс.}}$ – максимальная глубина (м); S – площадь (тыс. км²); V – объем вод (тыс. км³)

Самые грубые ошибки в характеристиках обусловлены разным пониманием границ моря.

2. Ошибки в описании пределов Японского моря

От правильного (общего, единого, принятого всеми) определения границ моря зависит достоверность определения большинства его характеристик. Границы Японского моря описывали по-разному (табл. 3). Разброс значений можно объяснить неприятием новых границ, введенных документом Международной гидрографической организации в 1953 г., или незнанием публикаций других исследователей.

В большинстве публикаций в качестве границ моря указаны не граничные мысы, а граничные проливы. При этом координаты граничных мысов не даются. Такое умолчание порождает непонимание. Поясним это на примере сложной восточной границы моря (рис. 1).

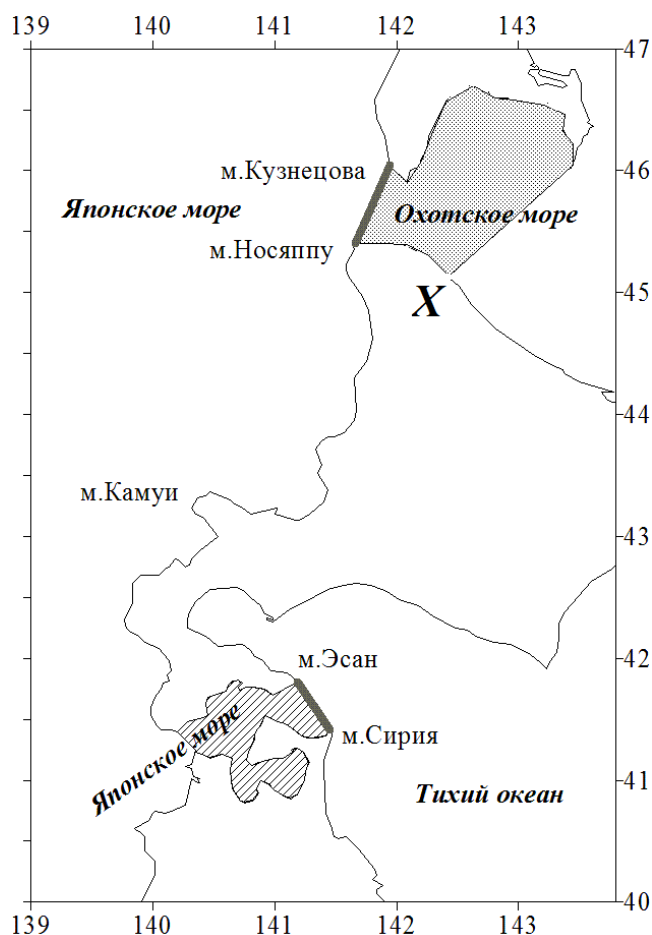


Рисунок 1 — Граница Японского моря в восточных проливах.

X – место маяка Кита-Камуи

Морскими границами моря являются пролив Лаперуза и Сангарский пролив. Для расчета характеристик моря важно знать, что эти проливы с 1953 года отнесены к разным морям.

Юго-восточный предел пролива Лаперуза (обозначен литерой X) по отечественной лоции 1972 г. – мыс Камуи. Но это не так. Известный мыс Камуи расположен с другой стороны

о. Хоккайдо. К нему проходил (до введения экономических зон в начале 90-х гг.) вековой разрез ДВНИГМИ. На северном берегу о. Хоккайдо нет сколько-нибудь заметного мыса – там ровный берег. Поэтому, избегая путаницы, для обозначения Юго-Восточной точки пролива Лаперуза мы использовали название ближайшего маяка – «Кита-Камуи» (северный Камуи). Он находится в створе между м. Камуи и м. Анива. Вероятно, этим объясняется название маяка.

Без упоминания мысов, границ и координат легко запутаться в положении границ и, следовательно, в исчислении некоторых характеристик моря. Для ясного описания моря и правильного исчисления характеристик нужно приводить и названия граничных мысов и их координаты. Но этого нет ни в одной из рассмотренных нами публикаций.

Примеров непрозрачности (а это означает некачественное информирование читателей) много. Так, в справочнике ДВНИГМИ («Гидрометеорология Японского моря», 2003) граница моря «идет к мысу Изгунова». Координаты мыса не приведены. Мыса с таким названием на навигационных картах и в логиях корейских вод нет уже более 100 лет. То есть дана ссылка на то, чего нет, что показать и проверить невозможно.

Приведем выдержку из такого же описания южной границы моря в атласе ТОИ ДВО РАН и на сайте ЕСИМО: «граница идет... через о. Чеджу на материк к мысу Кольчолкап (Изгунова)». То есть авторы считают, что мыс Изгунова расположен рядом с о. Чеджу. Но это не так: между ними несколько обязательных пунктов-ориентиров и 300 км расстояния. Место мыса Изгунова при анализе характеристик мы определили лишь приблизительно, на основе описания Ю.М. Истошина (1959).

Самая западная точка моря

От о. Чеджу граница идет на камни (или скалы, перевод допускает разный термин) Кан, о. Чин и уже от него через 400 м пролив – на материк (рис. 4). Их не заметить нельзя: камни Кан – западный предел моря, а остров Чин – четвертый по величине среди корейских островов. Поэтому избегать их описания, как это делается в упомянутом справочнике ДВНИГМИ, нельзя: они – узловые точки границы моря.

Авторы большинства источников называют (табл. 1) крайней западной точкой моря неизвестный мыс с долготой 127°20' в.д. Название мыса с такой долготой или его широта в публикациях нигде не приводится. Но найти его по долготе нетрудно. Это оказался мыс Хоп. А.К. Леонов назвал другую долготу (127°22' в.д.) крайней западной точки моря, но мыса с такой долготой в Японском море нет. То есть автор, вероятно, неточно определил долготу того же мыса. У А.К. Леонова долгота самой восточной точки отличается на минуту от обычно цитируемой. Отличается (уже на 8 минут) и широта крайней южной точки моря.

Эти долготы можно было бы оспорить и исправить, если была бы дана ссылка на источник такой долготы или дано пояснение такого выбора. Но пояснения (например, противоречия на сайте ЕСИМО) дано не было, в то же время противоречие очевидно. Как может быть экстремально западной точка с долготой 127°20' в.д., если указано, что западная граница моря идет по о. Чеджу (расположенному между 126°11' в.д. и 126°55' в.д.)? Самая западная точка моря – это камни (скалы) Кан (125°48' в.д.).

Самая южная точка моря

Широта мыса Хоп – 34°26.5' с.ш. Эта широта в нескольких публикациях (Истошин, 1959; Добровольский, Залогин, 1965; Ростов и др., 2005) названа ещё и самой южной для Японского моря. Следовательно, можно сделать вывод, что мыс Хоп является экстремальной юго-западной точкой моря. Но подобный вывод ошибочен. Мыс Хоп не является ни самой западной, ни самой южной точкой. Полувековое ложное утверждение не сделало его верным, т. к. прямо противоречит изданию Международной Гидрографической Организации (Limits of oceans and seas, 1953). Самая южная точка моря – это мыс Номо (32°34' с.ш.). Он находится не на корейском полуострове, а на японском острове Кюсю, недалеко от Нагасаки (рис. 2).

Самый северный и самый восточный пределы моря

В публикациях ТОИ ДВО РАН (Ростов и др., 2005; ЕСИМО, 2022) утверждается, что самая северная точка моря – мыс Южный. Но северная граница моря (рис. 6) – это линия между мысами Южный (51°41') и Тык (51°45'). То есть самая северная точка моря – это мыс Тык,

а не мыс Южный. Сайт ДВНИГМИ (ЕСИМО) также дезинформирует читателей: «Северная граница моря распространяется до $51^{\circ} 41'$ с.ш. и проходит в проливе Невельского между мысами Сущева и Тык». Ошибка в том, что широта мыса Тык иная. Северная граница моря не может «проходить в проливе Невельского», поскольку тот начинается намного севернее (между м. Муравьева и м. Уанги).

Широта самой северной точки моря по А.К.Леонову – $52^{\circ} 14'$ с.ш.). Это широта уости, естественной границы Японского моря. Но документом 1953 г. предписано считать северной границей моря иное место.

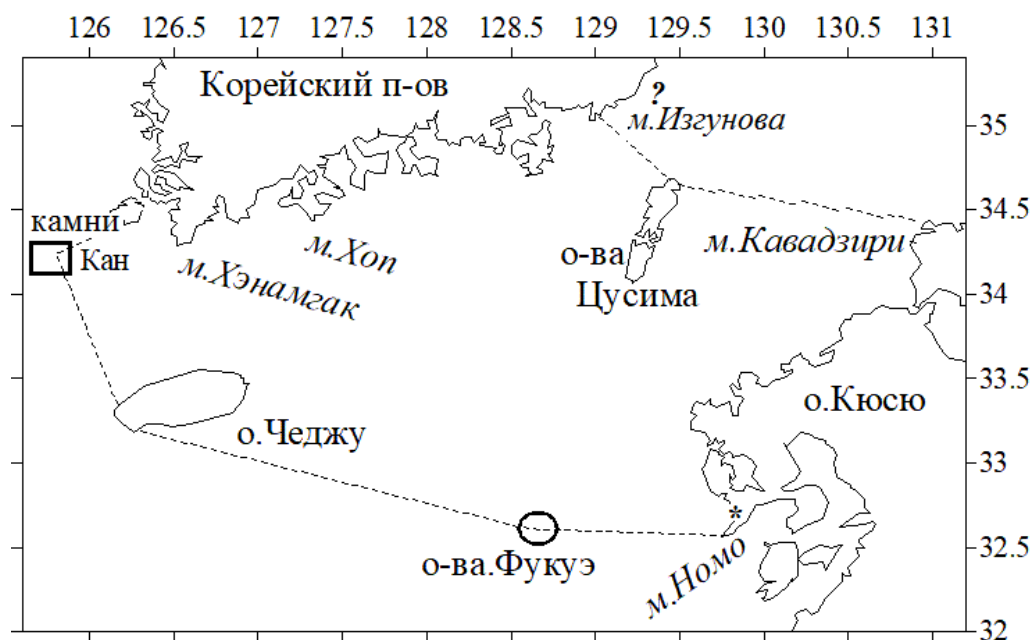


Рисунок 2 — Границы Цусимского пролива.
Место мыса Изгунова определено предположительно

Широта северного предела моря ($51^{\circ} 34'$ с.ш.), приведённая К. Хидака в «Океанографической энциклопедии» (она издана дважды – в 1966 и 1974 гг.), также ошибочна. На той широте нет сколько-нибудь заметного мыса.

Самая восточная точка границы моря находится в Александровском заливе (рис. 6). Долгота ее известна ($142^{\circ} 15'$ в.д.), а широта – нет. Она не была определена нигде, ни в одной публикации. Для работы нам пришлось ее назначить. Эта точка с широтой $51^{\circ} 06'$ с.ш. находится у селения Мангидай.

3. Границы Японского моря

И в СССР, и в РФ международные правила и законы имели и имеют приоритет перед отечественными. Издание международной организации (Limits of oceans and seas, 1953) изменило и граничные проливы Японского моря. До этого проливы (кроме исторического Татарского) описывались линией (прямой или ломаной), а после – пространством, площадью. Проливы как уости не исчезли. Просто они стали называться «самая узкая часть пролива».

Новая (Limits..., 1986) и новейшая (Limits..., 2002) версии границ моря не были утверждены Международной гидрографической организацией (ИГО) из-за противостояния Японии и Южной Кореи. Поэтому тот (Limits..., 1953) документ действует до сих пор.

Поясним изменения на примере южной границы. Традиционно этой границей был Цусимский пролив. Этот пролив был уостью, описывался ломаной линией от ближайшего (к о. Цусима) мыса Кореи через северный предел северного цусимского острова к ближайшему мысу о. Хонсю. Расстояния от северного цусимского острова до корейского берега и от северного острова до о. Хонсю были более или менее известными.

По документу 1953 г. (Limits..., 1953) пролив описывается уже не линией, а пространством. Площадь этого нового пространства в 6 раз больше того, что ограничено пределами цусимских островов. В пролив были включены большие части Восточно-Китайского и Жёлтого морей. В частности, острова Чеджу и Фукуэ. Это уже не узость, совсем не пролив, а скорее, небольшое море (площадь – около 60 тыс. км² – сравнима с площадью Белого моря). От цусимских островов до западной границы «пролива» теперь расстояние более 300 км.

Из-за нелогичности новых границ моря в статьях долгое время встречались одновременно и новые и традиционные определения (Истошин, 1959; Леонов, 1960). Так, Ю.В. Истошин определял южную границу моря как линию: «граница в Корейском проливе идёт от мыса Кольчолкап (Изгунова) на корейском берегу к мысу Кавадзири на о. Хонсю».

Отметим особенности границ Японского моря по документу 1953 г. Северная граница моря проходит на 76 км южнее 7.4-километровой узости – между м. Южный и м. Тык. Часть (1458 км²) Японского моря к югу от узости теперь отнесена к Охотскому морю. Расстояние (38,5 км) между мысами северной границы моря теперь пятикратно больше того, что было до 1953 г. Граница в пр. Лаперуза также проходит не по узости, а на 19 км западнее её. Граница в Сангарском проливе проходит не по входной (западной) 20-километровой узости, а в восточной открытой части пролива, где расстояние между мысами (48 км) кратно больше входного. Описания южной границы моря в документе (Limits..., 1953) совсем нет. Из текста можно было узнать только, что «южная граница Японского моря – это северо-восточная граница Восточно-Китайского моря и западная граница Внутреннего Японского моря». По такой пустой информации видно, что документ был составлен в спешке. Спешка видна и в неверных географических именах. Мыс Тык (на северной границе) в переводе должен быть назван Тук. Но здесь он именован Туйком (Tuik). А мысы Крильон и Кузнецова в документе названы по-японски («Nishi Notoro Misaki» и «Soni Misaki»). Советский представитель в ИНО был и в голосовании за принятие документа участвовал.

Изменение границы моря могли произойти и в более поздних редакциях книги МГО. Готовый (но не принятый голосованием) документ 1986 г. (Limits..., 1986) отделил Татарский пролив от Японского моря. Татарский пролив получил отдельный номер – 7.9 (как 7.8 – Японское море и 7.10 – Охотское море). Береговая линия Японского моря снова могла стать на 3/4 японской. Но версия документа от 2002 г. (также не принята) вернула Татарский пролив в Японское море.

4. Длина и ширина Японского моря

Итак, в соответствии с изданием ИНО 1953 г. крайними пределами Японского моря являются: скалы Кан (125°48' в.д.); залив Александровский (142°15' в.д.); мыс Номо (32°34' с.ш.); мыс Тык (51°45' с.ш.). По ним можно определить размеры моря.

Размеры моря (длина и ширина) публиковались редко. Полный набор географических характеристик моря приведен только в двух публикациях: А.К. Леонова (1960); А.Д. Добровольского и Б.С. Залогина (1965). А.К. Леонов определил длину моря в 2254 км, а ширину – в 1265 км. А.М. Добровольский и Б.С. Залогин (1965) – в 2255 км и 1070 км соответственно.

В следующем учебном пособии МГУ тех же авторов (1982), а затем в БСЭ-3 (1978) и в справочнике ДВНИГМИ от 2003 г. эти значения публиковались снова (табл. 1).

При сопоставлении приводимых длины и предельных широт сразу видно несоответствие. У А.К. Леонова изменение широты составляло 19.6°, а полученная длина моря – 2254 км. У А.Д. Добровольского и Б.С. Залогина при перепаде широт в 17.3° длина моря составила столько же (2255 км). Очевидно, что при разных перепадах широты длина моря не может быть одинаковой. Но ученые в статьях (включая энциклопедические, изданные массовыми тиражами) многократно публиковали эти числа без осмысления.

Ширина моря у Леонова при перепаде долгот 14.9° равна 1265 км. Ширина моря у А.Д. Добровольского и Б.С. Залогина при перепаде долгот 14.9° равна 1070 км. То есть при одних перепадах долготы эти ученые получили ширину моря, отличающуюся на 200 км. Ошибка очевидна, но эти ошибочные значения публиковались в течение десятков лет.

Имея навигационные карты, длину и ширину моря можно проверить измерителем. Переведя ширину моря в мили, легко на карте найти соответствующее расстояние по долготе. При перепаде долготы (около 15 градусов) ширина моря должна составлять около 1300 км (или 700 миль). А авторы из МГУ приводят ширину 1070 км, что, несомненно, ошибочно.

Определить размеры моря можно и без карты, достаточно знать широты граничных точек и иметь мореходные таблицы. Мореходные таблицы (МТ-1975) дают размер 1° широты и 1° долготы: 1° широты на 42°с.ш. равен 111,077 км (в среднем на все море) и 110.26 км (для Татарского пролива); 1° долготы на 42°с.ш. равен 82.462 км для всего моря и 80.96 км для Татарского пролива.

Оценим достоверность длины и ширины моря, приведенные другим автором, А.К. Леоновым (2254 × 1265 км). По указанным им предельным широтам моря (32°42' и 52°14') их разница составляет 19,5333°, что соответствует (МТ-1975) расстоянию 2170 км, см. табл. 3. То есть приведенная в его книге длина моря (2254 км) ошибочна.

Разница долгот по данным, указанным А.К. Леоновым (127°22' и 142°14'), составляет (с точностью до 1 %) 14.8667°, что в средних широтах соответствует (МТ-1975) ширине моря 1226 км. То есть приведенная в книге А.К.Леонова (1960) ширина моря (1265 км) также ошибочна (табл. 3).

Таблица 3 — Контрольные (посчитанные нами) значения длины и ширины моря

Автор	Год	Д и Ш авторские	Юш и Зд	Сш и Вд	df и du	Д и Ш контрольные
Леонов А.К.	1960	2254 км 1265 км	32°42' 127°22'	52°14' 142°14'	19.5333° 14.8667°	2170 км 1226 км
Добровольский А.Д., Залогин Б.С.	1965	2255 км 1070 км	34°26' 127°20'	51°45' 142°15'	17.3167° 14.9167°	1924 км 1230 км
Шунтов В.П.	2001	2224 км	34°26'	51°45'	17.3167°	1924 км

Примечание. Юш – самая южная широта моря; Сш – самая северная широта моря; df – разность широт; du – разность долгот; Зд – самая западная долгота моря; Вд – самая восточная долгота моря.

В книге В.П. Шунтова (2001) приведена только длина моря – 1200 миль (т.е. 2224 км, что на 30 км меньше длины, определенной для тех же крайних широт А.Д. Добровольским и Б.С. Залогиним). В.П. Шунтов не пояснил, кто измерил такую длину. Недостоверность этой величины ясна, если перевести мили в градусы: 1200 миль соответствуют на навигационной карте моря 20° широты. Но разность приведенных им широт (34°26' с.ш. и 51°45' с.ш.) составляет только 17° (точнее, 17.3167°). Значит, 1200 миль – неверное значение длины моря.

Если считать южной границей моря 32°25' с.ш. (как в ЕСИМО, 2022), а северной границей – 51° 41'с.ш., то разница широт составит 19.2667°, длина моря по ней (МТ-1975) – 2140 км. Если считать западную границу моря по координате 127° 20' (как, например, в ЕСИМО, 2022), то разница долгот составит 14.9167°, а ширина моря по ней (МТ-1975) – 1230 км.

Существует также несколько формул, по которым определяется расстояние на поверхности Земли. Несколько сайтов – planetacalc.ru; allcalc.ru, maps.directions.info; <https://calculatorium.ru/geography/distance-between-two-coordinates> – предлагают быстрое определение таких расстояний. Значения длины и ширины, определенные разными способами, отличались ненамного (максимально на 1%). При официальных пределах (32°34' с.ш. и 51°45' с.ш., 125°48' в.д. и 142°15' в.д.) длина моря составляет (МТ-1975) 2131 км, а ширина – 1356 км.

Эти значения были перепроверены. Навигационные карты и циркуль-измеритель дали 2133 км и 1362 км соответственно. Измерения на Google-картах (<https://www.mapsdirections.info>) показали следующие длину и ширину Японского моря: 2135 км и 1360 км. Вычисления на калькуляторе расстояний на сфере¹ дали длину и ширину Японского моря в 2133 км и 1357 км соответственно. После анализа разных значений мы округлили их и рекомендуем в качестве длины моря считать 2135 км, а ширины – 1355 км.

¹ <https://calculatorium.ru/geography/distance-between-two-coordinates>

5. Длина береговой линии

Здесь под длиной береговой линии (ДБЛ) понимается периметр моря, то есть береговая и водная части границы совокупно. Для оценки длины береговой линии нужны ограничения масштаба: нельзя сравнивать длину береговой линии, определенную по карте масштаба 1:2000 000 и ДБЛ по карте масштаба 1:200 000. При увеличении масштаба резко увеличивается ДБЛ, особенно корейских вод с их фиордами. А такой критерий в рассматриваемых публикациях не определен.

Чаще всего (табл. 2) длину береговой линии (ДБЛ) оценивали одинаково (7600 км). Это число впервые опубликовано Истошиным (1959). Длина корейских и японских берегов в РФ не публиковалась. Длина российской части морского берега оценивалась в 3000 км (Истошин, 1959) и в 3240 км (БСЭ-3).

Наша оценка ДБЛ моря от них сильно отличается. Чтобы читатель смог сам проверить достоверность наших вычислений, приведем значения ДБЛ на участках моря (рис. 3).

В табл. 4-7 представлены основные составляющие ДБЛ Японского моря, определенные нами по калькулятору Google².

Таблица 4 — Длина береговой линии (ДБЛ) РФ на западе моря

От, до или название отрезка границы	ДБЛ, в км
50 % от пролива м. Южный – м. Тык	20
М. Южный - Ванино	417
Ванино – граница края	279
Граница края – Амгу	219
Амгу – Пластун	196
Пластун – Ольга	212
Ольга – м. Поворотный	267
М. Поворотный – устье р.Туманной (ЗПВ)	960
Всего	2570

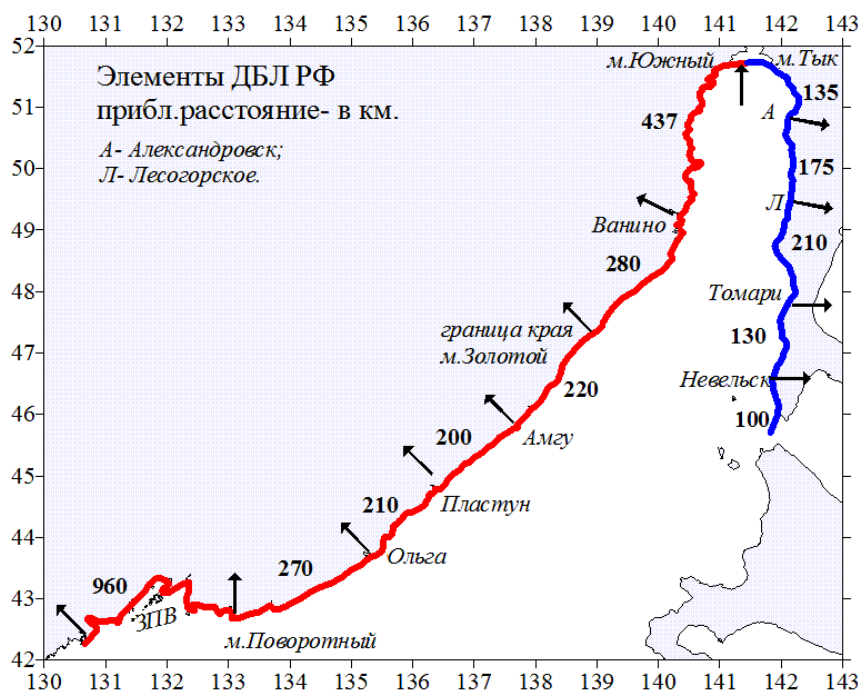


Рисунок 3 — Элементы ДБЛ РФ в Японском море

² www.mapsdirections.info

Таблица 5 — Длина береговой линии (ДБЛ) РФ в восточной части моря

От, до или название отрезка границы	ДБЛ, в км
50 % от пролива м. Южный – м. Тык	20
м. Тык – Александровск	115
Александровск – Лесогорск	175
Лесогорск – Углегорск	43
Углегорск – Томари	165
Томари – Невельск	132
Невельск – м. Кузнецова	75
50 % пролива м. Кузнецова – м. Носаяппу	35
Всего	760

ДБЛ всей российской части (западного и восточного берегов, а также расстояние между м. Южным и м. Тык, $\frac{1}{2}$ расстояния между м. Кузнецова и м. Носаяппу) в сумме дают 3330 км.

Таблица 6 — Длина береговой линии Корейской республики и КНДР

От, до или название отрезка границы	ДБЛ, в км
$\frac{1}{2}$ расстояния от островов Фукуэ до о. Чеджу	126
О. Чеджу, расстояние до камней Кан, до о. Чин, о. Чин и 0,5 км пролив	194
ДБЛ до мыса с долготой 127°20'	260
ДБЛ от долготы 127°20' до м. Изгунова	580
ДБЛ от м. Изгунова до 38° с.ш.	450
ДБЛ от 38° с.ш. до устья р. Туманной	920
Корейская часть береговой линии моря, всего	2530

ДБЛ Республики Корея – 1610 км, а ДБЛ КНДР – 920 км. При этом ДБЛ многочисленных южнокорейских фиордов не учтена. Так что при детальном подсчете ДБЛ корейских вод может значительно увеличиться. Японская часть береговой линии Японского моря суммарно составила 3900 км.

Таблица 7 — Длина береговой линии Японии

От, до или название отрезка границы	ДБЛ, в км
50 % от м. Кузнецова до м. Носаяппу	35
от м. Носаяппу до м. Сираками	693
Сангарский пролив	497
от м. Таппи до м. Кавадзири	2050
м. Кавадзири – м. Номо	396
м. Номо- острова Фукуэ	103
50 % от линии о-ва Фукуэ – о. Чеджудо	126
Японская часть береговой линии моря, всего	3900

Общая длина береговой линии Японского моря по нашим подсчетам³ составляет не 7600 км (как, например, в БСЭ-3), а **9760 км**. Из неё **3330 км** относятся к российским берегам, **2530 км** – к корейским, **3900 км** – к японским.

Большое отличие исчисленной нами ДБЛ от опубликованных значений надо пояснить. Мы полагаем, что это следствие разного масштаба карт, с которых снимались значения ДБЛ. Для таких исчислений нужно установить единый (общий для всех) масштаб.

³ <https://www.mapsdirections.info>

6. Площадь Японского моря

Измерения площади проводились несколько раз с использованием калькулятора сайта <https://www.mapsdirections.info>. Число повторных измерений в разных частях моря было разным, в зависимости от устойчивости значений.

Самый большой разброс был в значениях площади южной части моря (южнее линии м. Изгунова – м. Кавадзири). Мы сочли, что при таком разбросе осреднение неприемлемо и остановились на последней оценке площади моря (82 900 км²), это конкретное значение площади (в отличие от других, осредненных по 4-8 съемкам) – см. табл. 8.

Таблица 8 — Площади отдельных частей моря (в км²)

Часть моря	Пределы	S _{ср} , км ²
Татарский пролив	100732 – 108014	104500
От м. Кузнецова через м. Сираками и м. Поворотный до м. Золотой	205732 – 210052	206370
Южнее указанной, до линии м. Изгунова – м. Кавадзири	662963 – 668504	666500
Часть моря южнее линии м. Изгунова – м. Кавадзири		82900
Залив Петра Великого		9050
Сангарский пролив		5620
Общая площадь моря		1074940

Примечание. Пределы – интервал значений площади по многократным измерениям. S_{ср} – среднее (или принятое) значение площади.

Координаты точек поворота линий, разделяющих экономические зоны разных стран, нам не были известны. Поэтому площадь вод в их экономических зонах мы определили весьма приблизительно (с точностью до 15 тыс. км²).

Оказалось, что Япония владеет примерно 500 тыс. км² (47 %), РФ – 300 тыс. км² (28 %), Южная Корея – 150 тыс. км² (14 %), КНДР – 120 тыс. км² (11 %) площади моря.

7. Сведения о глубине моря и его объеме

Важными востребованными характеристиками моря являются средняя и максимальная глубина, а также определяемый по значениям глубин объем вод.

Глубины моря не меняются тысячи лет, но меняются представления о них. В табл. 9 собраны известные значения средней и максимальной глубины, а также расчетного объема вод.

Таблица 9 — Глубина средняя и максимальная, объём вод Японского моря

Источник сведений	H _{ср} , м	H _{max} , м	Координаты (с.ш. и в.д.)	Объём, тыс. км ³
Советов, 1904		3050		
Шокальский, 1917/1959		3260		
Шокальский, 1933		3710		
Uda, 1934		4224	43.0°, 137.65°	
Бубнов, 1939		4018	42.25°, 139.07°	
Аноним, 1957	1750	3742	41.3°, 137.7°	1713
Истошин, 1959	1752	4036		1713
Леонов, 1960	1640	4036		1612
Основные черты..., 1961	-	3669		
Добровольский, Залогин, 1965	1750	3670		1715
Хидака, 1974/1966		4224	43.0°, 137.65°	
Муромцев, 1966	1750	3699		1710
Ларина, 1968	1600	3699		1700
Фролов, 1971	1535	-		1630
БСЭ-3, 1978	1536 или 1750	3699		1630 или 1713
Добровольский, Залогин, 1982	1535	3699		1630

Shuto, 1982	1350			1360
Narada, Tsunogai, 1986		3610		
Гидрометеорология..., 2003	1535	4224		1630
Зонн, Костяной, 2009	1536 или 1750	3699 или 4224		1630
Шунтов, 2001		3669 или 3695		
Ростов, 2005		3700		1631
Chang, 2015	1650	3800		
Деев, Мирлин, 2017	1536	3720		1631
ЕСИМО, 2022	1535	3742		1630
Мельниченко, 2023		4570	41.0°, 137.5°	
DMA	1514	3777		1612

Примечание: БСЭ – Большая советская энциклопедия; Нср – средняя глубина; Нmax – максимальная глубина; DMA – авторские значения.

Сильный разброс значений параметров может быть вызван не только изменившимся числом промеров, но и разными представлениями о границах моря.

8. Средняя и максимальная глубины моря

В расчетах течений мы использовали сеточные (интерполированные в узлы регулярной (0.0125 градуса) сетки значения глубин моря, созданные П.А. Файманом (2017) по нескольким источникам. Из этого массива мы выбрали значения на сетках большего размера и по ним рассчитали средние и выбрали наибольшие значения глубин.

В конце таблицы 9 приведены авторские (DMA) средняя глубина и объем вод, посчитанные по осредненным сеточным данным (сетка 0.25°×0.25°). Средняя глубина и объем вод по другим сеточным данным (0.5°×0.5° и 1.0°×1.0°), покрывающих море, приведены в табл. 10. Максимальная глубина на сетках (3753 м, 3710 м) не совпадает с максимальной глубиной, измеренной «Витязем», и максимальной глубиной, приведенной в книге ИОАН 1961 года (3669 м).

Таблица 10 — Средняя (Нср) и максимальная (Нmax) глубины, максимальная; объем вод по сеточным данным

Шаг сетки, градус	Число узлов	Нср, м	Нmax, м	Координаты точки максимальной глубины	Объем вод, тыс. км ³
0.25	1862	1512	3753	138.75 в.д., 42.5 с.ш.,	1612.005
0.5	472	1496	3710	135.00 в.д., 42.0 с.ш.,	1616.404
1.0	120	1475	3710	135.00 в.д., 42.0 с.ш.,	1620.714

Примечание: Нср – средняя глубина; Нmax – максимальная глубина.

Для сравнения: Ю.С.Фролов (1971) определял среднюю глубину и средний объем на сетке 5°×5°. Всего там было менее двадцати 5°×5° трапеций на все Японское море. Н.И. Ларина (1968) определяла средние значения в 2-градусных трапециях, покрывающих море. На каких сетках определялись средние значения у других авторов (например, Ростов и др., 2005 или Chang et al., 2015), в их публикациях не сообщалось.

В наших расчетах средней глубины и среднего объема число прямоугольников было от 120 (одноградусная сетка) до 1852 (сетка с шагом 0.25°). При увеличении шага сетки средняя глубина уменьшается, а объем вод моря возрастает.

Поиск в сеточных массивах данных позволил обнаружить четыре отдельных места больших глубин (рис. 4).

Указанные в таблице значения максимальной глубины моря нужно пояснить. Глубина 3669 метров измерена (на НИС «Витязь») в месте, где раньше была найдена глубина 4224/4226 м. Глубины 3669 м и 3742 м были найдены (на НИС «Витязь») вблизи Сангарского пролива (в районе с центром на 41.5 с.ш., 137.5 в.д.). Глубина 3777 м – результат советских измерений в точке, где ранее японские промеры показали глубину 4018 м. Все места максимальных глубин расположены вдоль изобаты 3600 м, а не в середине замкнутой области. Эти небольшие районы снова нуждаются в специальных промерах (Danchenkov, 2019).

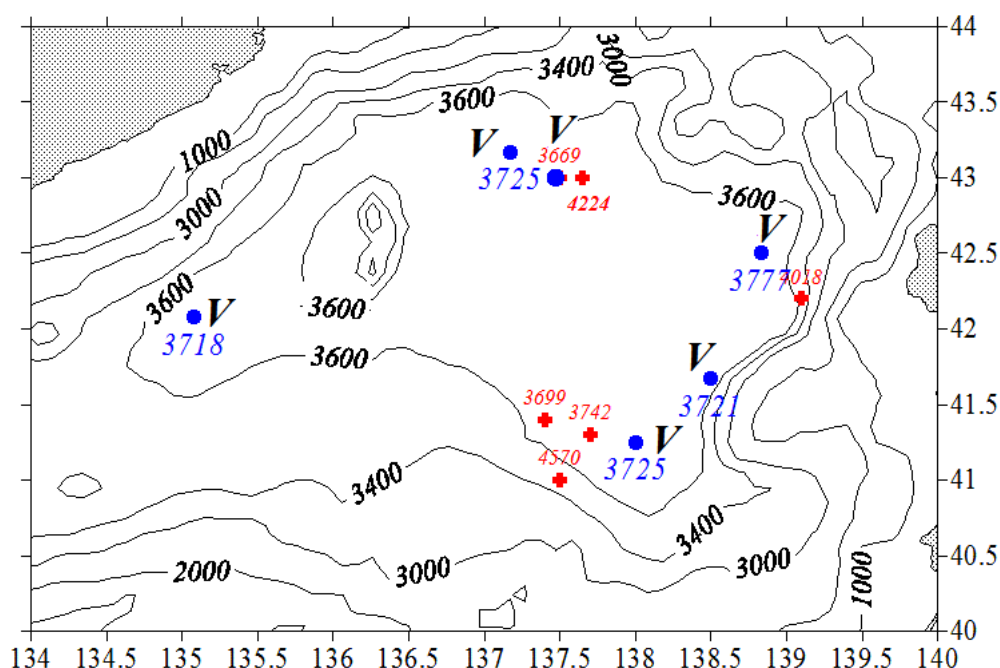


Рисунок 4 — Места максимальных глубин, приведенных в публикациях (обозначены крестиками) и измеренные на НИС «Витязь» (под литерой V)

Заключение

Основные характеристики моря, определенные автором, сведены в таблицу 11.

Таблица 11 — Основные характеристики Японского моря

Параметр	Его значение	Примечание
Границы Японского моря	32°34'–51°45'с.ш.; 125°48'–42°15'в.д.	
Длина и ширина	2130 км × 1355 км	
Длина береговой линии	9760 км	
Площадь	1075 тыс. км ²	На сетке 0,25°
Объем	1612 тыс. км ³	На сетке 0,25°
Средняя глубина	1514 м	На сетке 0,25°
Максимальная глубина	3777 м в точке 42°50 с.ш., 138°83 в.д.	Сведения ГС ТОФ

Список литературы:

1. Ларина Н.И. Расчет площадей Тихого океана, его морей и некоторых котловин. Океанология. 1968. Т. 7. № 4. С. 646-658.
2. Фролов Ю.С. Новые фундаментальные данные о морфологии мирового океана. Вестник ЛГУ. 1971. Т. 6. № 1. с. 85-90.
3. Советов С.А. Японское море. Статья в Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона. Т. 82. СПб.: Семеновская Типолитография, 1904. С. 790-794.
4. Соколов А. Японское море. БСЭ-1. Т. 65. М.: Советская энциклопедия, 1931. С. 752-754.
5. Муромцев А.М. Японское море. БСЭ-2. Т. 49. М.: Советская энциклопедия, 1957. С. 636-637.
6. Истошин Ю.И. Японское море. М.: Гидрометеиздат, 1959. 77 с.
7. Леонов А.К. Региональная океанография. Л.: Гидрометеиздат. 1960. С. 291-463. 8. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Мысль, 1965. 349 с.
9. Хидака К. Японское море. Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеиздат, С. 626-631. [Перевод оригинальной энциклопедии (с добавлением и комментариями), опубликованной в Нью-Йорке в 1966 году.]

10. Васильковский Н.П., Муромцев А.М. Японское море. БСЭ-3. Т. 30. М.: Советская энциклопедия, 1978. С. 1633-1637.
11. Шунтов В.Н. Биология дальневосточных морей. Т. 1. Владивосток: ТИНРО, 2001. 580 с.
12. Ростов И.Д. и др. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей. ТОИ ДВО РАН. Владивосток. 2005. CD.
13. Зуенко Ю.И. Промысловая океанология Японского моря. Владивосток. ТИНРО, 2008, 227 с.
14. Зонн И.С., Костяной А.Г. Японское море. Энциклопедия. М.: Международные отношения, 2009. 421 с.
15. ЕСИМО [сайт]. Режим доступа: <http://esimo.oceanography.ru>.
16. Лоция северо-западной части Японского моря (1702). Л., ГУНМО. 1972. 284 с.
17. Гидрометеорология Японского моря. Ч. 1. СПб.: Гидрометиздат, 2003. 394 с.
18. Limits of oceans and seas. ИО Special Publication, S-23. Monaco. 1953. 38 pp.
19. Limits of oceans and seas. ИО Special Publication, S-23 (Draft 4th Edition). 1986.
20. Limits of oceans and seas. ИО Special Publication, S-23 (Draft 4th Edition). 2000. 208 pp.
21. Шокальский Ю.М. Океанография. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. 537 с.
22. Шокальский Ю.М. Физическая океанография. Л.: Ленгострансиздат, 1933. 360 с.
23. Uda M. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June 1932. J. Imp. Fish. Exp. Station, 1934. V.5. P. 57-190.
24. Бубнов В.К. Гидрологические условия Японского моря. Л.: ГС ВМФ, 1939. 13 с.
25. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: МГУ, 1982. 192 с.
26. Муромцев А.М. Японское море. Краткая географическая энциклопедия. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966. С. 53-54.
27. Shuto K. A review of sea conditions in the Japan Sea. La Mer, 1982. V. 20, Sp. N. P. 119-124.
28. Harada K., Tsunogai S. 226-Ra in the Japan Sea and the residence time of the Japan Sea water. Earth and Planet. Sci. Letters, 1986. V. 77. P. 236-244.
29. Oceanography of the East Sea (Japan sea). Ed. Chang K.I. et al. 2016. Springer. 454 p.
30. Деев М.Г., Мирлин Е.Г. Японское море. М.: Большая российская энциклопедия, 2017. Т. 35.
31. Мельниченко Ю.И. Самая глубокая котловина (Японского моря) [сайт]. Режим доступа: <https://alltopprim.ru/archives/133>.
32. Файман П.А. Опыт использования диагностических моделей для расчета циркуляции вод дальневосточных морей. Труды ДВНИГМИ. 2017. Вып. 155. С. 83-109.
33. Danchenkov M.A. Maximum depth of the Japan sea. Asia-Pacific J. of Marine Science and Education. 2019. V. 9. N. 2. P. 18-27.

Поступила в редакцию 08.11.2023 г.

Географические характеристики залива Петра Великого

Данченков Михаил Алексеевич, danchenkov4@gmail.com

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Рассмотрена достоверность основных характеристик залива Петра Великого, опубликованных в энциклопедиях и на официальных сайтах. Выделены ошибочные значения и предложены более достоверные. Исследована достоверность опубликованных сведений об основных географических параметрах залива Петра Великого. Выделены ошибочные и определены реальные значения.

Ключевые слова: залив Петра Великого; длина; ширина; глубина; площадь; достоверность характеристик.

Geographical characteristics of Peter the Great Bay

Danchenkov Mikhail A., danchenkov4@gmail.com

Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute

The reliability of the main characteristics of Peter the Great Bay, published in encyclopedias and on official websites, is considered. Erroneous values are highlighted and more reliable ones are proposed. The reliability of published information on the main geographical parameters of Peter the Great Bay is investigated. Erroneous values are highlighted and real values are determined.

Keywords: Peter the Great Bay; length; width; depth; area; reliability of characteristics.

Для книги «Океанография залива Петра Великого» [14] нам потребовалось привести основные географические характеристики залива. Во всех справочниках (включая энциклопедии) опубликованы следующие характеристики: площадь, длина, ширина, протяженность береговой линии и, очень редко, средняя глубина. Под *длиной* понимается протяженность залива с юга на север, а под *шириной* (она кратно больше) – протяженность с запада на восток. Эти характеристики залива Петра Великого (далее – ЗПВ), в отличие от температуры воды и течений, постоянны: определенные один раз, они остаются неизменными сотни лет при условии, что границы залива не меняются. Могут уточняться только значения средней глубины при проведении новых обширных промеров. Но потребности в них пока нет.

Уже при беглом знакомстве с характеристиками ЗПВ в разных источниках, оказалось, что они настолько противоречивы и ни с чем не сообразны, что заслуживают специального анализа и проверки. Такие противоречия в неизменяемых характеристиках недопустимы не только среди энциклопедий (справочных изданий), но и среди научных публикаций. Эти противоречия (табл. 1) и нереальные значения – не случайные ошибки, а показатель низкого уровня знаний в региональной океанографии.

Таблица 1 — Основные характеристики ЗПВ в разных источниках (хронологически)

Источник сведений	Площадь, км ²	Береговая линия, км	Длина и ширина, км	Глубина средняя, м
БЕ [9]			80 × 180	
БСЭ-1 [5]			80 × 150	
БСЭ-2 [6], БСЭ-3 [7]			80 × 200	
Петренко, Мануйлов [10]	10 000			
Ростов [11]	6 000 ; 9 000	1 500	* × 200	
Лобанов [2]	11 500	1 700	* × 200	60-80
Мощенко [3]	55 600	1 700	* × 200	
БРЭ [4]	9 000	1 500	80 × 200	
Зонн, Костяной [8]	6 000	1 500	80 × 200	
Семкин [12]	106 442			
ЕСИМО [1]	6 000	1500	* × 200	
Encyclopedia Britannica [13]	6 000		88 × 185	

Примечания. БЕ – энциклопедия Брокгауза и Ефрона; БРЭ – Большая Российская энциклопедия; БСЭ – Большая советская энциклопедия.

Площадь и средняя глубина залива Петра Великого

Статья В.Б. Лобанова в «Энциклопедии Приморья» [2] показывает отличные (от всех других) основные характеристики ЗПВ: «Его площадь – 11,5 тыс. км² Средняя глубина *залива* – 60-80 м». Последнее – единственное известное нам опубликованное значение средней глубины залива. Но значение неверное. Непонятно, как В.Б. Лобанов вычислил такую глубину, ссылок на источник данных или на их обработку он не привел. Мы вычислили среднюю глубину ЗПВ, используя два разных массива данных и по обоим получили близкие значения. Считая границей залива 100-метровую изобату (она ближе всего к прямой линии между устьем Туманной и м. Поворотный), получили среднюю глубину залива – 48,3 м. По другому массиву промеров получили **среднюю глубину 49 м**. Если даже принять границей залива 150-метровую изобату, то средняя глубина залива будет 51,4 м, а при границе по 200-метровой изобате – 54,1 м. То есть указанная В.Б. Лобановым средняя глубина ошибочна.

Площадь залива, указанная В.Б. Лобановым [2] (**11,5 тыс. км²**), отличается от других известных значений и это отличие никак не обосновано. Но эта величина не предел грубых ошибок. Сайт Приморского края [3] более десяти лет убеждает читателей в том, что площадь залива составляет **55 600 км²** (т.е. более трети площади края). Но и это не предел ложных знаний. В диссертации П.Ю. Семкина [12] площадь залива определена в квадратных милях (31000 миль²). Если перевести ее в квадратные километры, то получится **106 442 км²**. Это уже более половины площади Приморского края.

Посчитанная нами [15] площадь залива (при ограничении его с юга «по прямой», соединяющей устье Туманной и м. Поворотный) приближенно составила **9050 км²**. Площадь Амурского залива мы определили в **972 км²**, а Уссурийского залива – **1 824 км²**.

Длина и ширина залива Петра Великого

Длина (там, где она приведена) и ширина залива в большинстве приведенных в таблице источников одинаковы – 80 и 200 км соответственно. Непонятные (при той же длине и тех же границах) исключения – БСЭ-1 [5] и «Британника» [12]. Постоянные значения длины и ширины у разных авторов непонятны. Обычно у разных авторов измерения различаются, а, если ученые используют чужие сведения, то дают ссылку на источник. В указанных энциклопедиях ссылок нет, а длина и ширина – одинаковы.

Мы определили длину и ширину ЗПВ по навигационным картам. При указанных в лоции прямоугольных границах (42 град. 17 мин. с.ш.; 43 град. 20 мин. с.ш.; 130 град 41 мин в.д.; 133 град. 02 мин. в.д.) эти параметры оказались такими: ширина – 190 км, длина – 115 км. Как видно, длина ЗПВ вдоль долготы сильно отличается от указанной в источниках.

Длина залива вдоль долготы не может быть равной (близкой) 80 км, так как перепад границ по широте составляет 63 минуты, а минута долготы равна 1852,5 км. Только если в качестве основания залива принять линию между устьем Туманной и м. Поворотным, а за высоту – перпендикуляр от северной границы Амурского залива (рис. 1, «длина-2»), то ширина («ширина-2» = округленно **200 км**) соответствует указанной в таблице, но длина («длина-2») поперек линии составит приблизительно **90 км**, что сильно отличается от указанной в таблице.

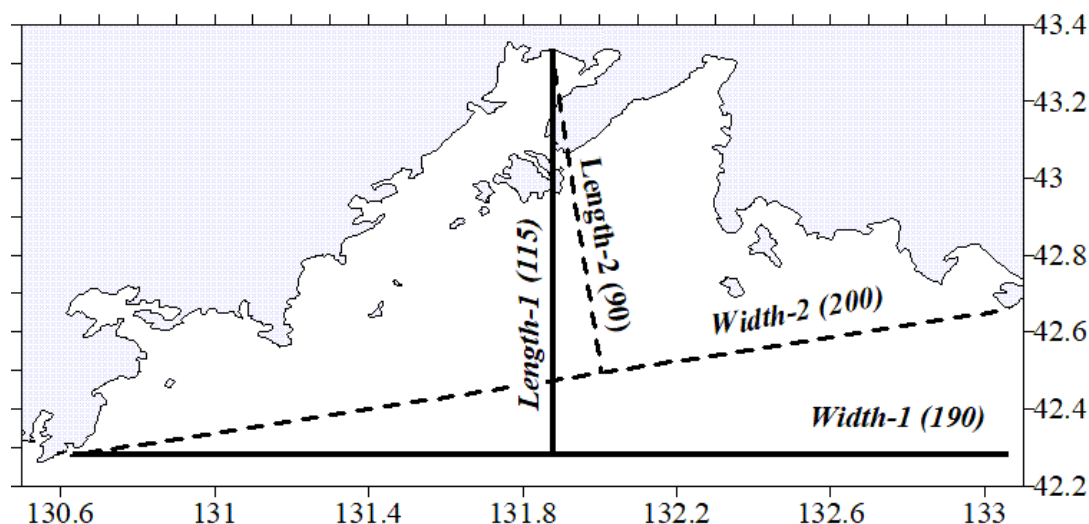


Рисунок 1 — Длина и ширина залива Петра Великого

Мы проверили эти измерения по информации, размещенной в сети Интернет [13]. Отклонения оказались небольшими: приблизительно указанная там ширина залива «вдоль линии» составила **200 км**, ширина по 42,3 с.ш. – **190 км**, длина поперек «линии» – **90 км**, а длина вдоль 131,9 в.д. – **115 км**.

Чтобы понять, откуда у тех авторов взялась такая (80 км) длина, нужно предположить, что ни один автор указанных в таблице публикаций сам не измерял длину и ширину залива, но при этом не ссылаясь на первоисточник. В пользу этого предположения говорит то, что большинство авторов не указывало, что 200 км – это ширина залива вдоль «линии», а не вдоль широты.

Первоисточник сведений о длине и ширине мы нашли – это «Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона» [9]. В нем длина и ширина даны в единицах того времени – 75 верст и 170 верст «на входе», то есть «вдоль линии», что составляет 80 и 181 км соответственно. Из этого источника ширина в 180 км перешла в БСЭ-1. Вероятно позже советские гидрографы перемерили расстояние на картах «вдоль линии». Их публикации нам неизвестны, поэтому осталось неясным, как они определяли координаты южной и северной точек при расчете длины. После этого они, возможно, исправили ширину залива «вдоль линии» со 180 км на 200 км (108 миль). Значение длины осталось прежним, в то время как она должна быть также увеличена.

Но основная проблема со значениями длины и ширины залива иная. Мы полагаем, что они должны проходить по широте и долготе, а не вдоль и поперек наклонной линии, соединяющей граничные точки. Так, длина и ширина Японского моря указывается в шкалах широты и долготы, хотя море более соответствует ромбу, чем ЗПВ.

Мы рекомендуем использовать размеры залива, определенные вдоль широты и вдоль долготы. В этом случае они составляют: ширина – **190 км**, длина – **115 км**.

Длина береговой линии залива Петра Великого

Длина береговой линии ЗПВ при использовании Google-калькулятора [15] составила 960 км.

Заключение

Географические параметры залива Петра Великого следующие:

- длина – 115 км;
- ширина – 190 км;
- площадь – 9050 км²;
- средняя глубина – 49 м;
- длина береговой линии – 960 км.

Список литературы:

1. Залив Петра Великого. Физико-географические характеристики. ЕСИМО. 2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://portal.esimo.ferhri.ru/portal/portal/poi/japan>
2. Лобанов В.Б. Самый большой залив (Японского моря). 2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://alltopprim.ru/archives/category/encyclopedia/chapter-1>
3. Мощенко А.В. Прибрежная зона Японского моря и залив Петра Великого. Географическое положение и гидрологический режим [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fegi.ru>
4. Петра Великого залив. Большая российская энциклопедия. Т. 26. М.: Советская энциклопедия, 2014. С. 89.
5. Петра Первого залив. БСЭ -1. Т. 45. М.: Советская энциклопедия, 1940. С. 370.
6. Петра Великого залив. БСЭ-2. Т. 32. М.: Советская энциклопедия, 1955. С. 587.
7. Петра Великого залив. БСЭ-3. Т. 19. М.: Советская энциклопедия, 1975. С. 477.
8. Зонн И.С., Костяной А.Г. Японское море. Энциклопедия. М.: Международные отношения, 2009. С. 228.
9. Петра Великого залив. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Т. 23. СПб.: Семеновская Типолитография, 1898. 487 с.
10. Петренко В.С., Мануйлов В.А. Физическая география залива Петра Великого. Владивосток: ДВГУ, 1988. 147 с.
11. Ростов И.Д. Залив Петра Великого. Физико-географические, гидрологические характеристики и гидрометеорологические условия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pacificinfo.ru/data/cdrom>
12. Семкин П.Ю. Гипоксия эстуариев залива Петра Великого. Диссертация на соискание ученой степени к.г.н. по специальности «Океанология». Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2018. 140 с.
13. Encyclopedia Britannica [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.britannica.com>.
14. Данченков М.А. Океанография залива Петра Великого. Владивосток-Барнаул: Новый формат, 2022. 403 с.
15. Калькулятор для измерения площадей и расстояний на картах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mapsdirections.info/ru>.

Поступила в редакцию 13.11.2023 г.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 656.61.052 (985)

Особенности грузовых операций на грунте необорудованного берега в районах Арктики и Дальнего Востока

Марьясов Георгий Валерьевич, аспирант

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В некоторых портах обычной практикой является выполнение грузовых операций на грунте. Следовательно, возникает необходимость учета рисков, связанных с угрозой повреждения структурной целостности судна. К повреждениям приводят нагрузки, отличные от тех, что испытывает судно на плаву. Показана необходимость четкого взаимодействия фрахтователя, судовладельца и капитана на примере конкретных случаев правовых коллизий, возникающих в процессе эксплуатации судов, производящих грузовые операции в условиях касания корпусом грунта. Одним из правовых документов, разработанных в стандарте Международного кодекса управления безопасностью (МКУБ), является чек-лист. Все рассматриваемые случаи относятся к портам NAABSA1 по классификации Российского морского регистра судоходства (РС), в которых имеется инфраструктура для обеспечения защиты от волнения со стороны открытого моря и поддержания морского дна в безопасном для посадки судна на грунт состоянии. Что касается условий NAABSA2 и NAABSA3, то это условия необорудованного берега, где нет никакой портовой инфраструктуры, поэтому гарантии безопасности касания судном грунта предоставить невозможно. Это накладывает дополнительные требования к квалификации экипажей судов и обязывает к принятию повышенных мер безопасности со стороны судовладельца (управляющей компании), что влияет на стоимость фрахта.

Ключевые слова: МКУБ, чек-лист, NAABSA, необорудованный берег, грузовые операции на грунте, правовые гарантии безопасности.

Features of cargo operations on the ground of an unequipped shore in the Arctic and Far East regions

Maryasov Georgy Valeryevich, PhD student

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

Although it is common practice in some ports to perform cargo operations on the ground, there is nevertheless a potential danger that its structural integrity is more susceptible to damage, since the vessel is experiencing loads different from those it experiences afloat. Using the example of specific cases of legal conflicts arising during the operation of vessels carrying out cargo operations in conditions of touching the ground with the hull, the need for clear interaction of the charterer, shipowner and captain is shown, one of the conditions for compliance with which is the checklist developed in the ISM Code standard. All the cases under consideration relate to the NAABSA1 ports according to the RMRS classification, in which there is an infrastructure to provide protection from waves from the open sea and maintain the seabed in a safe condition for landing a vessel on the ground. As for the conditions of NAABSA2 and NAABSA3, these are the conditions of an unequipped shore, where there is no port infrastructure, and there is simply no one to provide guarantees for the

safety of the vessel touching the ground. And this imposes additional requirements for the qualification of ship crews and increased security measures on the part of the shipowner (management company), which will be reflected in the cost of freight.

Keywords: ISM code, checklist, NAABSA, unequipped shore, cargo operations on soil, legal safety guarantees.

В некоторых портах и особенно портопунктах Дальнего Востока обычной практикой является выполнение грузовых операций на грунте, поэтому имеется потенциальная опасность того, что конструктивная прочность судна окажется недостаточной и будут получены повреждения, поскольку оно испытывает нагрузки, отличные от тех, которые действуют на плаву.

В этой связи для судовладельцев, во-первых, необходимо определить, что предполагается к такой операции судно технически приспособлено к грузовым операциям на грунте в предполагаемом порту. Во-вторых, следует проверить со страховщиками, будет ли нанесен ущерб договору страхования в случае, если судовладелец согласится включить оговорку NAABSA (Not always afloat but safely aground – «не всегда на плаву, но безопасно на грунте») в договор фрахтования. В-третьих, необходимо проверить, на какой поверхности грунта предполагается проведение грузовых операций: скальный грунт, песок, галька, глина, смесь, а также конфигурация поверхности – гладкое или неравномерное дно, наклон дна и т.д.

В отечественной практике пока нет судов сравнительно больших размеров, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт. Самые большие российские суда для этих целей типа «Сосновка» имеют длину 42,6 м. Сравнение правил РС с правилами других классификационных обществ показывает, что в разделе требований относительно судов, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт, отсутствуют ограничения по длине судна. Однако это не означает, что в ближайшем будущем не появятся суда и больших размеров для погрузки и выгрузки на грунте, учитывая перспективу повышения товарооборота и необходимость дальнейшего освоения труднодоступных районов Дальнего Востока и Крайнего Севера.

В то же время следует учитывать, что общепринятая в мировой практике норма ограничения длины судна для погрузки и выгрузки на грунте в 90 м установлена из того расчета, что обсушение судна предполагается в порту с развитой инфраструктурой и надлежащим состоянием поверхности морского дна, которое обеспечивается администрацией порта. Последнее условие невыполнимо при грузовых операциях на необорудованном берегу, в связи с чем предлагается ввести дополнительные ограничения на длину судна.

Предполагается, что поправка в правила Регистра в разделе требований относительно судов, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт будет такой: «Как общее правило, требования настоящего раздела применимы к судам в режиме NAABSA1 длиной менее или равной 90 м, в режимах NAABSA2 и NAABSA3 – длиной менее или равной 65 м. Суда длиной более 90 м в режиме NAABSA1 и длиной более 65 м в режиме в режимах NAABSA2 и NAABSA3 рассматриваются Регистром в каждом конкретном случае, принимая во внимание, что при посадке на грунт возникают дополнительные нагрузки на корпус при погрузке и выгрузке. Должны быть определены конструктивные особенности судна и условия посадки на грунт при погрузочных и разгрузочных операциях, имеющие воздействие на корпус. Должно быть рассчитано продольное распределение изгибающего момента и нагрузка на корпус для элементов, влияющих на продольные силы.»

Такая поправка будет способствовать приведению правил Регистра к общемировым стандартам с учетом особенностей освоения труднодоступных районов Дальнего Востока и Крайнего Севера. Кроме того, должен быть разработан чек-лист для судов, выполняющих грузовые операции в условиях касания грунта.

В соответствии с «Рекомендациями по осуществлению положений Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ)» РС, чек-лист может быть полезен капитану

для проверки соблюдения установленных требований по действиям / деятельности, осуществляемым членами экипажа. Чек-листы позволяют документировать выполнение необходимых действий в простой и удобной форме путем проставления отметок, фиксировать передачу ответственности или согласованности действий. Чек-листы, в случае их заполнения, являются отчетными документами, которые могут способствовать положительной оценке деятельности управляющей компании и администрации судна при периодических проверках регистровыми и государственными органами, и могут служить подтверждением добросовестного выполнения компаний и экипажем своих обязанностей в случае расследования обстоятельств каких-либо инцидентов. Чек-листы позволяют экономить время, поскольку записи в судовые журналы становятся более простыми, например, «произведена проверка по чек-листу № __, замечаний нет». Подробный регламент работы с чек-листами, порядок и обязательность их заполнения, порядок хранения, передачи в компанию, требования к записи о проверках в судовые журналы должны быть приведены в соответствующих комментариях к чек-листам.

Предлагается проект чек-листа планирования и обеспечения безопасности проведения грузовых операций NAABSA, который может быть использован управляющей компанией при разработке системы управления безопасностью на судне (СУБ).

№	Действия капитана и экипажа	Вып.
1.	Обобщение всей предварительной информации	
1.1	Обязанности экипажа по условиям фрахта	
1.2	Порт захода и специфика по информации портовой администрации	
1.3	Забор проб грунта в порту/на причале	
1.4	История операций NAABSA в порту захода	
1.5	График приливов-отливов и приливо-отливных течений	
1.6	Предварительный грузовой план с последовательностью грузовых операций	
1.7	Прогноз погоды на период грузовых операций NAABSA	
2	Предумышленная посадка на мель для грузовых операций	
2.1	Замеры всех запасов и балласта	
2.2	Закрывать донные кингстоны для забора забортной воды	
2.3	Открывать бортовые кингстоны для забора забортной воды	
2.4	Подобрать дифферент по возможности близкий к углу откоса грунта (NAABSA2 и NAABSA3)	
2.5	Безопасная скорость с учетом прочности корпуса и характеристик грунта	
2.6	Волнение морской поверхности не более 3 баллов	
2.7	Визуальный осмотр корпуса и внутренних помещений на предмет обнаружения повреждений после предумышленной посадки на мель	
2.8	Замеры всех запасов и балласта после предумышленной посадки на мель	
3	Обеспечение безопасности грузовых операций в условиях касания судном грунта	
3.1	Периодический контроль за уровнем водной поверхности, волнением и течением	
3.2	При возникновении опасности засорения трубопроводов взвешенными наносными частицами в результате течения или волнения закрыть бортовые кингстоны	
3.3	Погрузка-выгрузка в соответствии с предварительно рассчитанной последовательностью грузовых операций. При необходимости соответствующие коррективы при изменении внешних условий по отношению к первоначально предполагавшимися погодными и приливо-отливными условиями	
3.4	Натяжение швартовных концов (если судно ошвартовано к причалу, NAABSA1)	
3.5	Периодически производить замеры всех запасов и балласта	
3.6	Периодически производить визуальный осмотр корпуса и внутренних помещений на предмет обнаружения повреждений	
4	Снятие судна с мели по окончании грузовых операций в условиях касания грунта корпусом	

4.1	Планшет глубин вокруг судна	
4.2	Оценка возможности снятия судна с мели только работой собственных двигателей	
4.3	Оценка возможности снятия судна с мели с помощью заноса якорей как можно дальше за корму судна	
4.4	Оценка возможности снятия судна с мели с помощью береговых средств	
4.5	Замеры всех запасов и балласта после снятия с мели	
4.6	Осмотр корпуса и внутренних помещений на предмет обнаружения повреждений после снятия с мели	

Безусловно, чек-лист по такому специфическому виду деятельности, как грузовые операции в условиях касания судном грунта, будет полезен для всех участников, задействованных в процессе: управляющей компании, капитану и экипажу судна.

Список литературы:

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть I. Классификация, НД № 2-020101-138. СПб.: РМРС, 2020.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVII. Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна, НД № 2-020101-138. СПб.: РМРС, 2021.
3. Азовцев А.И., Евенко В.И., Кулеш В.А., Кутейников М.А., Огай А.С., Петров В. А. Предложения по развитию требований к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства №42/43. С. 47-57.
4. Азовцев А.И., Кулеш В.А., Огай А.С., Петров В.А. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах арктических и субарктических морей // Полярная механика. Материалы третьей международной научной конференции 27–30 сентября 2016. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016. С. 450-460.
5. Кулеш В.А., Петров В.А. Актуальность и безопасность грузовых операций при посадке судов на грунт // Морские интеллектуальные технологии. 2015. №3(29). Т. 1. СПб.: НИЦ «Моринтех». С. 75-80.
6. Петров В.А., Огай А.С. Исследование технологических и правовых условий обеспечения безопасности грузовых операций для судов, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт. М.: Русайнс, 2018. 238 с.

Поступила в редакцию 23.11.2023 г.

Оценка возможности снятия судна с мели работой только собственных двигателей

Марьясов Георгий Валерьевич, аспирант

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В условиях нарастающей интенсивности освоения необорудованного побережья Арктики и Дальнего Востока часто возникает необходимость преднамеренной посадки судов на мель для проведения грузовых операций. При снятии судна с мели после завершения грузовых операций следует оценить, достаточно ли работы собственных двигателей для вывода судна на чистую воду. В статье рассмотрены способы расчета реакции грунта: распределение и центр тяжести приложения сил реакции грунта, метод распределения остаточной плавучести, метод оценки через изменение средней осадки, метод оценки через изменение дифферента. Если при преднамеренной посадке судна на мель для проведения грузовых операций предварительный расчет показывает невозможность снятия судна с мели работой только собственных двигателей, то при планировании рейса следует учитывать наличие (или отсутствие) дополнительных средств для снятия судна с мели.

Ключевые слова: преднамеренная посадка на мель, снятие с мели, NAABSA, необорудованный берег.

Assessment of the possibility of removing the vessel from the shoal by using only its own engines

Maryasov Georgy Valeryevich, PhD student

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

In the conditions of increasing intensity of development of the unequipped coast of the Arctic and the Far East, there is often a need for deliberate stranding of ships for cargo operations. When removing a vessel from the shoal after a deliberate landing after the completion of cargo operations, it should be assessed whether the operation of its own engines is sufficient to bring the vessel to clean water. The methods of calculating the soil reaction are considered: the distribution and center of gravity of the application of the forces of the soil reaction, the method of distribution of residual buoyancy, the method of evaluation through a change in average precipitation, the method of evaluation through a change in trim. If, when intentionally stranding a vessel for cargo operations, a preliminary calculation shows that it is impossible to remove the vessel from the shoal by using only its own engines, then when planning a voyage, the presence (or absence) of additional means for removing the vessel from the shoal should be taken into account.

Keywords: deliberate stranding, de-stranding, NAABSA, unequipped shore.

В настоящее время развитие транспортной инфраструктуры вновь является одной из приоритетных задач освоения Арктики и Дальнего Востока. Однако низкая освоенность побережья Арктики и Дальнего Востока вынуждает в условиях отсутствия портов выполнять грузовые операции возле мест освоения или традиционной деятельности в условиях необорудованного берега. В отечественной практике грузовые операции в отдельных случаях производятся при частичной или полной посадке судна на грунт.

Для оценки возможности судна самостоятельно сняться с мели необходимо учесть следующие условия.

1.1. Распределение реакции грунта и ее центр тяжести

После окончания грузовых операций на грунте у экипажа возникает задача безопасно сняться с мели без повреждения корпуса судна, рулевого устройства, винтов и конструкций днищевого набора. Идеальный случай, если судно всплывет в результате прилива. Но на такое везение лучше всего не рассчитывать, а заранее предусмотреть меры по безопасному выходу в открытое море.

Определение реакции грунта необходимо по следующим причинам:

- Реакция грунта должна быть добавлена к нагрузкам для оценки влияния на общую и местную прочность.
- Положение центра тяжести реакции грунта должно быть установлено для определения влияния изменения нагрузок на реакцию грунта.
- Судно будет вращаться вокруг центра тяжести реакции грунта при воздействии боковых внешних сил.

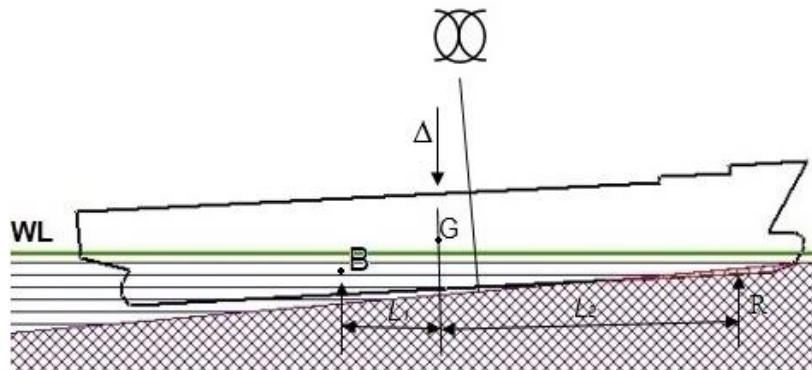


Рисунок 1 — Силы, действующие на судно, касающееся грунта на одном сегменте длины

Если судно находится на грунте только на одном сегменте длины, центр тяжести реакции грунта может быть найден сравнением моментов относительно некоторой соответствующей точки, например, центра тяжести судна G:

$$\begin{aligned} B \cdot l_1 &= R \cdot l_2; \\ l_2 &= \frac{B \cdot l_1}{R}, \end{aligned} \quad (1)$$

где:

R – реакция грунта;

B – сила плавучести;

l_1 – расстояние от центра плавучести B до центра тяжести судна G ;

l_2 – расстояние от центра тяжести судна G до центра силы реакции грунта.

Центр тяжести и центр плавучести для судна на плаву находятся на одной линии. Координаты центра плавучести могут быть сняты с кривых элементов теоретического чертежа или гидростатических таблиц для средней осадки судна на грунте, и тогда смещение центра плавучести из-за наличия дифферента составит:

$$BB_1 = \frac{z_M \cdot t}{L}, \quad (2)$$

где:

BB_1 – смещение центра плавучести из-за наличия дифферента;

z_M – продольная метацентрическая высота;

t – дифферент;

L – длина между перпендикулярами.

Точное распределение реакции грунта зависит от состава грунта, топографии дна, распределения весовых нагрузок и сил плавучести судна. Поскольку численные значения в отношении состава грунта и топографии дна не могут быть определены с достаточной точностью, то и распределение сил реакции грунта не может быть составлено с абсолютной точностью. Простейшим предположением является равномерное распределение реакции грунта по длине:

$$r = \frac{R}{l_g}, \quad (3)$$

где:

r – сила реакции грунта на один погонный метр;

R – реакция грунта;

l_g – длина участка соприкосновения с грунтом.

На равномерно наклонной поверхности дна корпус судна будет испытывать наибольшую нагрузку в верхней точке касания откоса. Нагрузка возрастает от нуля в последней точке касания до максимума в первой точке касания. Естественным предположением в этом случае будет распределение в виде прямоугольного треугольника с катетом P_{max} :

$$P_{max} = \frac{2 \cdot R}{l_g \cdot b_{avg}}, \quad (4)$$

где:

P_{max} – максимальное давление корпуса на грунт;

R – реакция грунта;

l_g – длина участка соприкосновения с грунтом;

b_{avg} – средняя ширина участка соприкосновения с грунтом.

Если центр реакции грунта расположен ближе к одному из концов участка соприкосновения с грунтом, то распределение принимается, как неравномерное.

При стягивании судна с грунта следует иметь в виду, что судно может пойти не так, как было рассчитано. Анализ поведения судна при стягивании должен привести к более точной оценке распределения реакции грунта и положения центра реакции грунта.

1.2. Вычисление реакции грунта

Значение реакции грунта необходимо определить для объема работ и способов приведения судна в состояние «на плаву», а также для оценки остойчивости, посадки и прочности. Реакция грунта определяется разницей значений посадки судна на грунте и на плаву. Реакция грунта, действующая на киль судна, приподнимает и дифференцирует его корпус.

Для расчета реакции грунта требуется знание осадок носом и кормой перед посадкой на грунт. Если условия не позволяют этого сделать, то осадки непосредственно перед посадкой на грунт рассчитываются от значений, записанных в судовой журнал в последнем порту отхода, с учетом расходования запасов и приема/откатки балласта на переходе.

Перед снятием судна с грунта необходимо снять осадку со всей возможной точностью. Все осадки и гидростатические величины должны быть на одной основе, например, пресная вода или соленая вода. При этом следует учитывать возможность изменения плотности воды во время грузовых операций, поэтому следует измерить плотность воды для уточнения расчетов перед снятием судна с грунта.

Анализ распределения веса и плавучести судна на грунте позволяет определить величину реакции грунта и помочь определить его распределение и центр тяжести. Площадь между кривой распределения весовых нагрузок и кривой распределения плавучести представляет собой реакцию грунта. Хотя площадь между кривой распределения весовых нагрузок и кривой

распределения плавучести равна реакции грунта, форма этой площади не определяет в точности распределение реакции грунта. Кривая нагрузки, составленная из сумм веса, плавучести и реакции грунта не равна нулю в каждой точке, хотя имеется общее равновесие. Для существования равновесия необходимо, чтобы реакция грунта была распределена так, чтобы комбинированный центр плавучести и реакции грунта лежал на одной вертикальной линии с центром тяжести судна. Путем распределения реакции грунта вдоль участка касания грунта так, чтобы комбинированный центр плавучести и реакции грунта лежал на одной вертикальной линии с центром тяжести судна, может быть получено распределение реакции грунта с достаточной точностью. Этот метод применим для компьютерных расчетов при наличии автоматизированной базы данных по гидростатике корпуса. То есть для каждого судна должно быть разработано одобренное классификационным обществом программное обеспечение для соответствующих расчетов.

Кривая распределения плавучести формируется из секторных площадей масштаба Бонжана. Для большинства случаев посадки на грунт, входные осадки могут быть определены как линейная интерполяция между осадками носом и кормой, как расчетными, так и графическими способами. Если корпус судна имеет заметный прогиб или изгиб, кривая распределения плавучести должна быть сформирована из осадок, взятых на нескольких участках.

Простой, но все же во многих случаях применимый метод оценки величины реакции грунта может быть осуществлен умножением изменения средней осадки на количество тонн нагрузки на 1 м осадки(q):

$$R = (d_b - d_g) \cdot q, \quad (5)$$

где:

R – реакция грунта;

d_b – средняя осадка на плаву;

d_g – средняя осадка на грунте.

Этот метод часто используется, поскольку осадки и количество тонн нагрузки на 1 м осадки (q) могут быть оценены при отсутствии детальной информации.

В этом случае рассматривается только подъем корпуса судна на грунте и годится только в первом приближении в предположении, что дифферент сильно не изменяется при посадке на грунт. Если имеет место значительное изменение дифферента при посадке на грунт, точность метода может быть улучшена применением поправок, принятым при сдаче-приеме груза по осадке.

1.3. Метод оценки реакции грунта через изменение дифферента

Метод оценки через изменение дифферента наиболее полезен, когда общий дифферент превышает одну сотую от длины судна и центр тяжести реакции грунта известен с достаточной точностью, и изменение дифферента является определяющим следствием посадки на грунт. Реакция грунта рассматривается как сила, производящая только изменение дифферента:

$$R = \frac{M_{1m} \cdot \delta t}{l_r}, \quad (6)$$

где:

R – реакция грунта;

δt – общее изменение дифферента;

M_{1m} – момент, дифферентующий на 1 м.

1.4. Оценка метацентрической высоты судна, лежащего на грунте

Реакция грунта соответствует снятию нагрузки равного веса с уровня киля, что приводит к виртуальному возвышению центра тяжести:

$$z_{g1} = \frac{z_g \cdot \Delta}{\Delta - R}, \quad (7)$$

где:

z_{g1} – возвышение центра тяжести судна при посадке судна на грунт;

z_g – возвышение центра тяжести судна на плаву;

Δ – водоизмещение судна;

R – реакция грунта.

Поскольку возвышение центра тяжести увеличивается, это приводит к виртуальному уменьшению метацентрической высоты. Но если судно лежит на ровном плоском грунте, то опасности опрокидывания судна нет. Угол наклона грунта, при котором судно преодолеет трение и начнет скользить по дну, обычно значительно меньше, чем угол крена, при котором возможно опрокидывание.

Особое внимание должно быть уделено предварительному расчету остойчивости перед всплытием судна с грунта. Кажущаяся остойчивость судна, поддерживаемого грунтом, скрывает изменения в остойчивости при всплытии. Если расчет остойчивости не выполнен, то значительная потеря остойчивости может быть не замеченной до тех пор, пока судно не окажется на плаву.

1.5. Посадка судна при грузовых операциях на грунте

Во время касания грунта и во время всплытия в случае **NAABSA1** распределение нагрузок на судне должно по возможности составлено так, чтобы судно сидело на ровном киле, чтобы минимизировать изгиб корпуса, обусловленный реакцией грунта.

Во время преднамеренной посадки на мель в случаях **NAABSA2** и **NAABSA3** дифферент судна должен по возможности соответствовать углу откоса береговой черты с тем, чтобы нагрузки при соударении корпуса с дном были распределены по днищу судна, насколько это возможно, равномерно. При этом судно продвинется как можно дальше к берегу для упрощения грузовых операций.

1.6. Воздействие окружающей среды на судно при грузовых операциях на грунте

Воздействие окружающей среды на судно при грузовых операциях на грунте обусловлено характеристиками грунта и гидродинамическими силами. Гидродинамические силы действуют на судно при посадке на грунт из-за приливных явлений, течений, ветровых и прибойных волн, зыби. Ветер может быть существенным фактором, особенно во время и после снятия с грунта. Силы воздействия окружающей среды обычно связаны друг с другом. Это воздействие может быть постоянным, периодическим или нерегулярным, и может меняться из-за сезонных условий или из-за местных аномалий погоды. Особенно важно это учитывать в случаях **NAABSA2** и **NAABSA3**, хотя и в защищенных портах следует принимать все меры предосторожности, рекомендуемые обычной морской практикой и правилами порта.

1.7. Воздействие поверхности дна

Суда в режиме **NAABSA2** и **NAABSA3** могут испытывать килевую, бортовую и вертикальную качку, что может приводить как к ударным контактам с грунтом в любой точке днища, так и к горизонтальному смещению относительно дна. Грузовые операции методом осушки в нормальных эксплуатационных условиях производятся на таких грунтах, как ил, мягкая глина, песок заиленный, ракушка, гравий, плотный песок, глина. Если в грунте есть компоненты кораллов и камня, то это экстремальные условия, аналогичные аварийной посадке на мель, и такие случаи должны рассматриваться как инцидент при незначительных повреждениях и как авария при серьезных поломках.

Последствия ударных контактов с грунтом должны быть уменьшены конструктивными мерами. Для предотвращения горизонтального смещения относительно грунта во время грузовых операций можно использовать основные и дополнительные якоря.

В иле и мягких грунтах может возникать такой эффект, как присасывание корпуса к грунту. Эти виды грунта чаще встречаются в гаванях и устьях рек, и редко на открытом побережье, поскольку мелкие частицы поддерживаются во взвешенном состоянии легчайшими движениями воды. Поэтому возможность такого явления более характерна для случая грузовых операций **NAABSA1**. Ил состоит из очень мелких грязевых частиц с включением большого количества частиц глины. Частицы достаточно малы, чтобы подвергаться электростатическому и внутримолекулярному притяжению. Если частицы находятся в спокойной воде, то они слабо связаны друг с другом и образуют рыхлую не затвердевшую массу. Вес судна на грунте как объединяет частицы, так и производит боковой поток. Боковому потоку препятствуют присоединенные грязевые частицы; боковое давление приводит к вспучиванию поверхности дна на несколько дециметров, которое называется «илистая волна». Высота «илистой волны» и скорость, с которой она формируется, определяют усилие, необходимое для снятия судна с грунта. При этом может возникать эффект присасывания. Вес судна выдавливает воду из рыхлой илистой массы и формирует более плотную и менее проницаемую структуру. Под избыточным давлением ил и глина могут разделиться. Глина формирует непроницаемые слои, которые препятствуют доступу воды, и препятствует изменению гидростатического давления под корпусом судна. Поскольку давление под судном меньше, чем в окружающей воде, то судно удерживается на грунте. Присасывание характерно широких судов с избыточной остойчивостью и для плоскодонных судов. Узкие суда, особенно с малой остойчивостью, редко удерживаются присасыванием, поскольку даже небольшое покачивание позволяет воде просочиться между водой и корпусом.

1.8. Влияние волнения

Влияние волновых эффектов на судно при грузовых операциях на грунте зависит от следующих факторов:

- Положение судна относительно береговой черты.
- Направление судна относительно береговой черты и направления волнового фронта.
- Размер и период волн и зыби, воздействующих на судно.
- Насколько плотно судно сидит на грунте и характер поверхности дна.
- Подверженность воздействию большой зыби, прибойных волн и ветровых волн.

Воздействие волн на судно обусловлено суммарным сочетанием всех этих эффектов. Вблизи гребня волны сила плавучести возрастает, и реакция грунта уменьшается. Распределение реакции грунта и положение центра тяжести изменяются; рычажный принцип действия корпуса судна подрывает присасывание и может уменьшить силу трения. Комбинированный эффект может сделать судно более подвижным. Этот эффект полезен при снятии судна с грунта, но может быть опасен во время грузовых операций, поскольку судно может отойти от места погрузки или развернуто.

При посадке на грунт на береговой черте контакт корпуса с грунтом будет уплотняться прибрежными волнами с коротким периодом. При снятии судна с грунта может быть затруднительно вытащить судно через прибойную полосу.

Судно, посаженное на грунт на некотором расстоянии от береговой черты, менее подвержено ударным нагрузкам, но испытывает большое воздействие зыби с большим периодом колебаний и постоянное значительное изменение распределения силы плавучести на большом участке длины. Волны с длиной волны, примерно равной длине судна, могут привести к значительному изгибу или прогибу судна.

Сильный прибой или зыбь особенно опасны, когда судно сидит на грунте одной своей частью, а другая часть на плаву:

Судно может быть легко развернуто. Сильные удары волн с морской стороны судна даже под малыми углами способствуют развороту судна, поскольку свободная от грунта часть судна действует, как рычаг. Прибрежное течение может усугубить этот эффект. Вращающий момент определяется суммой сил волн и течения вдоль длины судна.

Плавучая часть судна подвержена вертикальным нагрузкам, поскольку плавучесть уменьшается и увеличивается набегающими волнами. Поскольку плавучая часть подвержена

колебаниям, она может удариться о дно судна, в то время как его рычажный принцип действия воздействует на часть судна на грунте, заставляя его смещаться. Периодические колебания плавучести могут привести к большим нагрузкам на корпус или разрушению вследствие усталости металла.

2. Возможность снятия судна с мели работой собственного двигателя

Упор винта на заднем ходу рассчитывается по формуле:

$$F_{ГД} = 0,14k_p\rho n^2 D_e^4 (3,76 + B d_{ср} \beta_m / D_e^2), [Н] \quad (8)$$

где:

k_p – коэффициент упора винта (определяется по специальным диаграммам);

β_m – коэффициент полноты площади мидель-шпангоута.

Для практических расчетов используют еще такую формулу:

$$F_{ГД} = 10k_c P_{ind} k_{zx}, [кН]$$

где:

k_c – коэффициент, равный 0,01 для судов с ВПВФШ;

P_{ind} – индикаторная мощность, л. с.;

k_{zx} – коэффициент заднего хода, равный 0,8 для грузовых судов с ВПВФШ.

Таким образом, условие возможности снятия судна с мели работой собственного двигателя:

$$F_{ГД} > c \cdot R, \quad (9)$$

где:

c – коэффициент трения;

R – реакция грунта.

Если условие (9) не выполняется, то следует рассмотреть дополнительные возможности для снятия судна с мели.

Список литературы:

1. Азовцев А.И., Евенко В.И., Кулеш В.А., Кутейников М.А., Огай А.С., Петров В.А. Предложения по развитию требований к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. № 42/43. С. 47-57.
2. Азовцев А.И., Кулеш В.А., Огай А.С., Петров В.А. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах арктических и субарктических морей // Полярная механика. Материалы третьей международной научной конференции 27–30 сентября 2016. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016. С. 450-460.
3. Кулеш В.А., Петров В.А. Актуальность и безопасность грузовых операций при посадке судов на грунт // Морские интеллектуальные технологии. № 3(29). Т. 1. С. 76-81.
4. Петров В.А., Огай А.С. Исследование технологических и правовых условий обеспечения безопасности грузовых операций для судов, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт. М.: Русайнс, 2018. 238 с.
5. Усов В.Д., Волков А.А. Снятие судна с мели. Астрахань: Агентская фирма Флот, 2005. 48 с.
6. Гольдин Э.Р., Козлов В.П., Челышев Ф.П. Подводно-технические аварийно-спасательные работы. Справочник. М.: Транспорт, 1990. 335 с.

Поступила в редакцию 23.11.2023 г.

Обзор эволюции обучающего оборудования как устройств, моделирующих работу сложных инженерных систем (продолжение)

Пастухов Сергей Витальевич, доцент, pastukhov@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Цель статьи – показать эволюцию тренажерной техники для обучения инженеров. Простой принцип совершенствования инженерного обучения – применение современных тренажерных технологий. Причём эти технологии не обязательно должны быть дорогостоящими. Рассмотрены примеры решений, которые можно назвать мини-тренажерами, достаточно эффективных в своих областях. Они могут быть интегрированы в сложные тренажерные системы или использоваться самостоятельно. Оценивается временной интервал от начала 1990-х годов XX века до наших дней. В статье рассмотрена дальнейшая эволюция тренажерного оборудования и показано, как новые технологии создают новые решения. В заключение предложены идеи по дальнейшему развитию тренажерных технологий и расширению области их применения.

Ключевые слова: физическое моделирование, механические тренажеры, функциональность.

Training equipment evolution overview as devices simulated the operation of complex engineering systems

Pastukhov Sergey, Associate Professor, pastukhov@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The purpose of the article is to show the evolution of simulation equipment for training engineers. A simple principle for improving engineer training is the use of modern simulator technologies. Moreover, these technologies will not necessarily be huge and expensive. Examples of solutions that can be called as mini-simulators, which are quite effective in their areas, are considered. If necessary, they can be integrated into complex simulator systems, but can also be used completely independently. The time interval is estimated from the early 1990s of the twentieth century to the present days. The further evolution of training equipment is considered. It is shown how new technologies create new solutions. New ideas for further development of training technologies and expansion of their points of application are proposed for consideration.

Keywords: physical modeling, mechanical simulators, functionality.

Тренажерное «вчера» и «сегодня» – современное состояние развития тренажеров подготовки морских специалистов

Данная публикация является продолжением обзора развития тренажерных методик и технологий, описанных в ранее в статье, опубликованной в «Вестнике Морского государственного университета», выпуск № 90 / 2023 [1]. В ней были рассмотрены события примерно до начала 90-х годов XX века. Хронология развития тренажеров была разделена авторами по указанной временной границе, поскольку на рубеже 80–90-х годов произошло несколько событий, кардинально повлиявших на развитие судовой автоматики и, как следствие, на перестройку части судостроительного рынка. Что, в свою очередь, привело к изменениям в тренажерных технологиях для механиков.

Мировое судостроение, пережив некоторый спад конца 1970-х – начала 1980-х гг., после 1988 г. стало заметно расти. Активно развивается современное и недорогое на тот момент судостроение в Южной Корее. Также успешно работают судовой верфи Западной Европы. Восточная Европа постепенно уходит из-под влияния Советского Союза, её судостроительные мощности переходят под контроль западных менеджеров, значительно модернизируются и будут в целом неплохо работать до начала 2000-х годов, когда на первое место постепенно выйдет Китай. В связи с развитием пока ещё дорогостоящих, но уже более доступных промышленных компьютерных технологий новый флот строится более автоматизированным. Но у каждой компании, производящей сложную комплексную автоматику, разработаны собственные оригинальные решения, иногда достигающие уровня специализированных операционных систем, имеющих эксклюзивные программные и графические решения и требующие не менее эксклюзивного компьютерного «железа». Унификация решений от разных судостроителей была слабая, а совместимость оборудования и датчиков стала непростой задачей.

Ситуация изменилась, когда компания IBM, производящая компьютеры, принимает решение о производстве машин с открытой аппаратной архитектурой и совместимостью программного обеспечения. В итоге по всему миру начинают производить и активно продавать так называемые «IBM-совместимые» компьютеры. Позднее их стали называть просто «PC-совместимыми» или даже «PC» (от PC – «Personal Computer»).

Одни из самых популярных компьютеров этой серии с процессорами 80386 стали доступны с 1986 года. Основная операционная система для PC была MS-DOS. С этого времени унифицированные персональные компьютеры стали широко и достаточно быстро проникать на все производства и в дома обычных граждан. Они стоили достаточно дорого, но уже не требовали отдельных комнат или громоздких шкафов для мониторов, принтеров и устройств хранения данных. «IBM-совместимые» компьютеры не были на тот момент лучшими в мире, но за счёт открытой конфигурации они были заметно дешевле и достаточно быстро захватили огромную долю компьютерного рынка, вытеснив с него почти всех остальных игроков.

Через некоторое время компания Microsoft фактически подарила всему миру свою операционную систему Windows. Так как владельцы этой компании в то время не занимали жёсткую позицию по борьбе с компьютерным пиратством, то к 1993 году почти на каждом PC стояло их программное обеспечение. Их операционная система также не была самой лучшей в мире, но она была де-факто бесплатной для большинства пользователей. Альтернативные операционные системы существовали, но не пользовались популярностью, либо использовались только в узкоспециализированных нишах. Через пару лет ситуацию кардинально изменил выход ОС Windows 95. По функциональности Windows 95 уже была вполне неплохой, она стояла наравне с многими конкурентами с других платформ. Политика компании Microsoft по-прежнему оставалась мягкой к нелегальному копированию.

В результате лавинообразного распространения этой операционной системы и заметного удешевления персональных компьютеров примерно с 1995 года в мире наступила «Эра PC+Windows», что не могло не повлиять на судостроение. Морской бизнес достаточно консервативен, и кардинально новые решения в нём внедряются очень осторожно. Производители судовых автоматизированных систем пытались использовать собственное специализированное оборудование и программное обеспечение, но под активным давлением внешней Windows-среды они вынуждены были либо перестраиваться под новую ОС, либо постепенно уходить с рынка, проигрывая компаниям, активно развивающим и внедряющим совершенно новое промышленное программное обеспечение и компьютерное «железо».

Дальнейшее развитие морских тренажерных технологий уже было также тесно связано с прорывным развитием компьютерных технологий и удешевлением стоимости аппаратной части, а также развитием её функциональности.

Период конца 90-х – начала 2000-х гг. для глобальных тренажерных технологий морского флота ознаменован некоторым «застоем». Связано это было, в первую очередь, с уже упоминаемой выше консервативностью отрасли, а во вторую очередь – с борьбой компьютерных операционных систем в мире и, конечно же, на флоте.

У многих компаний, серьёзно занимавшихся судовой автоматикой, на тот момент имелись свои наработки и отработанные решения, в которые было вложено достаточно много ресурсов. У некоторых даже фактически были свои операционные системы, в том числе и у упоминаемой ранее компании Norcontrol. Эти компании не желали переходить на стороннее программное обеспечение, вполне справедливо считая, что их собственный продукт не уступает по качеству. К тому же, этот шаг требовал полного изменения всего имеющегося специализированного программного обеспечения. Но к началу 2000-х гг. стало очевидно, что Windows побеждает, почти все программы по автоматике новых судов стали базироваться исключительно на этой операционной системе. В итоге пришлось перестраиваться всем, в том числе и тренажёрам.

На волне всеобщей компьютеризации стали появляться своеобразные продукты, которые можно было бы назвать мини-тренажерами. Делали их и известные производители и различные энтузиасты. Внешне это иногда выглядело как простая компьютерная игра, хотя в ней обыгрывались вполне серьёзные промышленные вопросы. К сожалению, это не стало массовым явлением, скорее всего, из-за невозможности получения существенной прибыли при попытках монетизации данного продукта. Рынок морского бизнеса не мал, но гораздо меньше рынка компьютерных игр, где на подобной работе можно заработать намного больше. На наш взгляд, наиболее примечательными примерами из разряда этой продукции являются симуляторы опреснителя и сепаратора от хорошо известной в морском мире фирмы Alfa Laval. Например, весь тренажер опреснителя был представлен на двух экранных изображениях с простой анимацией и звуковым сопровождением. К ним прилагались два вспомогательных окна с краткой инструкцией и описанием обозначения клапанов на диаграмме. Это очень простой симулятор, который работает на любом компьютере и прост в установке. Он показывает все процессы в опреснителе, позволяя делать даже некоторые регулировки и имитировать небольшие неисправности, например, некорректное открытие или закрытие клапанов. По моему личному опыту работы инженером-суперинтендантом группы судов, на которых были установлены именно такие опреснители, после распространения этого симулятора среди механиков было отмечено значительное уменьшение вопросов относительно проблем с опреснителями.

Аналогично выполнен тренажер по сепаратору, также от компании Alfa Laval. Рисунки, показывающие работу симулятора опреснителя, приведены ниже (рис. 1 и 2).

Отдельную благодарность хочу выразить представителям Сингапурской морской академии, которые в начале 2000-х гг. создали небольшое обучающее компьютерное приложение по пусковой пневматической системе двухтактных двигателей от MAN B&W. Судя по доступной информации, его сделали и разместили в интернете в свободном доступе, не требуя ни денег, ни каких-либо пожертвований. Изначально это приложение нацелено на обучение студентов морских специальностей особенностям конструкции и работе достаточно сложной системы пневматического управления огромных двигателей, установленных почти на половине судов морского торгового флота. Ценность этого продукта очевидна не столько студентам, сколько вторым или старшим механикам, когда они сталкиваются с необходимостью поиска решения реальных проблем с пусковой системой на судне. Чертежи подобных систем из судовой документации достаточно неплохи, но обилие взаимосвязей затрудняет понимание того, как работает система в целом. А в симуляторе есть ясное и простое описание почти всех компонентов системы, а также наглядная и тоже простая анимация, показывающая куда и как движется управляющий воздух, как и почему реверсируется топливный насос высокого давления и почему запускается главный двигатель судна. Всё это выполнено в цвете и принципы работы понимаются гораздо лучше, чем с помощью традиционных черно-белых чертежей и схем. Это приложение – полноценный обучающий модуль с интегрированными ключевыми теоретическими сведениями, тестовым опросником и с сервисными письмами от производителя дизелей. А непосредственно симулятор является самой важной и полноценной частью этого обучающего модуля.

На наш взгляд, подобные продукты максимально полезны для самообразования моряков. Информация в них представлена понятно и доступно, подобные программы работают на любом компьютере без доступа к интернету, не требуют сложной установки, паролей или регистрации по сети [7].

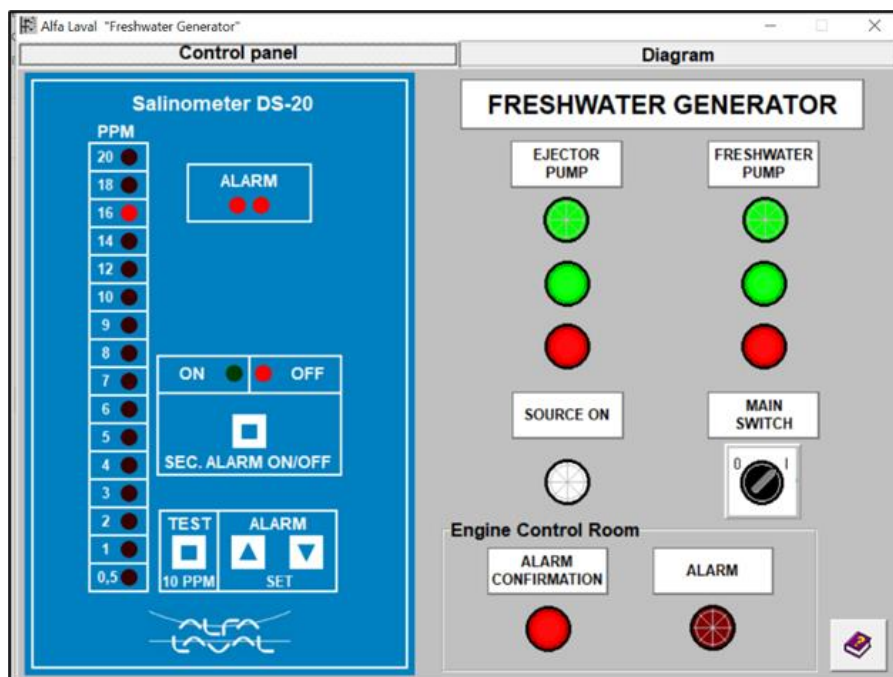


Рисунок 1 — «Мини-тренажер» опреснителя от Alfa Laval.
Снимок экрана, изображающего управляющую панель (Control Panel)

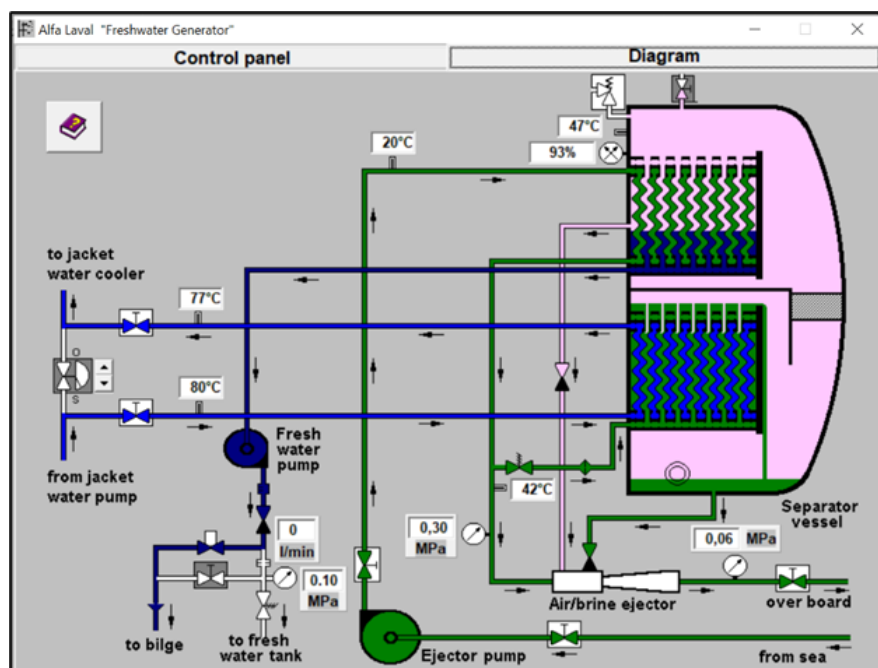


Рисунок 2 — «Мини-тренажер» от Alfa Laval.
Снимок экрана, изображающего диаграмму оборудования
и трубопроводов вакуумного опреснителя типа JWP

Тем не менее, несмотря на активную компьютеризацию тренажерных технологий, часть компаний, в том числе и очень авторитетных, продолжает производить и использовать «традиционные» тренажеры имитационного типа. Например, учебные модули от компании Nabtesco (рис. 4–6). Это блоки, в точности имитирующие пульт управления и пневмосистемы двухтактного дизеля типа MC-C от MAN B&W. Каждый блок выполнен на своей тележке, достаточно транспортабелен и пригоден для размещения в обычной учебной аудитории. Оборудование позволяет наглядно демонстрировать работу системы автоматики главного судового двигателя во время его запуска, остановки, реверсирования и работы на различных режимах.

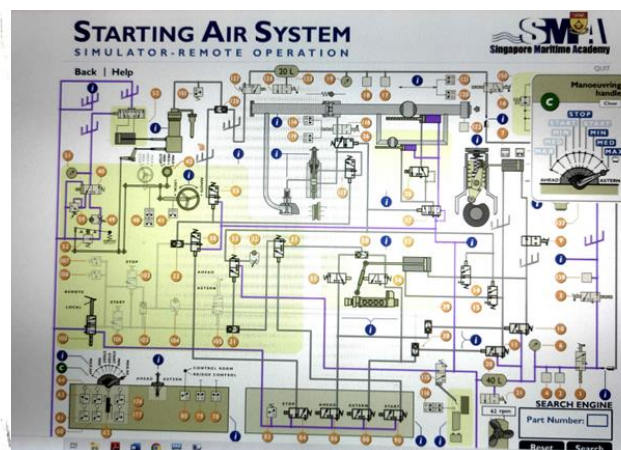
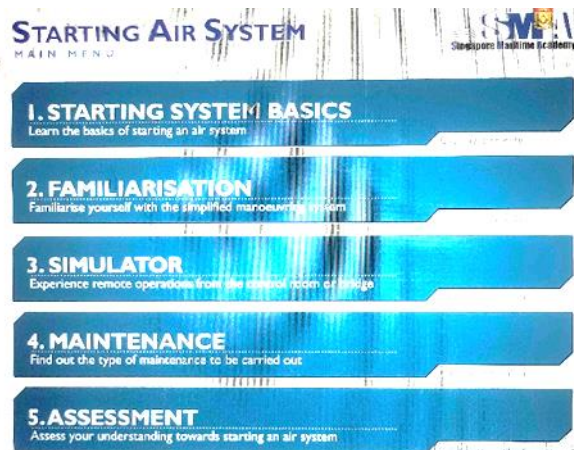


Рисунок 3 — Снимки экранов симулятора от Singapore Maritime Academy.
Пусковая система дизелей типа MC-C производимых MAN B&W



Рисунки 4 – 6 — Тренажер автоматки машинного отделения
от фирмы Nabtesco (фото автора)

Основное преимущество подобных тренажёров – максимальная идентичность реальному судовому оборудованию конкретных судов. Как правило, целевая аудитория подобных тренажёров – экипажи, которые будут работать на судах, оборудованных именно такими системами. Хотя это и «вчерашний» подход к современному обучению, но в некоторых условиях он неплохо работает и имеет право на существование.

Эlegantное предложение сформировала фирма MAN B&W Diesel – «симулятор в коробке». Как они пишут в своём журнале: «В ответ на растущую популярность двигателя ME возникла потребность в более гибких решениях для учебных заведений по обучению операторов правильному использованию преимуществ двигателя ME. Отдел исследований и разработок MAN B&W Diesel, где разрабатывается операционная система ME, отреагировал на нужды судоходства созданием новейшего, полностью портативного симулятора двигателя ME» [2].



Рисунки 6 – 7 — Портативный тренажер управления дизелем серии ME от MAN B&W Diesel (фото из журнала Diesel Fact [2])

Внешне этот тренажёр выглядит похожим на рассмотренный выше симулятор от фирмы Nabtesco, он также выполнен на независимых тележках, в меру транспортабелен, пригоден к установке в обычной учебной аудитории. Внешне приборы выглядят как на настоящем судне, но наполнение тренажера, в отличие от оборудования Nabtesco, – компьютерное и электронное. Степень имитации рабочих процессов более широкая, практически охватывает все традиционные режимы работы реального судового дизеля.

Оба тренажёра, рассмотренных выше, от Nabtesco и MAN B&W, достаточно недешёвы. Позволить их приобретение могут только учебные центры или судовладельческие компании с крупным бюджетом. Они рассчитаны не столько на возврат инвестиций за счёт оказания платных услуг по целевому обучению, сколько на снижение аварийности на судах компании при эксплуатации аналогичного оборудования благодаря заранее проведенному обучению механиков.

Самое прорывное решение в данной сфере принадлежит норвежской компании Kongsberg. Импульсом к широкому и эффективному применению обновленных тренажерных технологий послужили успехи в развитии электроники, внедрение передовых достижений, а также инвестиции в новые технологические и технические решения.

Компания Kongsberg, как новый собственник Norcontrol (оригинального производителя первого в мире комплексного судового дизельного тренажера DieselSim), на базе своего имеющегося и приобретенного огромного опыта, а также благодаря креативности своих инженеров смогла развернуть тренажерную подготовку на новом уровне.

Ключевое отличие от ранее предлагаемых к использованию систем заключалось в применении новых технологий и нового подхода к практически полной виртуальной имитации

судового оборудования и процессов его управления. Компания Kongsberg решила применить для изображения средств управления и контроля большие touch screen панели, что позволило на одном и том же тренажерном комплексе разворачивать совершенно разные модели судов. Если ранее тренажерный комплекс создавался как имитация реального, но одного судна, то новый тренажер копировал лишь стиль мостика судна или центрального поста управления и блоки управления ключевым оборудованием. Вместо настоящих приборов на щитах размещались большие панели, на которые с помощью обновленного программного обеспечения выводились изображения приборов и органов управления судовым оборудованием. Виртуальные приборы на контактных панелях включаются и переключаются как настоящие. Математическая модель судна, заложенная в программе, должным образом, реагирует, генерируя изменение рабочих параметров, срабатывание сигнализаций и защит в точности как на настоящем судне. Архитектура системы управления и контроля идентична судну-прототипу.

В 2008 году для морского рынка, была впервые предложена «Neptune MultiTouch system» как часть Kongsberg's Neptune Engine Room Simulator portfolio, достаточно неплохо имитирующая различные процессы в машинном отделении судна, включая запуск и остановку насосов, вентилятор, котлов, активацию различных клапанов и систем, а также запуск, остановку, полноценную работу судового главного двигателя и дизель-генераторов судовой электростанции. Подобное оборудование было закуплено несколькими морскими учебными заведениями и активно используется.



Рисунки 8 и 9 — Портативная консоль управления двигателем с мультисенсорными панелями. Типичный пример изображения экрана с панели мультитач [3]

Фактически, компания Kongsberg разработала новую конфигурацию симулятора машинного отделения, предназначенную для обеспечения реалистичного обучения и предоставления колледжам и учебным заведениям возможности расширить спектр предлагаемых курсов без инвестиций в новое оборудование, но с вложениями в достаточно дорогостоящие компьютерные модели новых судов, если таковые есть. «Neptune MultiTouch system» использует несколько сенсорных экранов, интегрированных с реальными консолями и панелями машинного отделения, что позволяет владельцу быстро и легко выбирать между различными моделями моделирования. Главное преимущество «Neptune MultiTouch system» – гибкость в выборе моделей. Используя один и тот же тренажер, можно за несколько минут всё оборудование переключить с модели танкера на модель пассажирского судна.

Также необходимо отметить наличие до недавнего времени в сегменте морских тренажеров российскую компанию – «Транзас», она же «Transas». Основанная в 1990 году в Ленинграде, компания позиционировалась как разработчик и производитель морского бортового оборудования, в первую очередь, – электронно-картографических систем и морских электронных карт. В 1990-х гг. компания, в основном, работала для иностранных заказчиков. Первый полнофункциональный навигационный тренажёр был установлен в учебном центре на Филиппинах в 1995 году. В 2007 году навигационный тренажер с круговой визуализацией установлен в Государственном морском университете имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (Новороссийск).

Особенностью данного тренажера является полный круговой экран, на который проецируется навигационная обстановка. Такая визуализация позволяет реалистично отразить окружающую среду, позволяя смоделировать и отработать операции по маневрированию судном, подходу к причалу, совместную работу с буксирами и прочее. Данный тренажер – полезный инструмент для подготовки штурманов и совершенствования их навыков. Позднее компания «Транзас» разработала и поставила для зарубежных и российских клиентов несколько тренажеров машинных отделений судов.

Финский концерн Wartsila покупает в 2018 году «Транзас», по некоторым оценкам, за 210 млн евро. На тот момент «Транзас» занимал лидирующие позиции в создании интегрированных технологических решений для безопасности и эффективности судоходства, навигации и судовых операций. Компания контролировала около 30 % доли мирового рынка электронно-картографических и навигационных систем и свыше 45 % мирового рынка морских тренажеров. В силу политических решений в 2021 году Wartsila выходит из состава владельцев «Транзас», с тех пор это снова исключительно российская компания.

В период до 2022 года «Транзас» установила на территории России в различных учебных заведениях значительное количество своих тренажеров различных модификаций (навигационные, крановые, машинные).

Наиболее современный и продвинутый комплекс тренажерных продуктов от «Транзас» в России установлен во Владивостоке, в Дальневосточном морском тренажерном центре (ДВМТЦ) Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского. Ниже приведены стимуляторы и учебные модули, представленные в ДВМТЦ.

1. Тренажерный комплекс по маневрированию и управлению судном:

- 1) четыре ходовых мостика с обзором 360° (два из них с системой динамического позиционирования), включая ходовой мост буксирного судна и судна-снабженца;
- 2) тренажер операторов СУДС;
- 3) тренажер судоводителя маломерного судна;
- 4) тренажер базовой подготовки операторов системы динамического позиционирования;
- 5) комплекс для создания районов плавания и моделей судов MODEL WIZARD;
- 6) модуль рыбопромысловой станции в составе тренажера Navi-Trainer Professional 5000.

Тренажер представляет собой полную имитацию нескольких взаимосвязанных ходовых мостиков судна, укомплектованных реальными органами управления, позволяющими использовать различные современные системы маневрирования (ДП – система динамического позиционирования, аzipодные движители, подруливающие устройства, ВРШ и т.д.). На тренажере отрабатываются практические навыки по управлению различными типами судов (в т.ч. маломерными) в различных условиях: в ледовой обстановке, при проведении швартовных операций, при плавании на мелководье и в узкостях.

Использование нескольких взаимосвязанных ходовых мостиков и соединенного с ними тренажера подготовки операторов системы управления движением судов позволяет отрабатывать задачи, связанные с расхождением судов, маневрированием, в конкретных акваториях портов и районах земного шара.

2. Тренажерный комплекс по маневрированию и управлением судном:

- 1) тренажерный комплекс ГМССБ;
- 2) три компьютерных тренажерных класса на 24 рабочих места;
- 3) два комплекта реального судового оборудования ГМССБ, представляющих собой набор судового оборудования для связи и навигации, они имитируют работу как судовых, так и береговых станций.

Комплекс предназначен для подготовки судоводителей и радиоспециалистов по использованию аппаратуры радиосвязи, обучения процедурам связи и особенностям обмена информацией. Тренажер с высокой степенью достоверности имитирует связь между судами и связь

судна с береговыми станциями в традиционной и спутниковой системах связи, для чего используется высоко реалистичная симуляция модели эфира и протоколов работы наземных и спутниковых коммуникационных систем. Тренажер предоставляет возможность проигрывания сценариев по поиску и спасению (SAR) с использованием радара на каждом рабочем месте.

3. Тренажерный комплекс РЛС/САРП/ЭКНИС:

- 1) 24 ходовых мостика ограниченной функциональности;
- 2) тренажер на шесть рабочих мест с реальным оборудованием ЭКНИС следующих производителей: JRC, Furuno, Транзас, Sperry Marine.

Тренажер предназначен для профессиональной подготовки лоцманов и судоводителей, несущих ходовую вахту. На тренажере моделируются реальные условия плавания, включая влияние мелководья, течения, ветра, волнения и метеоусловий. Все это позволяет выполнять упражнения в обстановке, соответствующей реальным условиям. Тренажер дает возможность морякам изучить все нюансы работы с электронными картами, включая создание и проработку маршрутов, ведение полноценной навигационной прокладки без бумажных навигационных карт, осуществление корректуры электронных карт, а также принципы отображения различной информации. В составе тренажера содержится коллекция электронных карт, покрывающая различные части Мирового океана.

4. Тренажер грузовых и технологических операций на танкерах. Полномасштабный тренажер грузобалластных операций, включая следующие модели танкеров:

- LCC,
- Chemical Tanker,
- Product Tanker,
- LPG – Liquid Petroleum Gas (LPG) Tanker,
- LNG – Liquid Natural Gas (LNG) Tanker.

Тренажер является эффективным средством подготовки квалифицированного персонала нефтеналивных судов различного типа. Предназначен для изучения устройства грузовых систем танкеров, обучения управлению технологическими операциями и получения навыков по принятию грамотных решений в эксплуатационных условиях и аварийных ситуациях. Помимо компьютерной модели тренажер включает имитацию пульта управления грузовыми операциями (ПУГО) при помощи которого операторы поста управления отрабатывают навыки управления системами танкеров.

5. Комплекс тренажеров судовых энергетических установок:

- 1) полномасштабный тренажер СЭУ (ЦПУ и локальные посты);
- 2) тренажер высоковольтного оборудования;
- 3) компьютерный класс СЭУ на 12 рабочих мест;
- 4) компьютерный класс тренажера рефрижераторных систем на 12 рабочих мест.

Тренажер воссоздаёт высококачественную имитацию различных моделей судовых малооборотных, среднеоборотных (в том числе двухтопливных), паротурбинных судовых двигателей реальных судов. В дополнение тренажер обеспечивает имитацию различных вспомогательных систем и компонентов машинного отделения. Тренажер машинного отделения необходим для подготовки машинной команды в части изучения систем энергетических установок, отработки навыков несения вахты в ЦПУ и машинном отделении, углубленного анализа работы механизмов и пропульсивной установки судна, поиска неисправностей, настройки средств автоматики, отработки рабочих и аварийных ситуаций, отработки режимов оптимальной и экономичной эксплуатации судового оборудования.

6. Полнофункциональный тренажер крановых операций

Предназначен для обучения управлению наиболее распространенными типами современных судовых, портовых кранов, в том числе и палубных кранов, размещаемых на морских буровых платформах. Особенностью модели палубного крана является возможность отработки навыков управления с учетом имитации качки судна. Тренажер является универсальным инструментом подготовки операторов для выработки рефлексной моторики при управлении выбранной моделью крана как в штатных, так и в критических ситуациях [4].

Отдельно необходимо отметить высоковольтный тренажер, крановый тренажер и комплекс по ГМССБ. На всех этих точках совершенно реалистично совмещены две реальности – виртуальная и настоящая. Например, на крановом тренажере обучаемый работает в настоящей кабине грузового крана с реальными органами управления, а на экранах вокруг имитируется окружающая обстановка – порт, судно в море или буровая установка. На высоковольтном тренажере установлены две секции с генераторными автоматами, как на настоящем судне, их дополняют панели для имитации работы судовой электростанции. Подобный подход наиболее эффективен при обучении, поскольку наглядно совмещает теорию и практику обучения.



Рисунок 10 — High Voltage Simulator (Транзас) [4]



Рисунок 11 — Комплекс ГМССБ (Транзас) [4]

Если рассматривать электронные модели машинных отделений судов, созданных фирмами Kongsberg и «Transas» в период до 2015 года, кардинальные отличия заметить сложно.

Но позднее продукция «Transas» явно начинает выигрывать. Компания Kongsberg, как один из ведущих в мире разработчиков судовой автоматики, продолжает работать больше с виртуальными изображениями судового оборудования, систем и помещений. Разработчики от «Транзас» приняли более современное решение и стали использовать не виртуально нарисованные механизмы, а скопированное с реальных судов оборудование, впоследствии смоделированное в электронной среде и интегрированное в виртуальную модель судна. В результате получились более реалистичные модели судов. Развёртывание новых моделей на мощных комплексах тренажёров типа Full Mission практически стёрло грань между настоящим и виртуальным миром машинных отделений судов.

Кроме того, в некоторые модели от «Транзас» интегрирована возможность управления судовым оборудованием прямо из виртуальных моделей, что гораздо эффективнее при обучении персонала реальным действиям в машинных отделениях.

Практический опыт по обучению курсантов средних и высших учебных заведений, а также действующих судовых механиков на вышеперечисленном современном оборудовании показывает высокую эффективность образовательного процесса и, самое главное, заметное повышение интереса у обучаемых к получению новых знаний и навыков. С другой стороны, преподавателю приходится акцентировать внимание обучающихся на текущей ситуации на флоте, где ещё не всё настолько автоматизировано и сохраняется необходимость управлять оборудованием вручную с разных постов.

Несмотря на то, что комплексные тренажеры машинного отделения где-то частично, а где-то полностью поглотили, интегрировали в себя упомянутые выше компьютерные «мини-тренажеры», мы считаем нецелесообразным забывать о пользе подобных мини-симуляторов. К сожалению, на судно пока невозможно взять тренажер от «Транзас», в том числе и по финансовым причинам, в то время как мини-модули для конкретного оборудования или систем можно сохранить на флешке или жестком диске. В случае необходимости возможности мини-тренажера помогут быстрее и эффективнее найти решение проблем с оборудованием в море, особенно в условиях отсутствия связи с берегом. Судовые механики освоили подобную практику, а компании-разработчики получают бесплатную рекламу, их оборудование работает дольше и лучше, поскольку экипажам легче и проще с ним работать.

Тренажёрное «завтра» – перспективы развития тренажёрных технологий обучения моряков

Компьютерные технологии продолжают активно развиваться. Флот по-прежнему достаточно консервативен, но уже не так, как прежде. Многие компании модернизируют свои суда под специфические задачи, либо достаточно серьёзно рассматривают и просчитывают подобные проекты.

Обучающий потенциал современных тренажерных комплексов объективно полезен и нужен. Доступность подобных технологий должна начать не только помогать учить персонал, но и помогать работать морякам на судах, а фрахтовым и техническим менеджерам – на берегу.

В последнее время активно обсуждают возможности эксплуатации беспилотных судов, но не обсуждают вопрос эксплуатации флота «без механиков», а это отдельная проблема, без решения которой создать флот, работающий без человека на борту, невозможно. Если при разработке беспилотного судна будет создана его полноценная математическо-виртуальная модель, то, доработав тренажерные наработки нюансами практической эксплуатации конкретного судна, можно запустить сначала в виртуальную эксплуатацию модель, опробовав на ней максимально возможное количество проблем и погодных ситуаций, после чего начать эксплуатировать реальное судно, не останавливая эксплуатацию «модели», ведя её с опережением, чтобы предугадывать технические проблемы.

Возможно, что наличие подобной виртуальной модели будет полезно и при эксплуатации обычных судов. Согласно сложившейся практике, суда моделируются, как правило, тремя блоками – навигационная, грузовая и машинная части. Нам кажется целесообразной возможность работать с судном-моделью в целом и с его отдельными блоками. Например, судоходная

компания планирует открывать новую линию с заходом в порт, где никто ещё из их моряков не бывал. Если есть навигационная модель судна с возможностью имитации на берегу полноценного судового мостика, то на симуляторе можно проработать различные варианты швартовки судна в новом порту. Для этого не обязательно закупать весь комплекс оборудования, как на тренажерном комплексе, будет достаточно заключить договор с ближайшим тренажерным центром и периодически, или по мере потребности, загружать свою модель, оплачивая только время работы тренажерного оборудования.

Другой пример – подготовка судна к приёмке груза, особенно если это нестандартный или крупногабаритный груз, который надо грузить судовыми кранами. В таком случае необходимо предварительное моделирование. Сейчас применяются различные программы, работающие в 2D (см. рисунок 12). Но моделирование в 3D более информативно, но в таком случае выше требования к компьютерам и качеству подготовки специалистов. В то же время судовладельцы понимают зависимость безопасности перевозки груза от того, насколько последний грамотно размещен на судне.

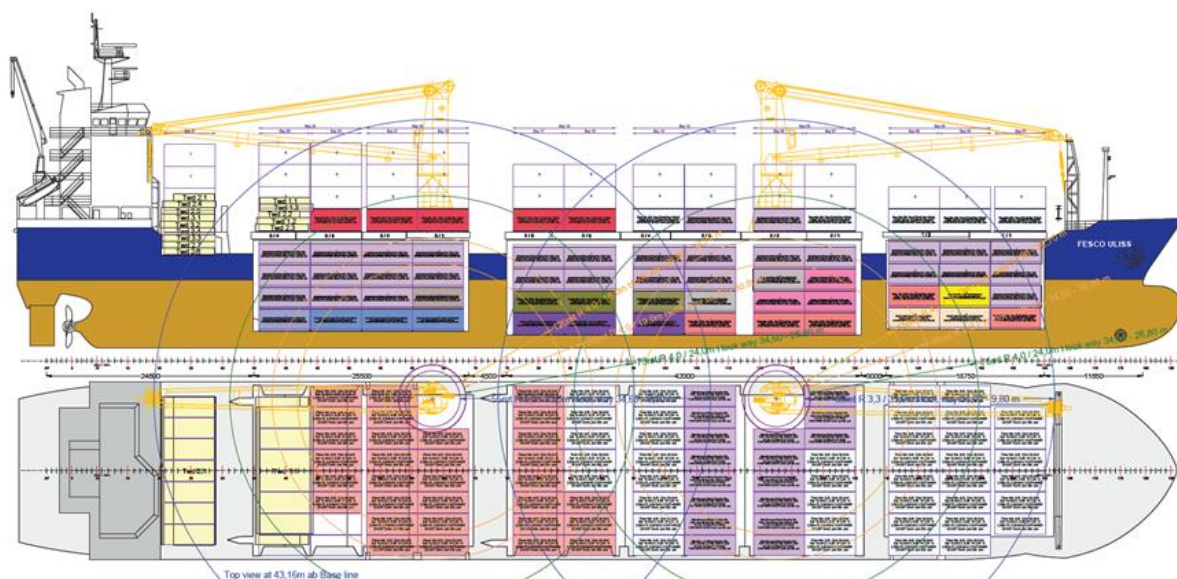


Рисунок 12 — Грузовой план судна в 2D

Кроме того, наличие кастомизированной (т.е. в точности повторяющей судно) модели бесполезно для технических менеджеров, например, при организации доковых ремонтов, модернизации судна. Кроме того, если модель будет доукомплектована судовыми виртуальными и обычными чертежами, инструкциями по эксплуатации оборудования с интегрированной системой планового технического менеджмента, то подобный инструмент будет незаметным и в повседневной жизни судна. Если предусмотреть частичное или полное размещение модельного модуля на конкретном судне, то экипаж получит возможность проигрывать различные задачи (например, бункеровку или сложные грузовые размещения) до проведения реальной операции, благодаря чему можно получить безопасный план предстоящей грузовой или бункеровочной операции. Подобная идея уже обсуждалась с представителями различных судоходных компаний. Одна из них, обладающая реальными возможностями осуществить подобный проект, проявила интерес к его реализации.

Ещё одно перспективное направление – виртуализация сложного судового оборудования, вплоть до его компонентов, доработка тренажерных моделей возможностями реалистичной, но виртуальной разборкой насосов, генераторов, дизелей и т.п. Цель – дать экипажу инструкцию по ремонту судна и ключевого судового оборудования. Возможно, реализация данной идеи будет осуществлена с помощью VR-очков и перчаток или чего-то подобного. Сейчас

на судах чаще всего используют бумажные инструкции по техническому обслуживанию и ремонту. Электронные инструкции представляют собой либо сканированную копию бумажной инструкции, либо файл, с которого эту инструкцию напечатали. Некоторые компании дополнили их видеоматериалами, что делает инструкции понятнее, но подобная практика встречается довольно редко. Новые технологии позволят дополнить и частично заменить существующие документы, объединив текстовую и визуальную информацию в один программный продукт, позволяющий сначала разобрать виртуальный двигатель или насос, а только затем приступить к ремонту реального оборудования. Это позволит избежать дорогостоящих технических и технологических ошибок.

Также необходимо упомянуть еще один аспект, который может заметно облегчить воплощение вышеперечисленных идей. Это унификация или создание некоей общей электронной платформы для моделирования как компонентов судна, так и всего судна целиком, чтобы модель любого судна можно было сложить как детский конструктор Lego. Но вместо пластиковых деталей – максимально реалистичные модули механизмов, клапанов, трубопроводов, блоков автоматики и т.п., возможность использовать подобные блоки должна быть для любого проекта.

В данном направлении уже сделаны первые шаги. В 2019 году был инициирован двухлетний проект следующими серьезными игроками:

- 1) DNV – Det Norske Veritas, классификационное общество, головной офис расположен в городе Høvik, Norway.
- 2) SINTEF Ocean – Norwegian: Stiftelsen for industriell og teknisk forskning, The Foundation for Industrial and Technical Research, находится в городе Trondheim, Norway.
- 3) Rolls-Royce Marine – морское подразделение Rolls-Royce, Великобритания.
- 4) NTNU – Норвежский университет науки и технологий.

В действительности, все вышеперечисленные компании – норвежские (в июле 2018 г. Rolls-Royce продал свой морской бизнес компании Kongsberg).

Заинтересованность проявили следующие отраслевые партнеры: China Offshore (Deepsea) Industry Alliance (CODIA), Damen Shipyards, Харбинский инженерный университет, Navyard Group, Hyundai Heavy Industries, Inmarsat, Kongsberg Digital, Корейский научно-исследовательский институт кораблестроения и океанотехники (KRISO), Liebherr Components, Лундин, Норвегия, МакГрегор, Технологический институт Монохакоби, Thyssenkrupp. Эти компании охватывают широкий круг заинтересованных участников, каждый из которых имеет свои собственные бизнес-потребности и мотивацию для поддержки этой инициативы [5]. Необходимо отметить, что в этом списке пока нет лидеров по производству судовых дизелей – MAN Energy Solution и WinGD.

В 2023 году был запущен интернет-ресурс «The Open Simulation Platform» (OSP). «Открытая платформа моделирования» – это отраслевая инициатива с открытым исходным кодом для совместного моделирования морского оборудования, систем и целых судов. Причина своего появления заявлена как: «...постоянно растущая сложность из-за увеличения использования программного обеспечения в судовых системах, интеграции оборудования и систем от многих поставщиков и разрыв в традициях системного проектирования, как следствие: становится все труднее проектировать, строить, эксплуатировать и обеспечивать суда и другие морские/оффшорные активы, а также сбалансировать затраты с воздействием на окружающую среду и обеспечение безопасности. OSP намеревается изменить эту ситуацию, предоставив морской отрасли ключевые инструменты и рабочие процессы для проектирования технических систем, обеспечивая эффективное и действенное создание и обслуживание цифровых двойников для системной интеграции, тестирования и проверки». [6]

Инициаторы создания «Открытой платформы...» – представители Норвегии, производители одних из самых дорогостоящих решений в мире, поэтому есть основания полагать, что новый бизнес-проект будет условно бесплатным только на первоначальном этапе. Принимая во внимание, что центр мирового судостроения расположен в Азии – в Китае, Южной Корее и Японии, – можно было бы ожидать появление подобной инициативы не в Скандинавии, а в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Учитывая текущую ситуацию, сложившуюся в мире,

российские судовладельцы и разработчики наверняка не смогут полноценно использовать норвежские возможности. Следовательно, потребуется поиск собственных решений на основе существующих разработок российских компаний.

Отдельно хотелось бы остановиться на стоимости качественного тренажёрного оборудования, она всегда была высокой, поскольку тренажёрные комплекты представляют собой сложные инженерные решения, практически ручной сборки и с очень узким кругом заказчиков. Несмотря на высокие затраты на установку, эксплуатацию и обновление тренажёров, у преподавательского состава морских вузов, а также у работников судоходных компаний нет сомнений в полезности подобного оборудования. Рассчитать его финансовую рентабельность невозможно, поскольку неизвестно, как оценивать качество будущей работы механика если бы он обучался без применения тренажеров. Но тот факт, что подготовленный специалист работает лучше и приносит больше прибыли компании, не вызывает сомнений.

Список литературы:

1. Пастухов С.В. Обзор эволюции обучающего оборудования как устройств, моделирующих работу сложных инженерных систем // Вестник Морского государственного университета. 2023. Вып. 90. С. 23-34.
2. Classroom in a box: Portable ME Simulator. Diesel Facts magazine, № 2, 2006, MAN Diesel & Turbo Publisher. P. 12.
3. Новый симулятор машинного отделения Neptune Multitouch Kongsberg Neptune Engine Room Simulator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2008/new-neptune-multitouch-engine-room-simulator/>
4. Блок тренажеров, разработанных на базе информационных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.msun.ru/ru/edu_dvmtc_new/train
5. DNV Research Review [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dnv.com/research/review2018/featured-projects/open-simulation-platform.html>
6. The Open Simulation Platform. 2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://opensimulationplatform.com/>
7. Соболенко А.Н., Глазюк Д.К. Повышение эффективности и безаварийности работы СЭУ посредством тренажёрной подготовки её операторов // Рыбное хозяйство. 2014. № 1. С. 12-14.

Поступила в редакцию 27.09.2023 г.

Эффективность подруливающих устройств при различных скоростях движения судна

Рак Александр Николаевич, к.т.н., доцент, lion15ua@rambler.ru

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский

Знание о возможностях и технических характеристиках морских судов позволяет осуществлять их правильную техническую эксплуатацию и избегать аварийных ситуаций и происшествий. Проанализированы отечественные и зарубежные литературные источники, которые позволяют оценить эффективность подруливающих устройств при различных скоростях движения судна. Предложена упрощенная методика, позволяющая оценить эффективность таких устройств.

Ключевые слова: подруливающее устройство, упор, эффективность, скорость, судно.

Efficiency of thrusters at different speeds of the vessel

Rak Alexandr N., PhD, Associated Professor, lion15ua@rambler.ru

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky

Knowledge of the capabilities and technical characteristics of marine vessels allows them to carry out their proper technical operation and avoid accidents and incidents. Domestic and foreign literature sources are analyzed, which allow us to evaluate the effectiveness of thrusters at different speeds of the vessel. A simplified technique is proposed to evaluate the effectiveness of such devices.

Keywords: bow thrusters, trust, efficiency, speed, ship.

Известно, что соответствие действительных маневренных характеристик судна проектным подтверждается в ходе ходовых испытаний. Технические возможности, например, главного двигателя (ГД), который является неотъемлемой частью пропульсивного комплекса (ПК), проверяются только *один раз* на мерной миле. После чего все результаты заносятся во всевозможные формуляры, таблички и т.д. В дальнейшем при эксплуатации ПК, которые самым непосредственным образом влияют на эти характеристики, в судоходных компаниях, в частности, отечественных, было принято руководствоваться нормативным документом [1]. С течением времени все характеристики судна изменяются по целому ряду естественных причин, например, обрастание корпуса судна, изменение характеристик ГД после ремонта, состояние гребного винта и т.д. Кроме того, будут оказывать влияние и метеорологические условия: направление и скорость ветра, волнение моря и др. Все это следует также учитывать во избежание аварийных ситуаций и происшествий.

На современных судах средствами активного управления, входящими в состав ПК, также являются подруливающие устройства (ПУ), которые бывают носовыми и кормовыми. Назначение ПУ – обеспечение управляемости судна, которое не имеет хода или движется с предельно малой скоростью. Об их возможностях и особенностях эксплуатации см. [2, 3].

Цель данной работы – разработка упрощенной методики, которая позволит оценить возможности ПУ при эксплуатации судна.

Теперь перейдем непосредственно к эффективности. Дословный перевод термина «efficiency» означает КПД, который в соответствии с [4] можно определить как:

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_m \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5}{1000 \cdot P}, \quad (1)$$

где ρ – плотность морской воды, кг/м³;

k_m – коэффициент момента, который принимается в соответствии с паспортными данными винта;

n – частота вращения винта, с⁻¹;

D – диаметр винта, м;

P – мощность приводного электродвигателя, кВт.

Как следует из выражения (1), приведенного выше, никакие скорости в нем не фигурируют. Даже если перейти от вращательного движения к поступательному, то это позволит получить только скорость перемещения судна в поперечном направлении.

Дальнейший анализ источников (например, [5]) показывает, что эффективность следует рассматривать как время поворота на 90°:

$$t_{90} = \sqrt{\frac{0,308 \cdot C_{MW} \cdot \rho_W \cdot S_{\Pi} \cdot L_{\Pi\Pi}^2}{k \cdot T_s - 0,5 \cdot C_{MA} \cdot \rho_A \cdot S_H \cdot v^2}} \text{ с}, \quad (2)$$

где C_{MA} – коэффициент сопротивления воздуха, $C_{MA} = 0,8$;

ρ_A – плотность воздуха, $\rho_A = 1,23$ кг/м³;

C_{MW} – коэффициент сопротивления воды, его можно определить из выражения (2);

ρ_W – плотность воды, $\rho_W = 1025$ кг/м³;

$L_{\Pi\Pi}$ – длина между перпендикулярами, м;

T_s – упор, создаваемый винтом, Н/м²;

S_{Π} – площадь подводной части судна, м²;

S_H – площадь надводной части судна, м²;

k – расстояние от точки вращения до оси ПУ;

v – скорость судна, м/с.

Рассмотрим случай определения времени поворота в зависимости от скорости движения судна. Расчетная схема для рассматриваемого случая представлена в [5] и на рис. 1.

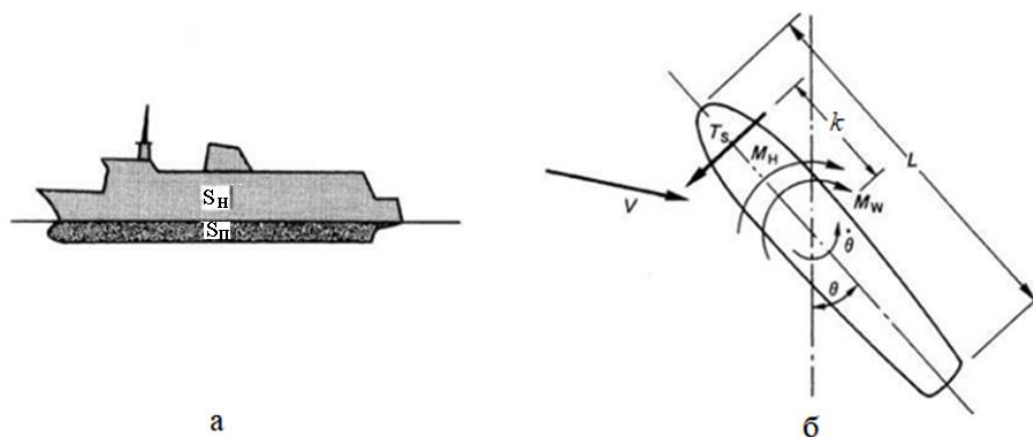


Рисунок 1 — Расчетная схема:

а – соотношение площадей надводной и подводной части;

б – моменты, действующие на судно

В качестве примера возьмем контейнеровоз, который имеет следующие характеристики:

- дедвейт – 116100 т;
- длина судна - 362 м;
- длина между перпендикулярами – 351 м;
- расстояние от точки вращения до оси ПУ – 165 м;
- осадка судна – 15 м;
- высота до верхней палубы – 5 м.

Значение коэффициента сопротивления воды определяем из соотношения (3), приведенного в [5].

$$\frac{h}{T} = 4,96 + 52,68 \cdot (1 - C_{MW}) \quad (3)$$

где h – высота до верхней палубы, м;

T – осадка, м.

Длина между перпендикулярами определяется в соответствии с [6]:

$$L_{ПП} = 0,97 \cdot L_{ВЛ} \quad (4)$$

где $L_{ВЛ}$ – длина по ватерлинии, м.

Далее воспользуемся техническими характеристиками ПУ, установленного на судне и приводного электродвигателя (ПЭД), представленными в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

Таблица 1 — Технические характеристики подруливающего устройства

Производитель	Тип	Диаметр винта, мм	Мощность приводного двигателя, кВт	Частота вращения двигателя, об/мин.	Частота вращения винта, об/мин
Rolls-Royce/ Kamewa	TT2650 AUX CP*	2650	2200	892	204

Таблица 2 — Технические характеристики приводного электродвигателя

Тип двигателя	Uн, В	Iн, А	Iп, А	cos φ	η, %	λп	λmax
ABB AMB 560 L8A VAMH	6600	241	1277,3	0,89	0,92	1,8	2,0

По известным паспортным данным ПЭД и ПУ можно определить упор, создаваемый гребным винтом, в соответствии с выражением, приведенным в [7]:

$$T_s = 205,72 \cdot D^2 \cdot C \cdot \left(\frac{1,36 \cdot P}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

где D – диаметр гребного винта, м;

P – мощность ПЭД в Вт;

C – коэффициент, учитывающий наличие насадки: $C = 1,8$ – для винта с насадкой;

$C = 2,9$ – без него.

Зная значение упора, можно определить поверхности судна, находящиеся над и под водой в соответствии с табл. 3.

Таблица 3 — Отношение упора к площади поверхности

Тип судна	T_s/S_{Π} , кПа/м ²	T_s/S_H , кПа/м ²
Ро/Ро и паромы	10-14	4-7
Грузовые суда, буксиры	6-10	4-8
Танкеры и балкеры	4-7	14-16
Специальные суда (драги, лоцманские суда и др.).	10-12	5-8

Таким образом, нами получена вся необходимая информация, и мы можем определить время поворота. На рис. 2 представлены зависимости времени поворота от мощности ПЭД и скорости движения для различных типов морских судов.

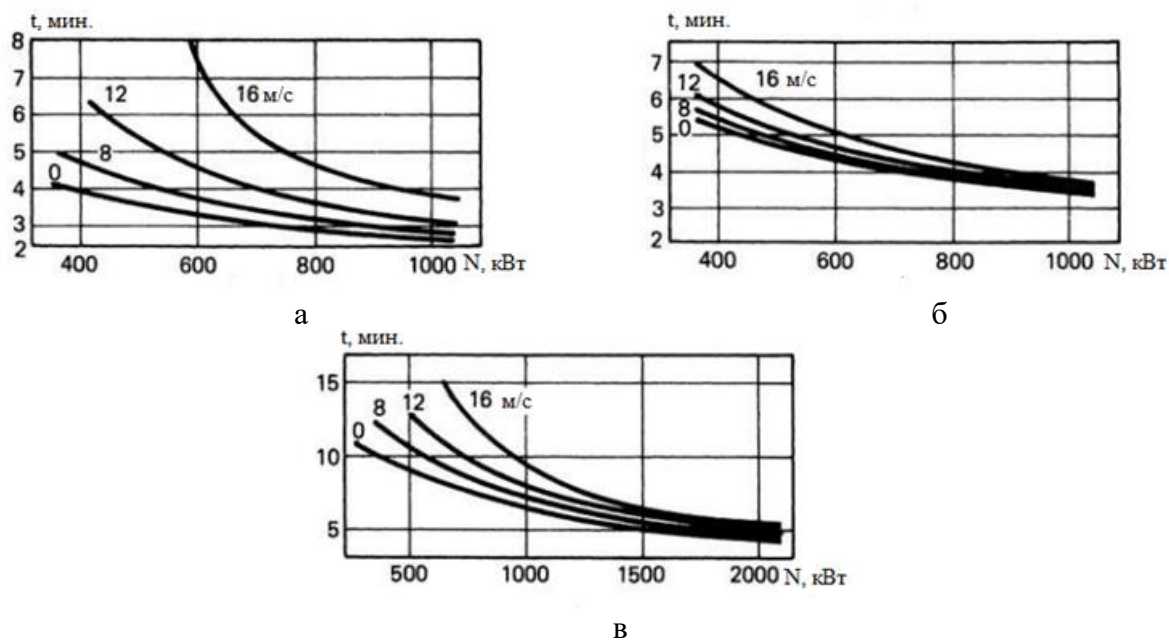


Рисунок 2 — Соотношение между временем поворота и мощностью двигателя подруливающего устройства:
а – Ро/Ро и паромы; б – грузовые суда; в – танкеры и балкеры

В [5] также представлены исследования, которые позволяют определить скорость поворота в зависимости от водоизмещения судна, которое определяется по формуле:

$$B = D \cdot k_d, \quad (6)$$

где D – дедвейт, т;

k_d – коэффициент дедвейта; значение коэффициента дедвейта представлено в табл. 4.

Таблица 4 — Соотношение между дедвейтом и чистым весом, водоизмещением и чистым весом

Тип судна	Дедвейт/чистый вес, кд	Водоизмещение/дедвейт, кд
Танкеры и балкеры	6	1,17
Контейнеровозы	2,5 – 3	1,33 – 1,4

На рис. 3 представлена зависимость скорости поворота судна в зависимости от водоизмещения. В соответствии с исходными данными, расчетные соотношения, приведенные выше, позволяют только оценить время осуществления маневра или продолжительность эксплуатации ПУ для швартовного режима, которое Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) ограничивается периодом в 30 минут [8].

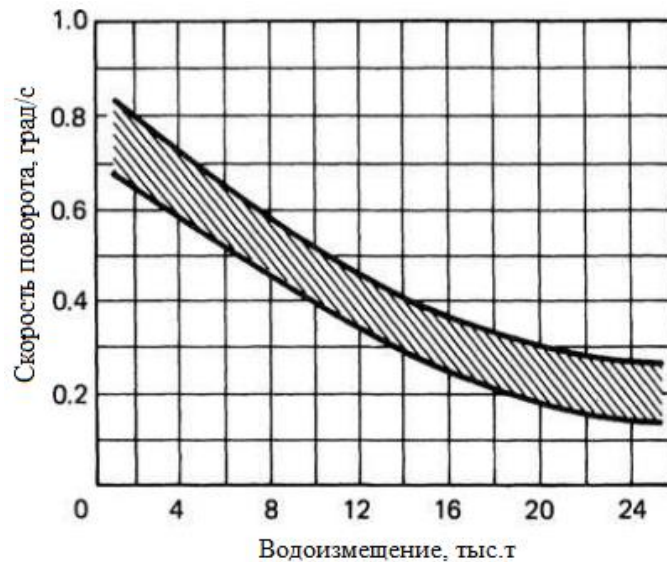


Рисунок 3 — Изменение скорости поворота в зависимости от водоизмещения

Теперь перейдем непосредственно к определению эффективности ПУ. Для ее определения воспользуемся известными соотношениями, применяемыми для определения гидродинамических характеристик ПУ в швартовном режиме, представленными в [4].

Эффективная тяга винта составит:

$$P_e = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho \cdot J_s^2 \cdot n^2 \cdot D^4, \quad (7)$$

где a — коэффициент влияния неравномерности потока на выходе из канала ПУ и сужения струи ПУ на тягу и упор гребного винта ПУ, $a=1,1$ [4];

n — частота вращения винта, об/с;

J_s — относительная поступь винта, о.е.;

D — диаметр винта, м.

Относительная поступь:

$$J_s = \frac{v_s}{n \cdot D}, \quad (8)$$

где v_s — скорость движения воды в канале ПУ, м/с.; в соответствии с [9] в качестве максимального значения рекомендуется принимать $v_s = 5$ м/с; пересчет скорости из узлов м/с осуществляется умножением на переводной коэффициент 0,56.

Сила засасывания на корпусе:

$$S = C_s \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (9)$$

где v — скорость движения судна, м/с;

C_s — безразмерный коэффициент силы засасывания на корпусе судна от действия ПУ на ходу, определяется по рис. 4, представленному в [4].

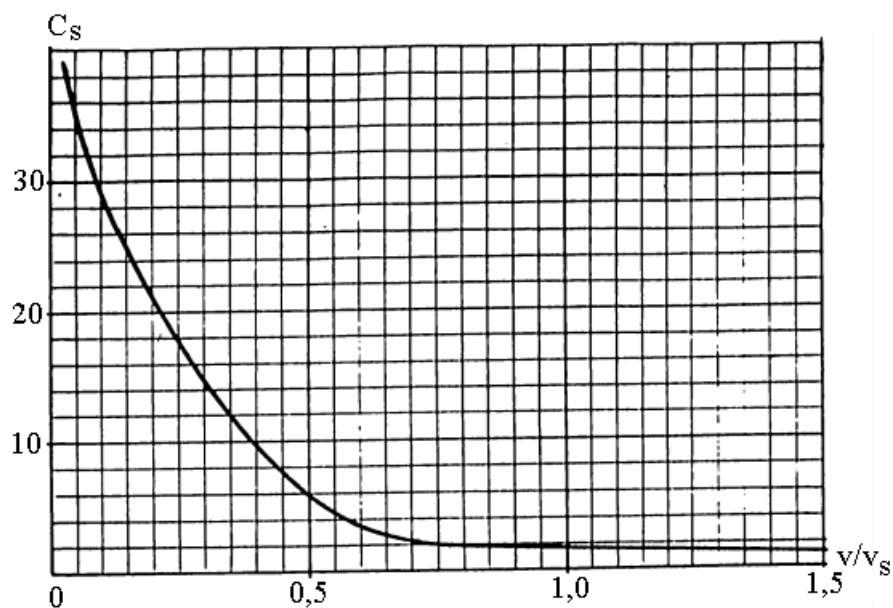


Рисунок 4 — Безразмерный коэффициент силы засасывания на корпусе судна от действия подруливающего устройства на ходу

Эффективная тяга винта ПУ при движении судна, Н:

$$P_{ev} = P_e - S. \quad (10)$$

Тогда относительное изменение тяги определим из выражения:

$$e = \frac{P_{ev}}{P_e} \cdot 100, \%. \quad (11)$$

Результаты расчетов, по соотношениям (7) – (11) приведены в табл. 5.

Таблица 5 — Эффективность подруливающего устройства

Эффективность, %	Скорость движения передним ходом	
	узлы	м/с
100	0	0
95,098	0,5	0,28
84,317	1	0,56
69,75	1,5	0,84
55,183	2	1,12
43,98	2,5	1,4
39,5	3	1,68

Выводы

1. Из проведенных исследований следует, что эффективность – показатель комплексный, который зависит не только от технических факторов, но и от метеорологических условий.

2. Время, полученное для швартовного режима, позволяет оценить продолжительность работы ПУ. Так, время, полученное по соотношению (2), составляет 3 минуты, а в соответствии с (6) и рис. 3 – 10 минут. Эти величины не превышают значения, указанного в ПТЭ для ПУ.

3. Полученные значения для эффективности показывают, насколько снижается эффективный упор. С увеличением скорости движения судна упор уменьшается. Так, на скорости

1,5 узла, потери эффективного упора составили 30 %, а на скорости 3 узла – 70 %. Для сравнения, в зарубежной литературе встречается информация, что на скорости 3 узла ПУ теряют всего лишь 25 % упора. Время и эффективность, полученные в результате расчетов, позволяют их считать как своеобразное «необходимое» и «достаточное» условие для соблюдения ПТЭ.

4. Эффективность следует учитывать при различных режимах эксплуатации всего ПК.

Список литературы:

1. Техничко-экономические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90.
2. Мартиросов Г.Г., Харченко Д.С. О применении подруливающих устройств на судах // Судостроение. 2012. № 4. С. 52-54.
3. Wärtsilä – Encyclopedia of ship technology / Jan Babicz. 2nd edition. Helsinki: Wärtsilä corporation, 2015. 662 p.
4. ОСТ 5.2187-76. Устройства подруливающие с гребными винтами фиксированного и регулируемого шага. Методика гидродинамического расчета. Издание официальное. Москва. 43 с.
5. Marine Propellers and Propulsion. Second Edition. J S Carlton Global Head of Marine Technology and Investigation, Lloyd's Register. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA, 2007. 533 p.
6. ГОСТ 1062-80. Государственный стандарт Союза ССР. Размещения надводных кораблей и судов главные. Термины, определения и буквенные обозначения. Официальное издание М.: Издательство стандартов, 1980. 18 с.
7. Rory van Doorn. Bow Thruster Currents at Open Quay. Constructions on Piles. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, March 2012 172p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:06d4d38d-6d49-407b-856e-ace81a7b41a3/datastream/OBJ/download (дата обращения: 30.03.2020).
8. КНД 31.2.002.07-96. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. Нормативный документ морского транспорта Украины.
9. Шевцов С.П. Исследование гидродинамических характеристик подруливающих устройств типа «винт в трубе». Уточнение методики проектирования этих устройств, включая установки большой мощности: Дис. канд. техн. наук. СПб., 2014. 139 с.

Поступила в редакцию 31.10.2023 г.

Возможности применения антенн на основе метаматериалов

Орошук Игорь Михайлович, д-р техн. наук, профессор, oroshuk@yandex.ru
Кудрявцева Екатерина Викторовна, ekaterina.zyryanova.92@list.ru
Кадочников Максим Михайлович, maks-navy@yandex.ru
Горелов Игорь Дмитриевич, guguev.igor@mail.ru

Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова, Владивосток

Применение антенн из метаматериалов – это новое и чрезвычайно перспективное направление развития радиотехники, прежде всего, актуальное для малогабаритных объектов, в качестве которых могут быть упаковки, контейнеры, требующие логистического контроля при перевозках на маршрутах их следования, а также для дистанционного управления и мониторинга малых беспилотных летательных аппаратов, катеров и других автономных подвижных объектов. Технология микрополосковых антенн, которая была столь многообещающей около двух десятилетий назад, ныне достигла своих пределов относительно сокращения габаритов сверхвысокочастотных устройств. Поэтому поиск нетрадиционных подходов к созданию микроволновой техники в последнее время существенно активизировался, о чем свидетельствуют публикации по технологиям электрически малых антенн. Одно из новых направлений в развитии теории электрически малых антенн связано с достижениями в области создания метаматериалов, анализу возможностей которых и посвящена данная статья.

Ключевые слова: метаматериалы, негативные материалы, малогабаритная антенна.

The possibilities of using antennas based on metamaterials

Oroschuk Igor M., oroshuk@yandex.ru
Kudryavtseva Ekaterina V., ekaterina.zyryanova.92@list.ru
Kadochnikov Maxim M., maks-navy@yandex.ru
Gorelov Igor D., guguev.igor@mail.ru

Pacific Higher Naval College named after S.O. Makarov, Vladivostok

The use of antennas made of metamaterials is a new and extremely promising direction in the development of radio engineering, primarily relevant for small-sized objects, which may include packages, containers requiring logistical control during transportation on their routes, as well as for remote control and monitoring of small unmanned aerial vehicles and boats and others autonomous mobile objects. The use of metamaterials is a new and extremely promising direction in the development of radio engineering, primarily affecting the field of antenna systems. Microstrip antenna technology, which was so promising about two decades ago, has now reached its limits in terms of reducing the size of ultrahigh frequency devices. Therefore, the search for non-traditional approaches to the creation of microwave technology has recently become significantly more active, as evidenced by publications on the technologies of electrically small antennas. One of the new directions in the development of the theory of electrically small antennas is associated with advances in the field of metamaterials, the analysis of the capabilities of which is devoted to this article.

Keywords: metamaterials, negative materials, small antenna.

Метаматериалы – композиционный материал, освоение которого началось на рубеже XX и XXI веков. Искусственная периодическая структура в составе метаматериала модифицирует его диэлектрическую и магнитную проницаемости, что позволяет управлять законами дисперсии, преломления и отражения электромагнитных волн в метаматериале. Метаматериалы создаются на основе узоров или структур микронного/нанометрового масштаба, которые позволяют им взаимодействовать со светом или другими формами энергии способами, не существующими в природе. Метаматериалы часто ассоциируются с нанотехнологиями, поскольку унитарная структура, повторяющаяся в оптических приложениях, измеряется в нанометрах. Создание метаматериалов возможно только с помощью нанотехнологий. В будущем, по мере развития нанотехнологий в ближайшие десятилетия, будет открыто все больше новых метаматериалов и снижена стоимость их производства.

Теоретические и экспериментальные исследования и технические приложения метаматериалов охватывают широкий диапазон частот от радиоволн до диапазона видимого света. За последние годы в ряде лабораторий достигнуты большие успехи в исследовании и применении метаматериалов в сверхвысокочастотном диапазоне (1–100 ГГц).

Первые работы в этом направлении относятся еще к XIX веку. В 1898 году Джагадис Чандра Бозе провел первый микроволновый эксперимент по исследованию поляризационных свойств созданных им структур искривленной конфигурации. В 1914 году Линдман воздействовал на искусственные среды, представлявшие собой множество беспорядочно ориентированных маленьких проводов, скрученных в спираль и вложенных в фиксировавшую их среду.

В 1946–1948 годах Уинстон Кок впервые создал микроволновые линзы, используя проводящие сферы, диски и периодически расположенные металлические полоски, фактически образовавшие искусственную среду со специфичным по величине эффективным индексом преломления. С тех пор сложные искусственные материалы стали предметом изучения для многих исследователей во всем мире. В последние годы новые понятия и концепции в синтезе метаматериалов способствовали созданию структур, имитирующих электромагнитные свойства известных веществ или обладающих качественно новыми функциями.

Все многообразие естественных и искусственных сред можно классифицировать в зависимости от эффективных значений их диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемостей.

У почти всех встречающихся в природе веществ диэлектрическая и магнитная проницаемости больше нуля. Существенно, что у подавляющего большинства сред в наиболее востребованных для практического использования диапазонах частот эти параметры, как правило, вообще больше или равны единице. В зарубежной литературе данные материалы обычно называют DPS (*double positive*, дважды позитивные), подчеркивая тем самым положительность значений как ϵ , так и μ . DPS-среды считаются прозрачными для электромагнитных волн, если внутренние потери в них малы.

Материалы, у которых ϵ либо μ отрицательна, на принятом за рубежом научном сленге называют SNG (*single negative*, монологативные). В таких средах электромагнитные волны быстро затухают по экспоненте. В отношении подобных материалов полагают, что они непрозрачны для излучения, если их толщина больше, чем характерная экспоненциальная длина затухания электромагнитных волн. Если $\epsilon < 0$ и $\mu > 0$, то SNG-материал называют ENG (ϵ - негативные), если $\epsilon > 0$ и $\mu < 0$ – MNG (μ - негативные) [1].

ϵ -негативные материалы

Наиболее известным примером естественной ENG-среды, которая может быть либо прозрачной, либо непрозрачной для электромагнитных волн в зависимости от частоты возбуждения ω , является плазма, диэлектрическая проницаемость которой в отсутствие внешнего магнитного поля определяется формулой

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}, \quad (1)$$

где ω_p – параметр, именуемый радиальной плазменной частотой (радиальная частота собственных колебаний плазмы) и зависящий от плотности, величины заряда и массы носителей зарядов.

В числе искусственных сред с отрицательной ϵ одной из первых была описана система из тонких металлических проводов, расположенных параллельно и погруженных в поддерживающий диэлектрик (рис. 1).

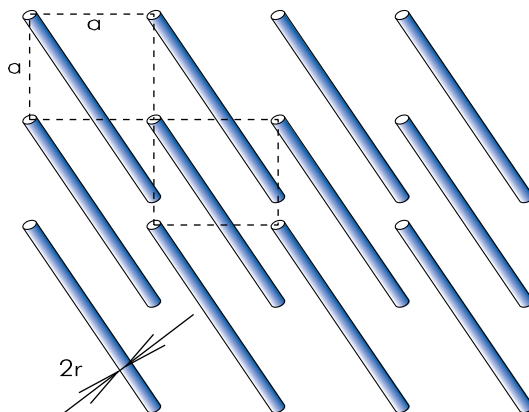


Рисунок 1 — Метаматериал ENG-типа

μ -негативные материалы

История искусственных MNG-материалов начинается в 1950-х годах, когда различные кольцевые и кольцеподобные структуры с отрицательной магнитной проницаемостью представляли интерес как типовые блоки для создания искусственных диэлектриков при изготовлении микроволновых линз.

Основные структуры, используемые для получения MNG-сред, сегодня включают тонкие вложенные металлические цилиндры, рулонные структуры типа «рулет», вложенные разрезные кольца, Ω -подобные и прямоугольные рамки и т.д.

Двойной кольцевой резонатор (*split ring resonator*, SRR) (рис. 2) – очень удачная структура, в которой емкость между двумя кольцами компенсируется их индуктивностью.



Рисунок 2 — Двойной кольцевой резонатор (SRR)

Изменяющееся во времени магнитное поле с вектором напряженности, перпендикулярным поверхности колец, вызывает потоки, которые, в зависимости от резонансных свойств структуры, порождают вторичное магнитное поле, усиливающее исходное либо противодействующее ему, что приводит к положительным или отрицательным эффективным значениям μ .

Двойной цилиндр в качестве структурной ячейки для создания MNG-материалов можно заменить так называемым рулетным элементом, который формируется при свертывании в рулон металлического листа (рис. 3).

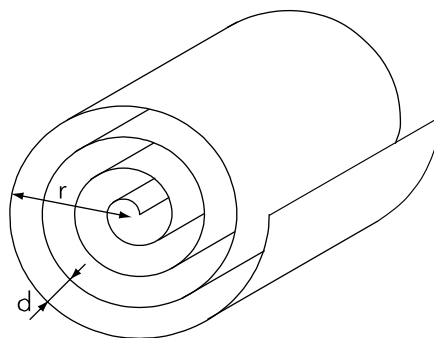


Рисунок 3 — Рулетный элемент

Вместо сплошного двойного цилиндра на практике проще использовать набор его дискретных сечений, расположенных в стеке друг над другом на определенном интервале (рис. 4).

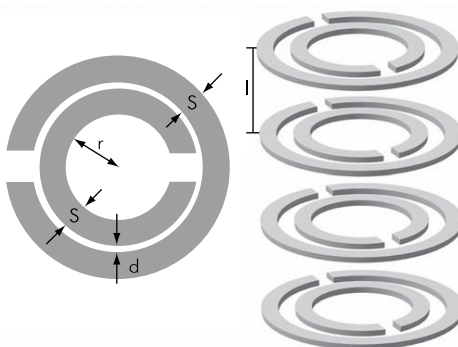


Рисунок 4 — Стек из разрезных колец

При таком формировании метасреды резонансная частота многослойной сборки из разрезных колец с толщиной стенок s определяется как

$$\omega_o^2 = \frac{3lc_o^2}{Br^3 \ln \frac{2s}{d}} \quad (2)$$

Аналогичные стековые решения возможны также на основе дискретных вырезов рулетного элемента. Вместо разрезных колец могут использоваться вложенные квадратные рамки, причем не обязательно расположенные в одной плоскости, а смещенные на некоторое расстояние вдоль общей нормали. Наконец, возможны структуры-метасоленоиды на основе разрезных прямоугольных рамок с чередующейся ориентацией разреза (рис. 5), S-образных элементов и др.

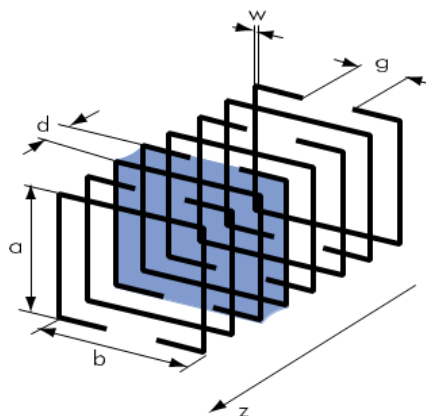


Рисунок 5 — Метасоленоид

Антенны на основе метаматериалов

Метаматериалы в технике антенн сегодня в основном применяются для решения различных технических задач:

- изготовления подложек и излучателей в печатных антеннах для достижения широкополосности и уменьшения размеров антенных элементов;
- компенсации реактивности электрически малых антенн в широкой полосе частот, в том числе превышающей фундаментальный предел Чу;
- достижения узкой пространственной направленности элементарных излучателей, погруженных в метасреду;
- изготовления антенн поверхностной волны;
- согласования рупорных и других типов антенн.

Метаматериалы в качестве подложек

В частности, применительно к БПЛА, преимущество имеет изготовление подложек и излучателей в печатных антеннах для достижения широкополосности и уменьшения размеров антенных элементов, так как это не увеличивает массогабаритные и аэродинамические показатели БПЛА.

Метаматериалы в качестве подложек для печатных миниатюризированных антенн позволяют снижать размеры традиционных излучателей, увеличивать их полосы пропускания и эффективность излучения. Структура метаматериала, формирующего подложку, может быть однородной либо композитной, образованной из нескольких типов сред. На рисунке 6 изображена однородная MNG-подложка, сформированная из погруженных в диэлектрическую подушку вертикальных разрезных квадратных рамок.

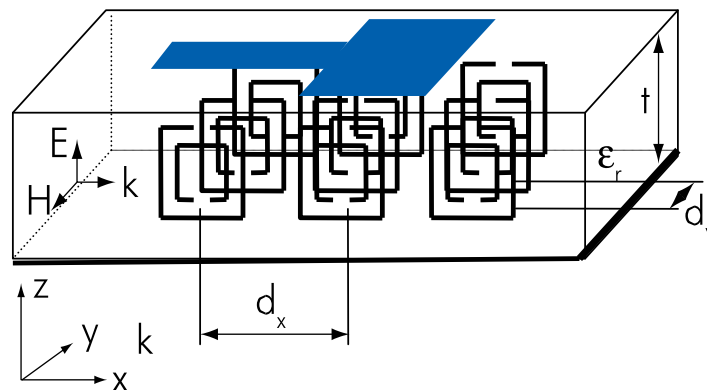


Рисунок 6 — Печатная антенна с подложкой из MNG

Вместо рамок могут использоваться различные по форме спиральные элементы, а также структуры, форма которых оптимизирована, например, на основе генетических алгоритмов.

На рисунке 7 предложен альтернативный вариант конструкции на основе ϵ - и μ -негативной среды, в которой образующие элементы представляют собой ячейки.

Среди композитных подложек распространены структуры, сочетающие в себе правосторонние и левосторонние сегменты. Одно из полезных свойств таких гибридных решений – возможная зависимость коэффициента преломления от частоты. Например, большой интерес представляет композитный материал, в котором сочетаются ячейки из обычного материала ($\epsilon > 0$ и $\mu > 0$) с DNG-материалами.

Поскольку у материалов первого типа векторы напряженности электрического и магнитного полей образуют с волновым вектором правостороннюю систему координат, а в DNG-материалах – левостороннюю, такие композитные материалы называют право- и левосторонними (CRLH) [2].

В низкочастотном диапазоне у CRLH материалов возможен отрицательный коэффициент преломления, а при превышении некоторой граничной частоты – положительный. Подбором размеров право- и левосторонних сегментов удастся регулировать резонансную частоту печатной антенны, а также сделать её двухдиапазонной, например, за счет одновременного использования мод TM_{010} и TM_{020} .

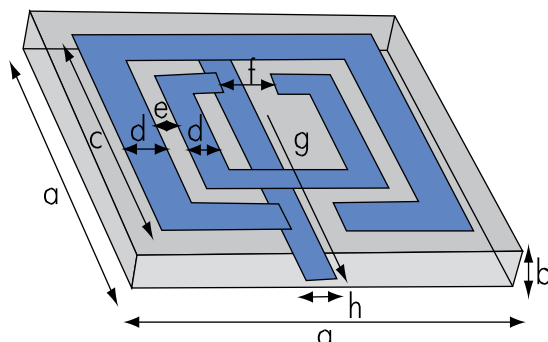


Рисунок 7 — Ячейка DNG-метаматериала

На рисунке 8 изображена печатная антенна с композитной подложкой. Электрическая длина печатной антенны задана равной $0,2\lambda$, что меньше традиционного ограничения в $0,5\lambda$. Геометрические размеры антенны: $L = W = 8$ мм, $LL = 10L/19$ и $LR = 9L/19$. Здесь LR и LL – длины участков с традиционным и DNG-материалом соответственно. Значения LL и LR выбирались при условии $LL/LR = \mu(DPS)/\mu(DNG)$. DNG-блок образован двумя рядами из 40 ячеек.

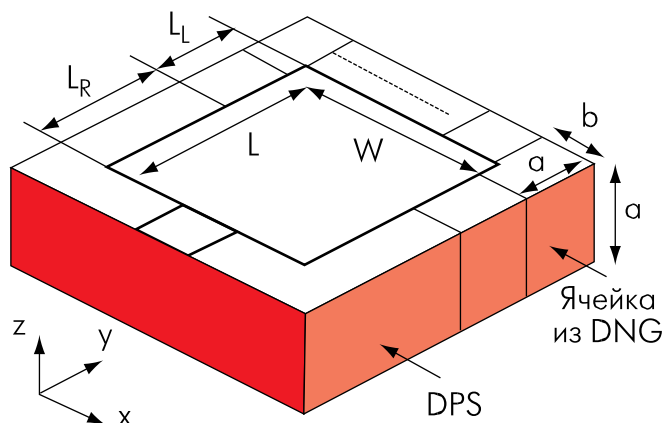


Рисунок 8 — Печатная антенна с композитной подложкой

При использовании в такой печатной антенне монолитной подложки с $\epsilon=1$ и $\mu=1$ антенна не может излучать на частотах в районе 7,7 ГГц (сплошная линия), так как ее электрическая длина $0,2\lambda$ намного короче, чем полуволновое ограничение.

Если половина печатной антенны нагружена идеальной недисперсионной подложкой, выполненной из DNG-материала с $\epsilon = -1$ и $\mu = -1$, то возможно излучение и прием сигналов в широкой полосе частот.

При наличии дисперсионности среды DNG, несмотря на узкую рабочую полосу, антенна по-прежнему работает на частоте 7,7 ГГц. На рисунке 9 наглядно показан расчетный коэффициент отражения печатной антенны для различных значений ϵ и μ материала подложки.

Таким образом, применяя подложку, частично заполненную DNG-материалом, можно заметно миниатюризировать габариты печатной антенны. Тем самым, проведенный анализ показал неоспоримые преимущества применения антенн на основе метаматериалов на малогабаритных военных объектах, в частности, на широко используемых беспилотных летательных аппаратах.

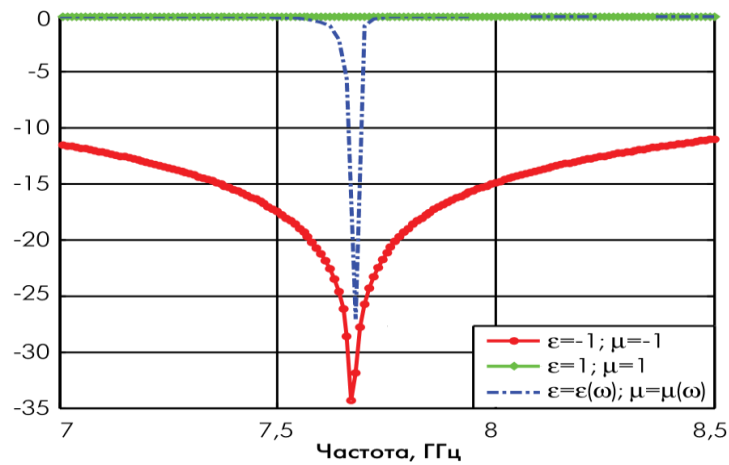


Рисунок 9 — Расчетный коэффициент отражения

В заключение следует отметить, что анализ известных направлений исследований в теории метаматериалов позволяет спрогнозировать появление антенных конструкций на основе активных и нелинейных метаструктур, теорию и технологии которых еще предстоит разработать. Учитывая успешное начало эры метаматериалов в антенной технике, сопровождавшееся открытием целого ряда новых полезных эффектов, есть основания надеяться, что её продолжение станет полезным для повышения эффективности применения антенных систем на маломерных судах, объектах малой авиации, в том числе беспилотной, а также на малогабаритных упаковках, контейнерах перевозимых грузов.

Список литературы:

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн. М.: Радиотехника, 2009. 720 с.
2. Неганов В.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. М.: Ленард, 2013. Ч. 1. 608 с.
3. Неганов В.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. М.: Ленард, 2014. Ч. 2. 728 с.
4. Щелкунов С.А., Фриис Г.Т. Антенны. М.: Советское радио, 1955. 604 с.

Поступила в редакцию 22.12.2023 г.

Тенденции развития беспилотных летательных аппаратов

Орошук Игорь Михайлович, д-р техн. наук, профессор, oroshuk@yandex.ru

Кудрявцева Екатерина Викторовна, ekaterina.zyryanova.92@list.ru

Горелов Игорь Дмитриевич, guguev.igor@mail.ru

Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова, Владивосток

Современные беспилотные авиационные системы представляют собой наукоемкую, высокотехнологичную область и являются одним из наиболее перспективных направлений развития авиации, поэтому данное исследование является весьма актуальным. В статье актуализированы тенденции развития и совершенствования авиационной беспилотной техники, развитие отечественных беспилотных летательных аппаратов, определены сферы их применения, рассмотрены их преимущества по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, классы беспилотных летательных аппаратов, беспилотные авиационные комплексы.

Development trends unmanned aerial vehicles

Oroschuk Igor M., oroshuk@yandex.ru

Kudryavtseva Ekaterina V., ekaterina.zyryanova.92@list.ru

Gorelov Igor D., guguev.igor@mail.ru

Pacific Higher Naval College named after S. O. Makarov, Vladivostok

Modern unmanned aircraft systems represent a knowledge-intensive, high-tech field and are one of the most promising areas of aviation development, therefore this study is very relevant. The article actualizes the trends in the development and improvement of aviation unmanned aerial vehicles, the development of domestic unmanned aerial vehicles, defines the scope of their application, analyzes the distribution of these Russian vehicles by take-off weight and type of power plant, and considers their advantages in comparison with manned aircraft.

Keywords: unmanned aerial vehicles, classes of unmanned aerial vehicles, unmanned aerial systems.

Статья подготовлена по материалам из открытых источников.

В последнее время в мире наблюдается интерес беспилотным летательным аппаратам (БПЛА). С каждым годом число стран, занимающихся их разработкой, растет. Страны осуществляют разработку БПЛА по собственным проектам или участвуют в международных программах их разработки.

Бурному развитию БПЛА способствовали участвовавшие военные конфликты, опыт которых показал, что успех их применения во многом зависит от их информационного обеспечения, в котором важную роль играют разведывательные БПЛА. В настоящее время и в обозримом будущем БПЛА сохраняют за собой разноотраслевое применение.

Беспилотные летательные аппараты могут использоваться для решения самых различных задач: ведения круглосуточного воздушного мониторинга наземных объектов в реальном масштабе времени с использованием телевизионной и инфракрасной аппаратуры и других модулей. Область применения БПЛА охватывает дальности от 10 до 4 000 км, высоты от 50 до 20 000 м, продолжительности полета от нескольких минут до нескольких месяцев, взлетную массу от 0,2 до 40 000 кг.

БПЛА можно классифицировать по множеству критериев, например:

- по размеру и полезной нагрузке;
- по типу конструкции;
- по типу двигателя;
- по типу управления;
- по различным тактико-техническим характеристикам.

Самые маленькие современные беспилотники (дроны) имеют размер нескольких миллиметров и могут весить всего несколько граммов. Размеры сверхтяжелых БПЛА измеряются метрами, а их вес составляет несколько тонн. Наиболее распространённые на сегодняшний день типы конструкции БПЛА – это квадрокоптеры, мультикоптеры, БПЛА вертолетного типа и БПЛА самолетного типа.

Беспилотным летательным аппаратом может называться любое летающее устройство, не имеющее пилота на борту. Поэтому, радиомодели самолетов и вертолетов также являются беспилотниками и управляются по радиоканалу. Помимо радиоканала, управление БПЛА может осуществляться иными средствами связи или же с помощью пилотного задания, заложенного в бортовой компьютер летательного аппарата или наземный контролирующий комплекс.

В силу своих конструктивных особенностей, квадрокоптеры и мультикоптеры, как правило, уступают БПЛА вертолетного и самолетного типа по таким техническим характеристикам как:

- максимальная масса полезной нагрузки;
- максимальная скорость и дальность полета;
- максимальный практический потолок полета;
- максимально возможное время полета.

Каждый БПЛА создается для конкретного применения и решения конкретных задач. То, что может сделать малый беспилотник, не сможет сделать большой. И наоборот.

Беспилотные летательные аппараты могут применяться в таких областях, как:

- аэрофотосъемка площадных и линейных объектов;
- мониторинг лесных пожаров;
- мониторинг состояния гидроэлектростанций;
- контроль состояния газо- и нефтепроводов;
- контроль этапов строительства различных объектов;
- обеспечение охраны и безопасности территории;
- контроль сельскохозяйственных процессов;
- доставка грузов в труднодоступные районы;
- выполнение спасательных операций и многое другое.

Роль беспилотных летательных аппаратов в современных условиях. В современной индустрии БПЛА уделяется особое внимание. Они выигрывают у альтернативных вариантов специальной техники по многим параметрам, в особенности по соотношению «стоимость – эффективность» [2].

Современные БПЛА выполняют следующие задачи:

- передача сведений в наземный пункт в реальном времени;
- ретрансляция связи.

В разработку и усовершенствование современных дронов вкладываются значительные государственные бюджетные средства, в особенности это касается крупных мировых держав (Россия, США, Китай, Израиль).

Основная цель инженеров на современном этапе – сделать будущие БПЛА максимально автономными, способными:

- координировать собственные действия без участия оператора;
- выбирать цель и идентифицировать объекты.

Помимо автономности, работы ведутся над размерами дронов и их функционалом. Планируется уменьшить размеры БПЛА, что позволит снизить стоимость их производства и эксплуатации, а также повысить маневренность.

Отдельно стоит обратить внимание на широкое применение бесплатформенных много-роторных систем, так называемых мультикоптеров (англ. *Multirotor*, *multicopter*, много-роторный вертолет, многолет) – это летательный аппарат с произвольным количеством несущих винтов, вращающихся диагонально в противоположных направлениях (мини- и микро-БПЛА).

В последнее время все более широкое развитие получает применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами (КБПЛА). Не является исключением и морской транспорт [3]. Следует отметить, что масштабы применения КБПЛА на море несколько отстают от масштабов использования БПЛА на наземных участках. Многообразие задач морских КБПЛА и преимущества последних в их решении не дают повода усомниться в необходимости наращивания такого применения [2].

Основные задачи, решения которых требует применения КБПЛА на морском транспорте: ледовая разведка, ретрансляция сигналов управления и передачи информации, идентификация объектов для мониторинга логистических цепей. Каждая из задач может отличаться масштабами.

При выборе и проектировании дронов для задач морского транспорта необходимо учитывать специфику применения КБПЛА на море. В качестве примера, в статье приведены несколько многофункциональных беспилотных комплексов, таких как БПЛА «Орлан-3М» и БПЛА «Орлан-10».

БПЛА «Орлан-3М». БПЛА «Орлан-3М» (рис. 1) предназначен для использования в качестве носителя различных авиационных комплексов для выполнения аэрофото- и видеосъемки панорамной и плановой, а также для других похожих задач.

Высокая устойчивость и хорошая управляемость допускают использование БПЛА «Орлан-3М» в сложных метеоусловиях и с ограниченных площадок.

Компоновочная схема с силовой установкой на пилоне беспилотника наилучшим образом соответствуют решаемым задачам и обеспечению безопасности персонала. Дополнительный объем внутри консолей крыла беспилотника позволяет разместить на борту БПЛА широкий спектр контрольно-измерительной аппаратуры.

Основные характеристики БПЛА «Орлан-3М»:

- взлетная масса – 7 кг;
- скорость полета – 70–150 км/ч;
- максимальная продолжительность полета – 2 ч;
- дальность полета – 100 км;
- максимальная высота полета над уровнем моря – 7000 м;
- максимальная допустимая скорость ветра на старте – 10 м/с;
- диапазон рабочих температур у поверхности земли от –30 до +40 °С.



Рисунок 1 — БПЛА «Орлан-3М»

БПЛА «Орлан-10». Российский многофункциональный беспилотный комплекс «Орлан-10», предназначенный для ведения наблюдения за протяженными и локальными объектами в труднодоступной местности, в том числе при проведении поисковых и ремонтных работ. Был создан российской фирмой «СТЦ» (г. Санкт-Петербург).

Беспилотный летательный аппарат имеет довольно большую дальность и продолжительность полета – до 600 км и до 16 часов. Это позволяет БПЛА вести мониторинг на большой дальности и патрулировать районы длительное время. Полезная нагрузка БПЛА ограничена 5 кг, поэтому БПЛА имеет множество разных комплектаций под разный вид аппаратуры и может нести широкий спектр полезной нагрузки, что позволяет выполнять ему различные задачи и использоваться в сочетании с другими системами, например, другими БПЛА. Разные комплектации БПЛА могут вести наблюдение в оптическом и инфракрасном диапазонах. «Орлан-10» может автоматически определять положения включенных GSM-телефонов (от англ. *Global System for Mobile Communications* – глобальная система мобильной связи), станций УКВ-связи, работающих РЛС в X-диапазоне. Также аппарат позволяет проводить контроль над земными объектами в труднодоступной местности. БПЛА имеет смешанную конструкцию (пластик и металл), которая выполнена по схеме высокоплана с тянущим винтом и расположением двигателя спереди.

Основные технические характеристики БПЛА «Орлан-10»:

- длина – 1,8 м;
- размах крыла – 3,10 м;
- максимальная взлетная масса – 18 кг;
- скорость полета – 70–150 км/ч;
- максимальная продолжительность полета – 16 ч;
- дальность полета – до 600 км в автономном режиме;
- максимальная высота полета над уровнем моря – 5000 м;
- диапазон рабочих температур у поверхности земли от –30 до +40 °С.

В последнее время беспилотные летательные аппараты активно внедряются в службы ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) в большинстве развитых стран мира и активно применяются на практике. К настоящему времени центры беспилотной авиации созданы во всех 85 регионах страны, которые начинают постепенно оснащаться БПЛА, что является важнейшей стратегической задачей развития системы МЧС России.

К основным задачам, решаемым беспилотной авиацией МЧС России, относятся:

- контроль зон ЧС, определение точных координат границ района ЧС и объектов поиска;
- воздушный поиск объектов и наблюдение за ними, воздушное патрулирование заданных районов, контроль надводной обстановки, выполнение задач воздушного мониторинга;
- мониторинг пожароопасной, паводковой и ледовой обстановки, разведка путей движения;
- аэрофотосъемка заданных районов с последующей топографической привязкой фотоснимков, видеофотодокументирование объектов контроля для получения обзорных и детальных изображений;
- пожаротушение с использованием тяжелых беспилотных летательных аппаратов для сброса реагентов на очаги возгорания;
- подвоз беспилотными вертолетами медикаментов, инструментов, продуктов к местам происшествия в зоны со сложной посадкой.

В настоящее время на стадии испытаний и сертификации находятся следующие перспективные образцы отечественных грузовых вертолетных беспилотная авиационная система (БАС) гражданского применения:

- многоцелевой беспилотник вертолетного типа БАС-200 производства АО «Вертолеты России» ГК «Ростех»;
- многофункциональный беспилотник вертолетного типа VRT300 (BPT-300) производства АО «Вертолеты России»;
- тяжелый грузовой беспилотник БАС-750 производства АО «Вертолеты России»;

- многоцелевое беспилотное воздушное судно вертолетного типа ВТ 440 производства АО НПП «Радар ммс»;
- грузовой беспилотник вертолетной схемы R-2200 от воронежского Конструкторского бюро «Русь».

Помимо multifunctional комплексов БПЛА, широко используются и БПЛА вертолетного типа. В качестве примера в статье приведен **Беспилотный летательный аппарат ZALA 421-06** вертолетного типа (рис. 2).

Этот беспилотный вертолет используется для решения задач в опасных для человека зонах. Применение ZALA 421-06 возможно и в других характерных для БПЛА целях. Среди преимуществ использования беспилотных вертолетов можно выделить такие как возможность вертикального взлета и зависания над целевым объектом.

Основные технические характеристики БПЛА ZALA 421-06:

- длина – 1,57 м;
- максимальная взлетная масса – 12 кг;
- скорость полета – 50,00 км/ч;
- максимальная продолжительность полета – 2 ч;
- дальность полета – 25,00 км;
- диаметр основного ротора – 1,77 м.



Рисунок 2 — БПЛА «ZALA 421-06»

Выводы:

1. Большое разнообразие конструктивного исполнения КБПЛА обуславливает отсутствие или недостаточное развитие методологического аппарата оптимизации их технического облика. В связи с этим актуальным представляется проведение комплекса научно-исследовательских работ, посвященных созданию такой методологии.

2. При построении КБПЛА ВМФ должны использоваться принципы «унификации», «базовости», «модульности».

3. Особое внимание следует уделить реализации принципа сетецентричности системы БПЛА.

4. Комплексы бортового оборудования БПЛА должны быть адаптивными к любым задачам и иметь возможность перераспределения функций управления и взаимодействия в зависимости от складывающейся обстановки и изменения перечня решаемых задач.

5. Потребность в БПЛА существует во многих отраслях экономики, помимо водного транспорта, в сельском, лесном и рыбном хозяйствах и других.

Список литературы:

1. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития: монография. – М.: Права человека, 2005. 611 с.
2. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных // Наука и инновации: инженерный журнал. 2018. № 9. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/1801/1801.pdf> (дата обращения: 31.10.2023).
3. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Адамовский В.В., Красноперов Р.А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное. Уфа: Фотон, 2014. 217 с.

Поступила в редакцию 26.12.2023 г.

Возможности применения антенн из метаматериала на беспилотных летательных аппаратах

Орошук Игорь Михайлович, д-р техн. наук, профессор, oroshuk@yandex.ru
 Сучков Андрей Николаевич, д-р техн. наук, доцент, suchkov-andrey-1981@yandex.ru
 Кудрявцева Екатерина Викторовна, ekaterina.zyryanova.92@list.ru
 Горелов Игорь Дмитриевич, guguev.igor@mail.ru

Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова, Владивосток

Бурное развитие в ведущих странах мира информационных технологий неизбежно привело к переосмыслению концепции применения беспилотных летательных аппаратов, путей дальнейшего их развития, совершенствованию полезной нагрузки и приданию им многоцелевого характера. Особо значимым пунктом в эксплуатации беспилотных летательных аппаратов является передача на него команд управления и прием с беспилотного летательного аппарата требуемой информации, которые осуществляются при помощи антенн. При этом используемые на беспилотных летательных аппаратах антенны не должны негативно влиять на массогабаритные характеристики и аэродинамические параметры летательного аппарата. Для этого требуются небольшие антенны, которые не будут влиять на качество полета. Одним из способов решения данной проблемы является установка антенн из метаматериалов, которые имеют меньшие размеры относительно традиционных антенн, а также ряд других положительных характеристик, которые рассмотрены в статье.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, канал управления, метаматериалы, направленные свойства.

Possibilities of using metamaterial antennas on unmanned aerial vehicles devices

Oroschuk Igor M., oroshuk@yandex.ru
 Suchkov Andrey N., suchkov-andrey-1981@yandex.ru
 Kudryavtseva Ekaterina V., ekaterina.zyryanova.92@list.ru
 Gorelov Igor D., guguev.igor@mail.ru

Pacific Higher Naval College named after S.O. Makarov, Vladivostok

The rapid development of information technologies in the leading countries of the world has inevitably led to a rethinking of the concept of using unmanned aerial vehicles and ways to further develop them development, improvement of the payload and giving them a multipurpose character. A particularly significant point in the operation of unmanned aerial vehicles is the transmission of control commands to it and the reception of the required information from the unmanned aerial vehicle, which are carried out using antennas. At the same time, the antennas used on unmanned aerial vehicles should not negatively affect the weight and size characteristics and aerodynamic parameters of the aircraft. This requires small relative summers the antenna system, which will not affect the flight quality. One of the ways to solve this problem is to install antennas made of metamaterials on the aircraft, which are smaller in size relative to traditional antennas, as well as a number of other positive characteristics that are discussed in the article.

Keywords: unmanned aerial vehicles, control channel, metamaterials, directional properties.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стало одним из главных направлений развития современной авиации, что позволяет вести мониторинг состояния больших территорий в интересах контроля природных ресурсов и безопасности охраняемых объектов промышленности, управление процессом транспортных перевозок и для других задач.

Основным элементом системы обеспечения работы БПЛА является канал управления, от устойчивости работы которого зависит эффективность выполнения функциональных задач беспилотника.

Для устойчивости работы канала управления необходимо обеспечить его электромагнитную совместимость в условиях работы большого числа БПЛА и других радиоэлектронных средств. С этой целью предложено использовать на БПЛА направленные антенны с управляемой диаграммой направленности, снижающих электромагнитную доступность других станций. Для реализации таких антенн предлагается использовать метаматериалы, основным достоинством которых является малые масса и габариты, которые обеспечат минимальное влияние на аэродинамические характеристики БПЛА.

Одним из направлений развития современной оптики, радиофизики и физики твердого тела – параллельное исследование природных кристаллов и разработка с учетом их свойств новых типов искусственных сред, которые названы метаматериалами, поскольку обладают особыми свойствами, которые невозможно получить, используя природные вещества. Греческое «*мета*» означает «вне», «за пределами», что подчеркивает принадлежность метаматериалов к неестественным объектам.

Среди исключительных особенностей метаматериалов принято рассматривать: отрицательные значения диэлектрической (ϵ) и магнитной проницаемости (μ), существующие одновременно, отрицательный показатель преломления и сильные киральные свойства и др.

В общем случае метаматериалы можно исследовать как системы, состоящие из микрорезонаторов или «метаатомов», обладающих необходимыми и управляемыми свойствами в оптическом, СВЧ и терагерцовом диапазонах.

В последние несколько лет особое внимание уделяется особо тонким метаматериалам или метаповерхностям, в которых необходимые характеристики могут быть достигнуты при использовании только одного слоя искусственных частиц (метаатомов), что повышает их эффективность.

Отрицательные ϵ или μ получаются в том случае, когда электроны в материале движутся в направлении, противоположном по отношению к силам, создаваемым электрическим и магнитным полями [1]. Хотя такое поведение кажется парадоксальным, заставить электроны двигаться против сил электрического и магнитного полей не так уж сложно. Ключ к такого рода отрицательной реакции – резонанс, т.е. стремление колебаться со специфической частотой. Он создается в метаматериале искусственно с помощью крошечных резонансных контуров (рис. 1), имитирующих отклик вещества на магнитное или электрическое поле. Например, если поместить разорванный кольцевой резонатор в переменное магнитное поле, то в кольце возникнет электрический ток, а на месте зазора возникнет дуговой разряд. Поскольку металлическому кольцу можно приписать индуктивность L , а зазору соответствует эффективная емкость C , систему можно рассматривать как простейший колебательный контур с резонансной частотой:

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

При этом система создает собственное магнитное поле, которое будет положительным при частотах переменного магнитного поля $\omega < \omega_0$ и отрицательным при $\omega > \omega_0$.

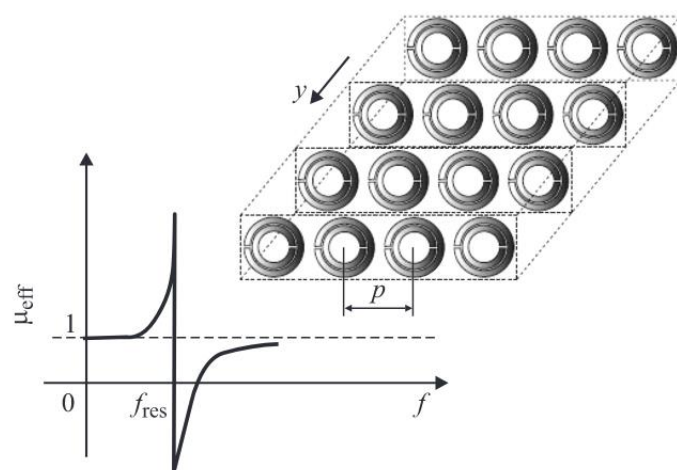


Рисунок 1 — Кольцевые разомкнутые резонаторы

А в решетке из прямых металлических стержней (рис. 2) электрическое поле создает направленные вдоль них токи.

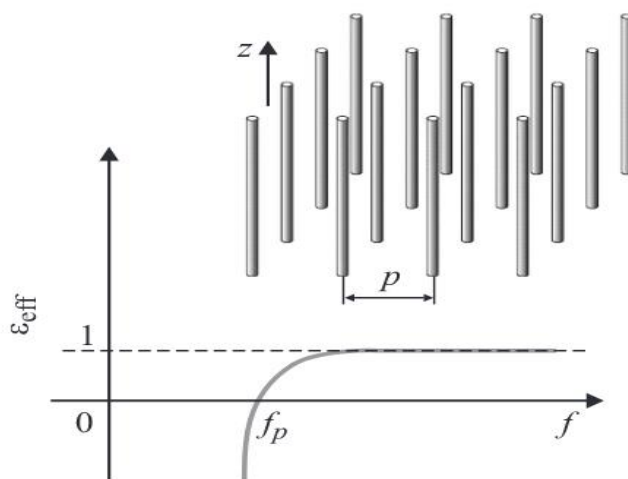


Рисунок 2 — Сетка тонких металлических проволочек

Таким образом, свободные электроны в таких контурах колеблются с резонансной частотой, зависящей от формы и размеров проводника. Если приложено поле с частотой ниже резонансной, то будет наблюдаться нормальная положительная реакция. Однако с увеличением частоты отклик становится отрицательным, то есть проводники в некотором диапазоне частот могут реагировать на электрическое поле как среда с отрицательной ϵ , а кольца с разрезами могут имитировать материал с отрицательной μ .

С учетом уникальных свойств, применение метаматериалов в антенной технике считается перспективным для создания новых классов СВЧ-устройств, излучателей и фазированных антенных решеток (ФАР), позволяющих оптимизировать спектральные свойства излучения ФАР и управлять параметрами их диаграмм направленности [2]. Уменьшение размеров антенн и увеличение направленности излучения при фиксированных размерах излучателей являются одной из важных задач антенной техники.

Одно из направлений использования метаматериалов – применение их в качестве подложки микрополосковой антенны для уменьшения геометрических размеров антенны и расширения диапазона рабочих частот.

На рис. 3 показан вид такой антенны и её отражающие свойства подложки.

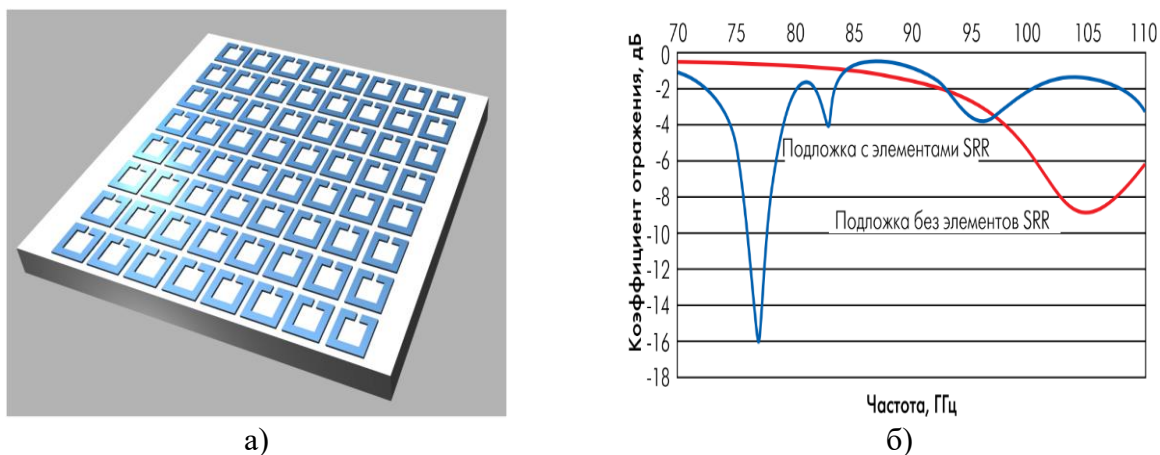


Рисунок 3 — Свойства антенны с подложкой из метаматериала:

а – антенна с подложкой из метаматериала

б – частотная зависимость коэффициента отражения антенны

Использование метаматериала также позволяет выполнить фокусировку излучения в направлении к нормали к плоскости экрана (рис. 4).

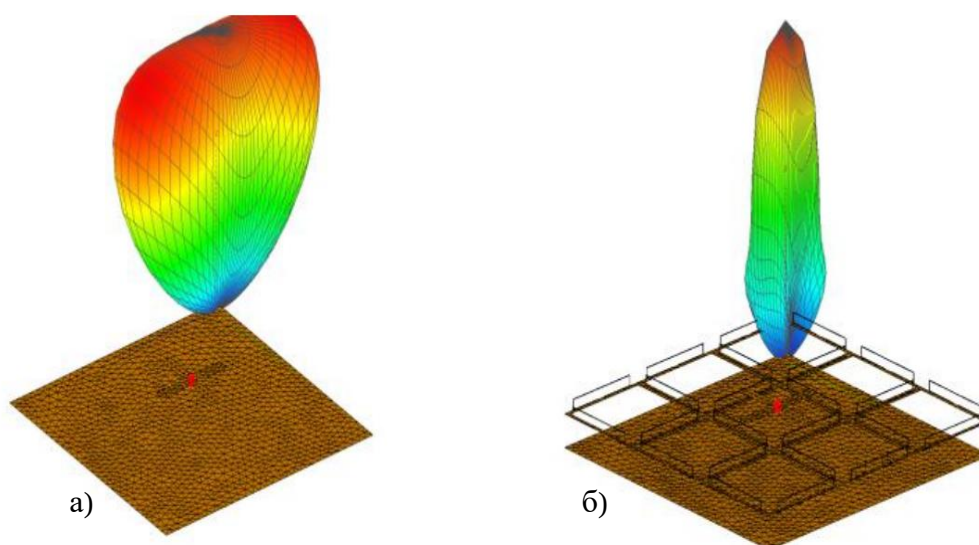


Рисунок 4 — Изменение диаграммы направленности:

а – излучатель; б – излучатель с подложкой из метаматериала

Свойства метаматериалов также определяются электрическими параметрами границы раздела между свободным пространством и искусственным материалом. В данном случае материал, который по отношению к электромагнитной волне СВЧ-диапазона имеет поверхностный импеданс будет иметь импеданс, существенно превосходящий волновое сопротивление свободного пространства $Z_0 = 120\pi$ Ом. Поверхность, имеющая такой большой поверхностный импеданс ($Z_{\text{magn sur}}$), принято называть «магнитной стенкой».

Известно, что хорошо проводящий металл имеет поверхностный импеданс по отношению к электромагнитной волне СВЧ-диапазона, измеряемый сотыми долями ома ($Z_{electr\ sur}$). Хорошо проводящий металл принято называть «электрической стенкой». Следовательно:

$$Z_{electr\ sur} \leq Z_0 \leq Z_{magn\ sur}. \quad (2)$$

В природе не существует материала, который бы обладал свойствами магнитной стенки. В какой-то мере этими свойствами обладают ферромагнитные материалы с большой величиной магнитной проницаемости. Однако магнитную стенку можно осуществить с помощью искусственных приемов на основе метаматериалов.

Свойства метаматериалов также определяются влиянием высокоимпедансной поверхности (магнитной стенки) и поверхности совершенного проводника (хорошо проводящего металла) на СВЧ-излучатели, расположенные над такими поверхностями. В случае магнитной стенки ток в отраженном проводнике синфазен току в основном излучателе, тогда в случае стенки из хорошо проводящего металла ток в отраженном проводнике противофазен току в основном излучателе.

Конструктивное решение системы активных и пассивных излучателей на высокоимпедансной поверхности многократно проверено и находит практическое применение в разработке миниатюрных антенн.

Иными свойствами обладают излучатели, расположенные на высокоимпедансной поверхности. В этом случае поверхностный ток не затекает на обратную сторону носителя, и в системе не возникает излучения в обратную сторону от основного излучения антенны. В случае расположения основного излучателя над хорошо проводящим металлом происходит затекание поверхностного тока на обратную сторону носителя, что сопровождается излучением в обратную сторону от основного излучения антенны.

С учетом особых свойств метаматериалов диаграммы направленности антенн на их основе имеют свои характеристики. На рис. 5 показаны диаграммы направленности одиночного излучателя, расположенного над высокоимпедансной поверхностью и над идеальным проводником.

Из приведенных графиков видно, что в первом случае обратное излучение существенно меньше прямого.

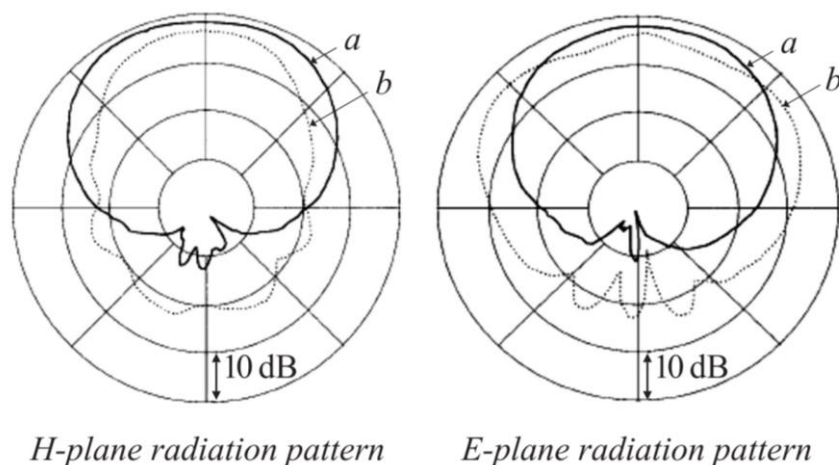


Рисунок 5 — Диаграммы направленности в Е- и Н-плоскостях горизонтального вибратора:
а — над высокоимпедансной поверхностью;
б — над металлической поверхностью

С учетом малых размеров антенн из метаматериалов предлагается устанавливать их на БПЛА. Идея состоит в защите радиоканалов БПЛА с помощью высоконаправленной антенной решетки с управляемой диаграммой направленности, построенной на базе антенных элементов из метаматериала формы разомкнутого резонатора (рис. 6).

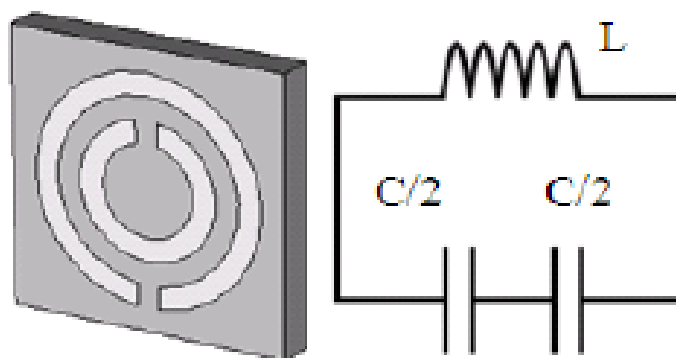


Рисунок 6 — Предлагаемый вид антенны и ее эквивалентная схема

При установке антенн на БПЛА необходимо учитывать, что он состоит из композитных непроводящих материалов, что не способствует уменьшению излучения передаваемого сигнала в верхнее полупространство. Для того чтобы обеспечить передачу информации в нижнее полупространство необходимо экранировать верхнюю часть фюзеляжа и крыла. Это снизит электромагнитную доступность каналов управления и ретрансляции передаваемой информации от помех других станций.

При установке на БПЛА двух колец антенн на основе метаматериалов (рис. 7) имеется возможность создания антенной решетки с управляемой диаграммой направленности [3], перекрывающей весь сектор зоны ретрансляции.

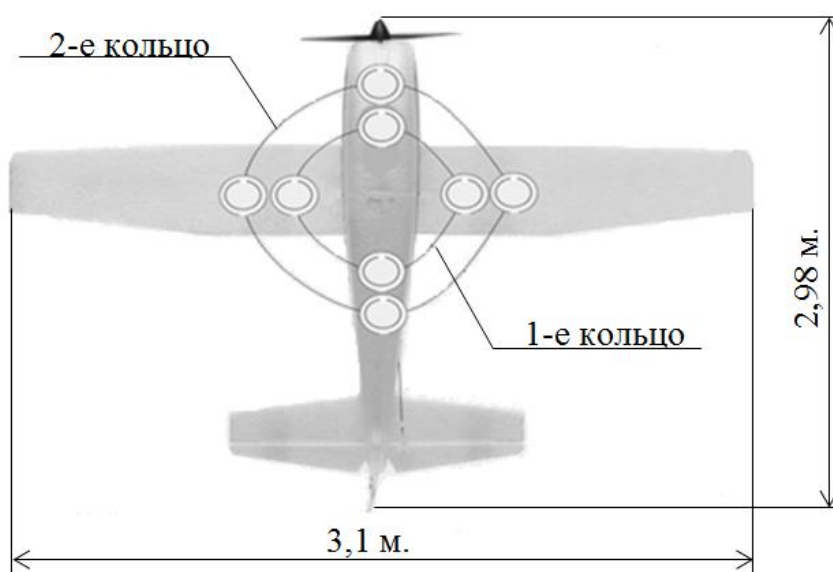


Рисунок 7 — Пример размещения антенных элементов на БПЛА

В частности, при размещении антенных элементов на расстоянии, показанном на рис. 8, можно достигнуть повышения направленных свойств и усиление принимаемых и передаваемых сигналов с БПЛА, что снизит влияние помех, возникающих от различных станций или иных беспилотников, находящихся вблизи зоны полета, а также позволит уменьшить энергетические затраты передающего устройства БПЛА, тем самым увеличит энергетический ресурс летального аппарата.

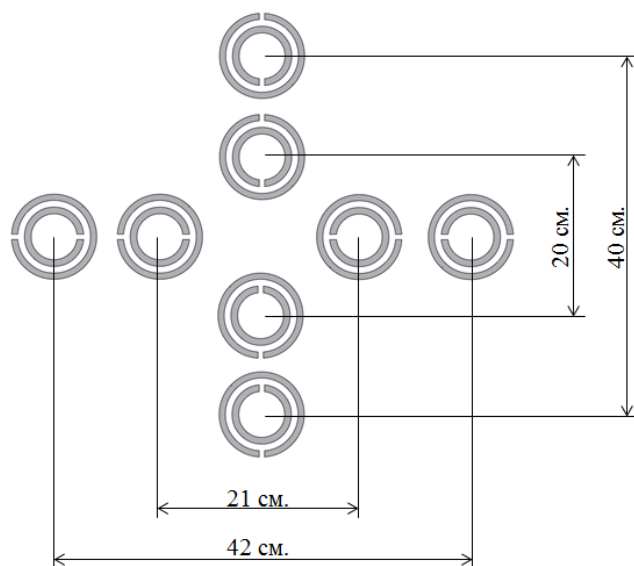


Рисунок 8 — Расстояние между антенными элементами на БПЛА

На рис. 9 показана диаграмма направленности антенной решетки, приведенной на рис. 8 в заданном направлении позиционирования, ширина диаграммы направленности которой на частоте 600 МГц составляет 30 градусов. Антенная решетка обеспечивает коэффициент усиления 17 дБ, что в целом позволяет увеличить дальность управления и сохранение энергетического ресурса БПЛА.

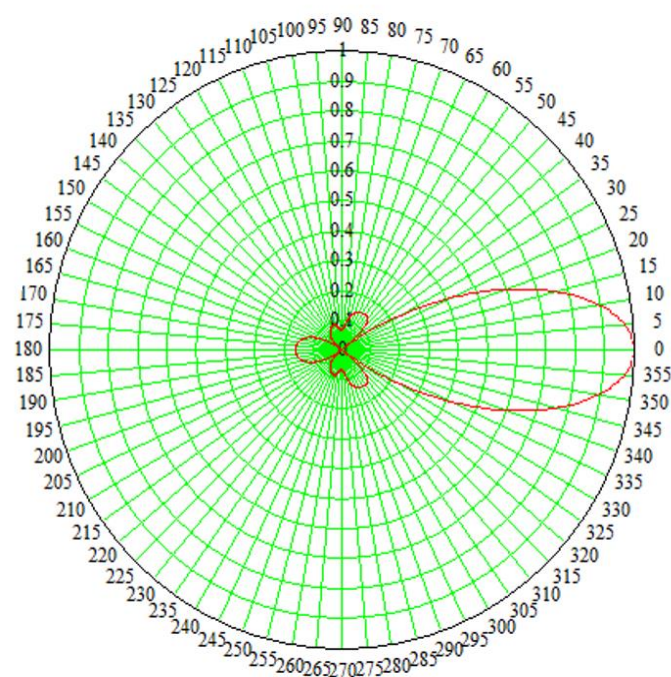


Рисунок 9 — Диаграмма направленности антенной решетки в горизонтальной плоскости для заданного направления

Для применения такой антенны требуется система управления диаграммой направленности, аналогичная системе управления в сотовых сетях связи [4], которая обеспечит позирование в пределах 360 градусов (рис. 11).

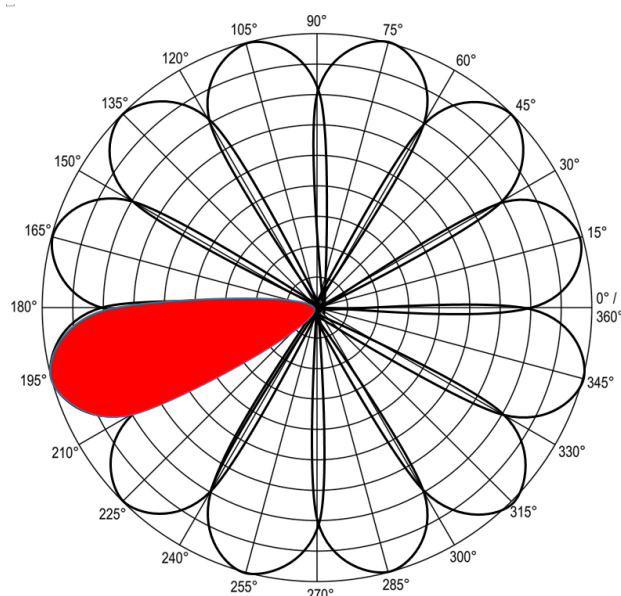


Рисунок 10 — Ожидаемая диаграмма направленности антенной решетки

Таким образом, использование предложенной конструкции антенной решетки позволит повысить пространственную помехозащищенность каналов управления и ретрансляции БПЛА, а возможность усиления антенны может повысить дальность канала управления либо снизить энергетические затраты на передающее устройство летального аппарата. Кроме того, такая конструкция антенной решетки практически не будет влиять на массогабаритные характеристики и аэродинамические параметры летательного аппарата, так как антенны могут быть выполнены путем напыления на фюзеляж и крылья БПЛА.

Список литературы:

1. Metamaterials: Physics and Engineering Explorations. Edited by N. Engheta and R. W. Ziolkowski. Wiley-IEEE Press, 2006.
2. Слюсар В. И. Метаматериалы в антенной технике: история и основные принципы // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. №7. С.70-79.
3. Орошук И.М., Сучков А.Н., Жариков-Горский В.А. Имитационное моделирование отклика цифровых антенных решеток с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов декаметрового диапазона // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 12. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec16/10/text.pdf>.
4. Сорокин А.С. Основы теории построения телекоммуникационных систем и сетей. М.: МТУСИ, 2012. 50 с.

Поступила в редакцию 26.12.2023 г.

**ВЕСТНИК
МОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск 93 / 2023

Дата выхода в свет – 30 декабря 2023 г.
Выходит четыре раза в год

Зарегистрировано
Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а
Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36