



НАУЧНО-★
ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА
ВОЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА

И. Г. ХОРБЕНКО

Неслышимые ЗВУКИ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

И. Г. ХОРБЕНКО

НЕСЛЫШИМЫЕ ЗВУКИ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1967

Хорбенко И. Г.

X79 Неслышимые звуки. М., Военное издательство, 1967.

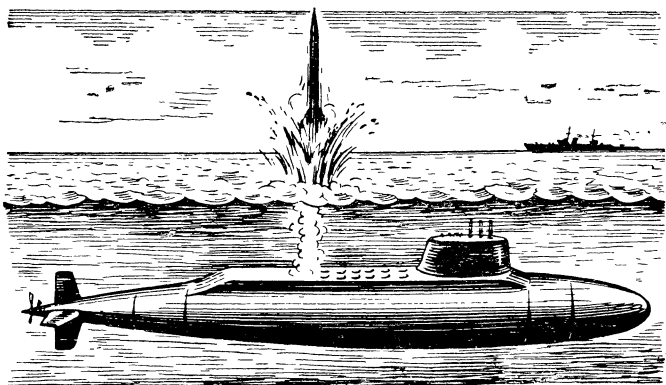
128 с. с илл («Научно-популярная библиотека»),
25 000 экз., 22 коп

В книге кратко объясняется физическая сущность ультразвука и методы создания ультразвуковых колебаний. Основное внимание автор уделяет применению ультразвуковых приборов в военном деле, по данным, опубликованным в советской и иностранной печати. Читатель узнает о новых военных специальностях, возникших в связи с применением ультразвука. Но не только для военных целей служит ультразвук. Его успешно применяют в машиностроении, металлургии, химии, геофизике, рыбном промысле, легкой и пищевой промышленности, сельском хозяйстве, медицине и биологии. Обо всем этом популярно и интересно рассказывается в книге.

1-12-3

33-67

534



ВВЕДЕНИЕ

Неслышимые человеком звуки — это ультразвуки и инфразвуки. Ультразвуки имеют частоту более 20 000 герц (колебаний в секунду), а инфразвуки менее 16 герц.

Первые лабораторные работы по исследованию ультразвука были проведены великим русским ученым П. Н. Лебедевым еще в конце XIX века. Практически же ультразвук применили в начале XX века при создании приборов подводной связи для военных кораблей. Несколько позже его стали применять для обнаружения подводных препятствий и подводных лодок.

За последние двадцать лет с каждым годом область применения ультразвука расширялась. Мы стали очевидцами наиболее бурного развития науки об ультразвуке. Достижения в этой области открыли широкий путь техническому прогрессу в науке, технике и особенно в военном деле.

В результате происшедшей революции в военном деле, и в частности в Военно-Морском Флоте, появились новые надводные корабли и подводные лодки, оснащенные современным оружием — ракетами. Огромную роль в обеспечении боевых действий флота играют ультразвуковые приборы — гидроакустические станции. Без таких приборов ни один военный корабль не выйдет в море не только в военное, но и в мирное время.

Особенно важное значение придается гидроакустике с появлением атомных подводных лодок — главной ударной силы Военно-Морского Флота. Эти лодки имеют большую подводную скорость, могут долго находиться под водой и длительное время плавать без пополнения запасов горючего.

Советские подводники еще в предвоенные годы первыми проложили курс в северных широтах Арктики. Теперь же мы располагаем могучими подводными атомоходами, для которых нет недоступных широт ни в Северном Ледовитом океане, ни в других океанах.

При длительном подводном, а тем более подледном плавании важные задачи выполняют гидроакустики с помощью ультразвуковых приборов. Они обеспечивают безопасность плавания и выполняют многие другие обязанности.

В дни работы XXIII съезда КПСС группа советских подводных атомоходов, находясь полтора месяца в подводном положении, впервые в истории совершила кругосветный поход. Когда отряд атомоходов проходил проливом Дрейка (Южная Америка), гидроакустик головной подводной лодки доложил о сближении с огромным айсбергом, который был обнаружен на предельной дистанции. Подводные корабли изменили курс. А ведь человечество до сих пор помнит, как крупнейший английский океанский пароход «Титаник» в 1912 г. погиб при столкновении с айсбергом. Тогда не было еще приборов, которые могли бы обнаруживать подводные препятствия.

Для упреждения действий вражеских подводных лодок их прежде всего нужно обнаружить, а потом применить специальное оружие для уничтожения. Основное средство, позволяющее обнаруживать подводную лодку в подводном положении, — гидроакустические станции; они работают на принципе излучения и приема звуковых и ультразвуковых колебаний.

Специалисты уделяют особое внимание гидроакустическим средствам и при дальнейшем совершенствовании подводных лодок. По данным иностранной печати, на атомных подводных лодках на долю гидроакустических средств приходится до 80% веса всего радиоэлектронного оборудования и до 60% занимаемого им объема.

Современные иностранные атомные подводные лодки имеют на вооружении гидроакустические средства: станции обнаружения целей и слежения за ними, станции обнаружения минных заграждений, подводной связи и опознавания. Кроме того, на лодках устанавливаются средства гидроакустического противодействия и навигационные приборы (в том числе специальные системы для обеспечения плавания подо льдом).

Ультразвук в военном деле используют и для других целей. С помощью ультразвуковых эхолотов можно быстро и точно измерять глубину моря и толщину льда, обеспечивать безопасность плавания надводных кораблей и подводных лодок. Ультразвук применяют и в минно-торпедном оружии. Акустические минные взрыватели и гидролокаторы, размещаемые в торпедо, значительно расширяют возможности применения этого вида оружия. Приборы, работающие на принципе использования ультразвука, есть и в авиации, радиотехнике, радиолокации, электронно-вычислительной технике и других областях военного дела.

В иностранной печати указывается, что в настоящее время в военных устройствах для получения ультразвука применяются магнитострикционные и пьезоэлектрические приборы, в которых под воздействием переменных магнитного или электрических полей возникают механические колебания. Большое распространение получают и звуковые сирены.

При проверке и ремонте современной военной техники узконаправленные пучки ультразвука от таких приборов могут почти без ослабления проходить через большую толщину металла. Если, однако, на своем пути они встречают какой-либо дефект (раковины, расслоения, трещины), то происходит отражение ультразвуковых волн, которые воспринимаются специальным приемником. На этом основан самый распространенный вид ультразвуковой дефектоскопии. Дефекты в технических устройствах могут быть обнаружены на глубине от нескольких миллиметров до нескольких метров под его поверхностью. Используя современные приборы, можно установить наличие дефекта в техническом устройстве, увидеть его размеры и очертания. Например, в армии США в настоящее время проводятся работы по дефек-

тоскопии бетона, фарфоровых изоляторов, автомобильных покрышек и других изделий.

Еще более широко используют в армиях ряда стран ультразвук в тех случаях, когда необходимо активное воздействие на вещество, например при противохимической защите. Мощные ультразвуковые колебания, например, способствуют очищению жидкости от газов. Это явление с успехом используют и на военных предприятиях для удаления газов из расплавленного металла и стекла, для пайки алюминия и нержавеющей стали.

В иностранной печати указывалось, что в передвижных военных мастерских используется способ сверления, или, точнее, долбежки, с помощью ультразвука. Он позволяет при ремонте военных технических устройств вырезать отверстие любого профиля в хрупких металлических и неметаллических материалах, в том числе в закаленной стали, в сверхтвердых сплавах, в стекле, керамике. Ультразвук — надежное средство очистки мелких металлических деталей часовых механизмов, электровакуумных приборов и других изделий.

Мощные ультразвуковые сирены применяются в США для очистки воздуха от дыма и газов, идущих из заводских труб некоторых предприятий военной химической промышленности.

Применяя ультразвук, можно в 10—15 раз снизить время, необходимое для таких трудоемких технологических операций, как, например, обезжиривание и окраска специального военного обмундирования.

В научных журналах отмечается, что ультразвуковые колебания — существенный фактор и биологического воздействия. Под действием ультразвуковых колебаний гибнут насекомые и микроорганизмы, что позволяет применить ультразвук в противобактериологической защите для стерилизации воды и пищевых продуктов. В военных госпиталях ряда стран имеются положительные результаты при диагностике и лечении ультразвуком ряда массовых внутренних заболеваний военнослужащих.

Но ультразвук применяется не только для военных целей. Он получил широкое признание в науке, технике и различных областях народного хозяйства. Ультразвук с успехом сейчас применяется в машиностроении, метал-

лургии, химической промышленности, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, медицине и многих других областях.

Величественная задача развития народного хозяйства не может быть успешно решена без разработки и применения принципиально новых, более совершенных производственных процессов. При этом значительное место по внедрению усовершенствованных производственных процессов отводится и ультразвуку. Без знания научных основ ультразвука сейчас невозможно квалифицированно использовать современную технику в народном хозяйстве и в военном деле.

Ультразвук, как и всякий другой звук, представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц различных сред, в том числе воздуха и воды. При распространении в газах, жидкостях и твердых телах он порождает интереснейшие явления, многие из которых нашли практическое применение в различных областях науки и техники. В первых двух главах мы познакомимся с современными физическими основами звука и узнаем, как успехи физики и радиоэлектроники позволили существенно усовершенствовать методы получения ультразвука.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗВУКА

Природа звука. Звук возникает в результате колебаний тел в различных средах. Средой для распространения звука могут быть твердые тела, жидкости и газы.

Звуковые явления, происходящие в различных средах, характеризуются колебательным и волновым движениями. Простой пример такого движения — это колебание струны какого-либо музыкального инструмента или электрического звонка. Струна или чашечка звонка, колеблясь, вызывает колебания частиц воздуха. Частицы воздуха будут колебаться в небольших пределах, создавая сгущения и разрежения (рис. 1), которые, достигнув уха, вызовут колебания барабанной перепонки. В результате этого мы слышим звук.

Другой пример. Если бросить камень в воду, то вначале появится углубление, затем возвышение воды, а потом возникнут сферические волны (гребни и впадины).

Волны будут быстро распространяться, увеличиваясь в диаметре, но отдельные частицы воды не будут распространяться вместе с волнами, они будут колебаться только в небольших пределах.

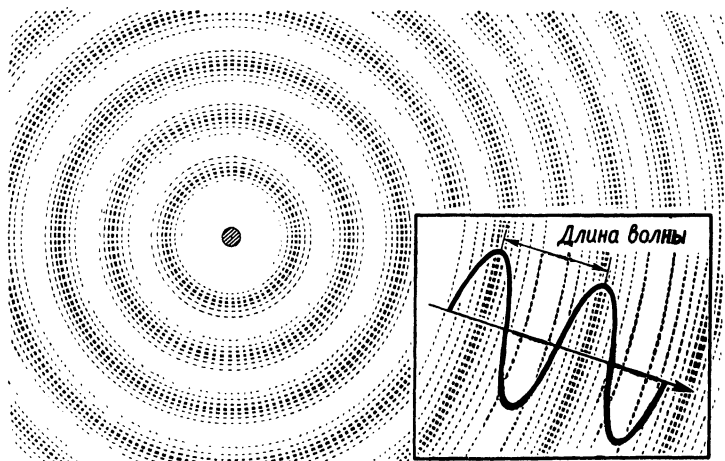


Рис. 1. Сгущения и разрежения, возникшие в результате колебаний

Изолированных колебаний одного тела нет. В каждой среде от взаимодействия между частицами колебания передаются все новым и новым частицам, т. е. в этой среде будут распространяться волны. Колебания источника звука и частиц среды — пример колебательного движения, а распространение сгущений и разрежений — пример волнового движения. Следовательно, звук — это волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц среды.

Природа звуков и ультразвуков (неслышимых звуков) одна и та же. С ультразвуками, сами того не замечая, мы встречаемся на каждом шагу. Их издают, например, наряду со слышимыми звуками телефонный звонок, идущие часы, кузнечный пресс, летящий самолет и т. п. Ультразвуки — нередкое явление в мире животных. Многие животные и насекомые могут издавать и воспринимать ультразвуковые колебания.

Характеристика звука. Основные физические характеристики звуковых колебаний — это частота и сила звука. Количество звуковых волн, наблюдаемых в какой-либо точке пространства в течение одной секунды, называется частотой. За единицу частоты принимают одно колебание в секунду; эту единицу называют герц (гц).

Частота — один из признаков, по которым мы отличаем одни звуки от других. Чем больше частота колебаний, тем больше высота звука, т. е. звук имеет более высокий тон; чем меньше по размерам колеблющееся тело, тем более высокий тон звука оно издает. Изменение высоты тона зависит не от абсолютного изменения частоты колебаний, а от ее относительного изменения.

Звуки могут отличаться один от другого еще и по тембру. Это значит, что одинаковые звуки по высоте тона и по интенсивности могут звучать по-разному. Объясняется это тем, что основной звук сопровождается второстепенными звуками, которые всегда выше по частоте. Второстепенные звуки называются обертонами. Они и помогают отличить один звук от другого (если даже эти звуки одинаковы по частоте) и как бы дают определенную окраску звуку.

Тембр звука определяет сложность, состав звука. Так, звуки, создаваемые музыкальными инструментами, сложные звуки. Музыкальные тона (звуки, характеризующиеся периодическим законом и имеющие одну и ту же высоту и громкость) могут в ряде случаев различаться на слух на основании особого качества — тембра (оттенка) звука. Тембр звука характеризует качество звука; оно обусловлено наложением обертонов на основной тон и зависит от звукового спектра.

Второй отличительный признак звуков — сила звука, или, как чаще называют, интенсивность звука. Звуковая волна несет с собой определенную энергию в направлении своего движения. Мы слышим звук за счет энергии источника звуковых колебаний, переносимой звуковыми волнами. Доходящие до нас изменения давления воздействуют на барабанную перепонку уха. Чем больше величина этих изменений, тем громче звук.

Силой, или интенсивностью, звука называют величину, определяемую энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени в направлении распространения звука через единицу площади, перпендикулярную этому

направлению. Интенсивности звука соответствует ощущение громкости. Громкость звука — один из элементов слухового восприятия, который изменяется в определенном соответствии с силой звука. Понятия громкость и сила звука — не равнозначны. Сила звука — физическая величина и зависит от амплитуды звуковых колебаний. При

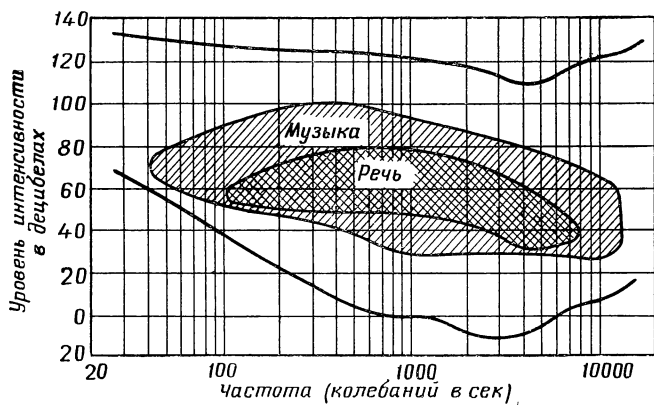


Рис. 2. Диаграмма восприятия звуков человеческим ухом

этом звук одинаковой силы может создать у различных людей не совсем одинаковые по своей громкости слуховые восприятия. Кроме того, звуки одинаковой силы, но различающиеся по высоте воспринимаются ухом с разной громкостью.

На рис. 2 изображена диаграмма восприятия звуков человеческим ухом. Нижняя кривая соответствует порогу слышимости, а верхняя кривая — порогу болевого ощущения. Человеческое ухо очень чувствительно к различным звукам и может уловить более полумиллиона звуков, отличающихся один от другого по тону и громкости, не считая различий по тембру.

Распространение звука. Звуковые волны могут распространяться в воздухе, газах, жидкостях и твердых телах. В безвоздушном пространстве они распространяться не могут. Чтобы убедиться в этом, можно провести простой опыт. Если электрический звонок подвесить под воздухонепроницаемый колпак и откачать воздух, то звук звонка не будет слышен. Но как только

колпак будет наполнен воздухом, газом или водой, звук возникнет (рис. 3).

Колебательное движение от частицы к частице передается с определенной скоростью, которая зависит от упругих и инерционных свойств среды. Скорость распро-

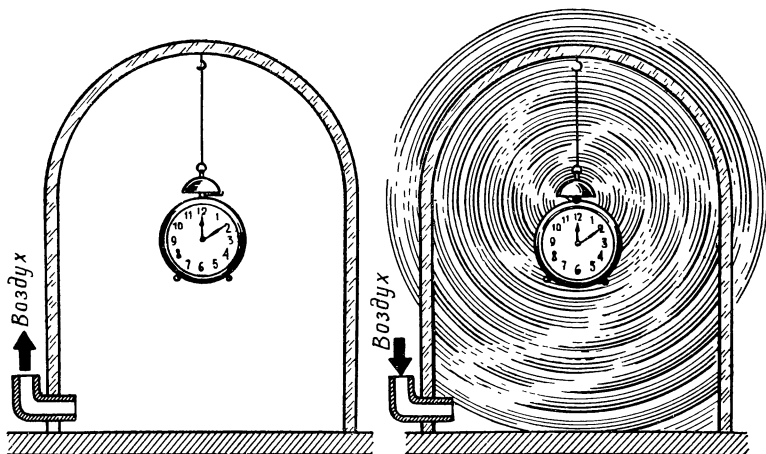


Рис. 3. В безвоздушном пространстве звуковые волны не распространяются

странения звука неодинакова для различных сред. Так, скорость распространения звука в каучуке 50 метров в секунду, в воздухе — 330, в воде — 1450, а в стали — 5050. Чем больше упругость среды, тем больше скорость распространения звука (рис. 4). Если бы мы, находясь в Москве, могли крикнуть так громко, чтобы звук долетел до Ленинграда, то нас услышали бы там только через полчаса, а если бы звук распространялся в стали, то он был бы принят через 2 минуты.

За барьером слышимости. Как уже упоминалось, к неслышимым звукам относятся инфразвуки и ультразвуки.

Инфразвуки имеют частоту 16 герц и ниже, т. е. практически до нуля герц. На первый взгляд — это небольшой участок частотной шкалы. Однако на самом деле он очень велик, так как колебания могут быть один герц, одна десятая, сотая, тысячная, миллионная часть герца и т. д. Этот диапазон еще мало изучен.

Инфразвуки непрерывно проносятся в пространстве, но никто их не слышит. Для того чтобы их зарегистрировать, нужны специальные приборы. А возникают инфразвуковые колебания в самых различных условиях. При обдувании ветром зданий, деревьев, телеграфных столбов, металлических ферм будут возникать инфразвуки.

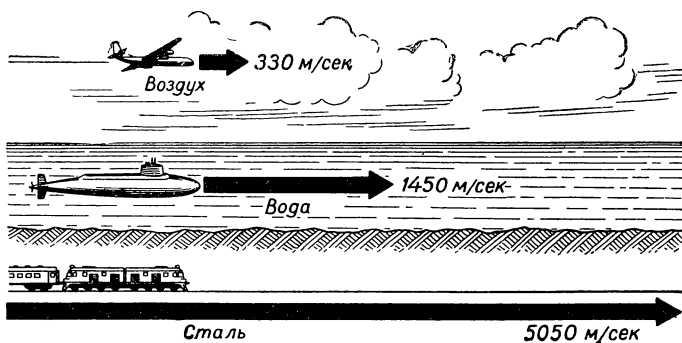


Рис. 4. Чем больше упругость среды, тем больше скорость распространения звука

Даже ходьба человека и животных, открывающиеся и захлопывающиеся двери, развевающиеся флаги, колышущаяся трава, потоки ручьев, водопады и многие другие явления порождают природные инфразвуки. Любое движение производит в той или иной степени инфразвуковые колебания, при этом длина волны будет зависеть от соотношения скорости потока среды и размеров объектов.

Что, если бы человек мог воспринимать инфразвуковые колебания? Это было бы большим несчастьем, ибо он вынужден бы был слушать звуки уличных сооружений, легкие порывы ветра, полет птиц, размахивание своих рук и рук других людей, находящихся на некотором расстоянии, и много других звуков. Все это мешало бы слушать основные звуки.

Однако некоторые инфразвуки воспринимаются человеком и отдельными животными не органами слуха, а в целом организмом. Способность людей и животных в большей или меньшей степени воспринимать инфразвуки была замечена давно, но научное обоснование этому ученые дали совсем недавно.

Американский ученый Р. Вуд проделал интересный опыт в одном из театров. С помощью специального инструмента он создал очень низкий звук (инфразвук), не слышимый человеческим ухом. И произошло нечто странное. Под воздействием этого неслышимого звука многих зрителей охватили беспокойство и тоска.

Советские ученые провели ряд наблюдений за больными на берегу Черного моря и сделали вывод, что при надвигающемся шторме или урагане издалека приходят инфразвуковые волны, которые и действуют на большого человека. Эти волны воспринимаются и некоторыми животными. Медузы, например, перед штормом устремляются дальше от берега в открытое море, а ракообразные живые организмы прячутся в песок подальше от воды, чтобы не погибнуть от ударов волн.

Каким же образом возникают инфразвуки за много тысяч километров в морях и океанах? Ученые провели много наблюдений, опытов и разгадали таинственную загадку. Где-то далеко в океане или море при взаимодействии сильного ветра и морских волн возникают мощные инфразвуковые волны, которые распространяются со скоростью звука. Они бегут по морским волнам, усиливаясь. Вот эти инфразвуковые волны — предшественники изменений атмосферного давления — и могут служить ранним предвестником циклона.

Известный советский ученый В. В. Шулейкин в 1932 г. обнаружил это явление и назвал его голосом моря. Исследователь при первых наблюдениях воспользовался простым прибором — обычным шаром-пилотом, широко применяющимся в метеорологии. Позже были использованы более совершенные приборы. Так, например, в качестве приемника использовали резонатор Гельмгольца. Для этого в узкое горлышко латунной закрытой трубы помещали преобразователь инфразвуковых колебаний в электрический ток.

Приемники для регистрации инфразвуковых волн устанавливаются не только на береговых станциях, но и на кораблях. Если далеко в океане или море возникает шторм, то инфразвуковые волны, намного опередив его движение, будут приняты береговыми постами или кораблями. Это позволит своевременно оповестить моряков и жителей прибрежных районов об опасности. Инфразвуковые приемники предупреждают не только о шторме

ме, но и о более грозной опасности — цунами, что в переводе с японского означает грозная, большая волна. Цунами возникает обычно при подводных землетрясениях, в результате чего волны 10—15-метровой высоты обрушиваются на берег.

На Дальнем Востоке существует служба цунами. Так, например, в 1964 г., когда юг Аляски был подвергнут землетрясению, сахалинская служба цунами дважды объявляла для Курильских островов состояние тревоги. Первое предупреждение о возможном появлении гигантских морских волн было передано на острова через 10 минут после того, как Южно-Сахалинская сейсмическая станция зарегистрировала сильные подземные толчки и установила, что эпицентр землетрясения находится в районе Аляски.

Ультразвуки тоже не воспринимаются ухом человека. Определенной границы или барьера между слышимыми звуками и ультразвуками нет. Эта граница установлена весьма условно. Принято считать, что звуки с частотой 20 000 герц и более относятся к области ультразвука. В то же время установлено, что дети, например, воспринимают звуки с частотой до 22 000 герц, а старые люди — не более 16 000 герц. Частотная шкала ультразвука имеет свой предел, за которым начинается область гиперзвуков, или, как ее иногда называют, ультра-ультразвуков. Это звуки, частота которых выше 10^8 герц.

Многие животные и насекомые воспринимают ультразвуковые колебания. Но есть и такие животные, которые излучают ультразвук и пользуются им. Существование этих животных без ультразвука было бы немислимым, ибо он им заменяет зрение.

Интересная загадка природы — летучая мышь. Она свободно ориентируется в полной темноте, не натываясь на препятствия. Летучая мышь на лету обнаруживает и ловит маленьких насекомых, не видя их. Имея небольшой рот, она издает направленные ультразвуковые посылки, которые, отражаясь от предметов, принимаются как эхо.

Не меньший интерес представляют подводные обитатели. Щелканье бесчисленного количества раков-альфасов, хрюканье и бормотание дельфинов, крики китов и

множество других звуков обитателей морей и океанов, доступных уху человека, даже не вооруженного специальной аппаратурой, не дают никаких оснований говорить о морских и океанских глубинах как о царстве тишины и безмолвия. Среди обитателей подводных просторов наибольший интерес со звуковой точки зрения представляют собой дельфины. У них хорошо развит голосовой и слуховой аппарат. Это позволяет им издавать и воспринимать звуки в широком диапазоне частот от нескольких сотен герц до нескольких десятков тысяч герц. Именно поэтому дельфины то визжат или свистят, то хрюкают или щелкают, а также издают лающие, скрипящие и даже дребезжащие звуки.

Из проведенных опытов с дельфинами выяснилось, что звук, подобный скрипу двери, имеет сходство с сигналом гидролокатора. Дельфин посылает звуковые сигналы, затем принимает отраженное эхо и так обнаруживает различные предметы, особенно рыбу в мутной воде или ночью. У дельфинов совершенная акустическая система. Они обладают недостижимой еще для приборов, созданных человеком, эффективностью эхолокации. Дельфин лоцирует дробинку, упавшую в воду на расстоянии 15 метров от него.

Известный английский исследователь Дж. Лили много лет наблюдал за дельфинами. В книге «Человек и дельфин» он привел ряд интересных случаев из их жизни. Вот один из них. Однажды раненый дельфин, выпущенный в бассейн, издал очень короткий, пронзительный, высокий свист, состоящий из двух фаз — возрастающей и убывающей по высоте. Это был сигнал бедствия. Два других дельфина быстро подплыли к дельфину, подавшему этот сигнал, и, нырнув под него, вытолкнули его на поверхность, так, чтобы он мог дышать. Затем между тремя животными произошел быстрый обмен звуками, напоминая щебетание и свист. Эти наблюдения привели к выводу, что дельфины не только пользуются эхолокацией, но и переговариваются между собой.

Летучие мыши, дельфины и другие животные (использующие ультразвук) привлекают внимание человека. Изучение таких животных может помочь решить многие технические проблемы, возникающие при конструировании ультразвуковых приборов. Этим занимается новая отрасль кибернетики — бионика.

Более ста лет прошло с того времени, когда наука открыла удивительное по своим свойствам физическое явление — ультразвук. С тех пор он завладел умами многих ученых и инженеров.

Нашего современника нелегко чем-нибудь удивить. Но давайте задумаемся в слова: работает ультразвук. Нет, это не оговорка. Ультразвук действительно стал незаменимым тружеником во многих отраслях науки и техники, и прежде всего в военном деле.

2. КАК ПОЛУЧИТЬ УЛЬТРАЗВУК

Для того чтобы использовать ультразвук, необходимо иметь устройства, вырабатывающие, излучающие и принимающие ультразвуковые колебания. К таким устройствам относятся ультразвуковые генераторы и ультразвуковые преобразователи (пьезоэлектрические и магнито-стрикционные). Генераторы и преобразователи — важнейшие элементы гидроакустических станций, эхолотов и других ультразвуковых устройств, применяющихся в военном деле и народном хозяйстве.

Пьезоэлектрические преобразователи. Человечеству давно известны электрические свойства некоторых веществ. Французские ученые братья Пьер и Жак Кюри в 1880 г. открыли явление пьезоэлектричества. Впервые пьезоэлектрические свойства были обнаружены у кристаллов кварца; одна из разновидностей его — горный хрусталь. Это прозрачные и бесцветные, похожие на лед, кристаллы. Помимо горного хрусталя кварц встречается почти в двухстах разновидностях. Одна десятая часть земной коры приходится на различные виды кварца. Даже обыкновенный песок состоит главным образом из кварцевых зерен. Кварц широко применяется в науке и технике. Он устойчив почти ко всем кислотам и плохо проводит электрический ток. Но самое замечательное его свойство — пьезоэлектрическое. Оно и легло в основу создания источника ультразвуковых колебаний.

В чем же физический смысл пьезоэлектричества? В его основе лежит явление поляризации диэлектриков. Под действием электрического поля внутри вещества возникают электрические диполи. Это частицы вещества с двумя разноименными зарядами, находящимися один от

другого на некотором расстоянии. Электрический диполь можно сравнить с маленьким заряженным конденсатором с разноименными полюсами. В природе существуют естественные диэлектрики, имеющие дипольную структуру и без воздействия электрического поля. Это пьезокристаллы.

Кристалл кварца имеет вид правильной шестигранной призмы и оканчивается шестигранными пирамидами. У него три электрические и механические оси и одна оптическая.

Если пластинку (рис. 5, *а*), вырезанную из кристалла кварца так, чтобы ее поверхность была перпендикулярна одной из электрических осей, сжимать и разжимать, то на ее гранях возникнут электрические заряды, противоположные по знаку (рис. 5, *б*). Чем сильнее сжимать пластинку, тем больше будет возникший заряд. Возникновение электрических зарядов на гранях кварцевой пластинки при ее деформации получило название прямого пьезоэлектрического эффекта.

И наоборот, если к кварцевой пластинке подвести электрический заряд, то она изменит свои размеры. Чем больше заряд, тем больше деформация пластинки. При изменении знака приложенного напряжения кварцевая пластинка то сжимается, то разжимается. Иными словами, она колеблется в такт с изменением знаков приложенного напряжения. Если приложенное напряжение изменять с ультразвуковой частотой, то пластинка колеблется тоже с такой же частотой. Изменение размеров пластинки кварца под действием электрических зарядов называется обратным пьезоэлектрическим эффектом.

Прямой пьезоэлектрический эффект используют в приемниках ультразвуковых колебаний для их преобразования в переменный ток. Но в таком приемнике, если к нему приложить переменное напряжение, в полной

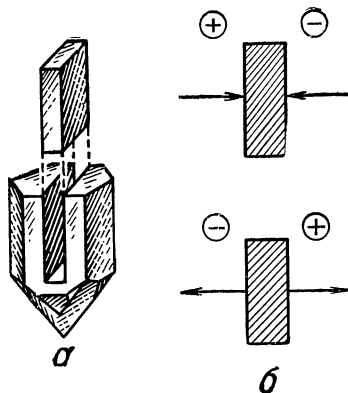


Рис. 5. Пьезоэлектрический эффект:

а — пластинка, вырезанная из кристалла кварца; *б* — при деформации пластинки на ее гранях возникают электрические заряды

мере обнаруживается и обратный пьезоэффект. Он в излучателях преобразует переменный ток в ультразвук. Пьезоэлектрический излучатель и приемник могут быть в виде одного прибора, им можно поочередно излучать и принимать ультразвуковые колебания. Такой прибор называют ультразвуковым преобразователем.

Кварц долгое время был одним из основных материалов для изготовления ультразвуковых преобразователей. Он очень устойчив к высоким температурам, плавится при 1470° , а теряет пьезоэлектрические свойства при 570° . Но кварц не выдерживает больших механических нагрузок, так как очень хрупок. В природе чаще встречаются кварцы сравнительно небольших размеров. Излучатель, сделанный из маленькой кварцевой пластинки, имеет небольшую мощность. Чтобы повысить мощность излучателя, маленькие пластинки кварца составляют в виде мозаики, увеличивая этим площадь излучающей поверхности. Кварцы можно выращивать искусственно в лаборатории. Но они растут медленно и дороги в производстве.

Ученые предложили другой кристалл — сегнетову соль. Ее кристаллы легко выращиваются искусственным путем и легко обрабатываются. Сегнетова соль по сравнению с другими пьезокристаллами, в том числе и кварцем, обладает значительно большим пьезоэлектрическим эффектом. Самое ничтожное механическое воздействие на пластинку сегнетовой соли приводит к появлению электрических зарядов.

Однако сегнетовой соли свойственны и серьезные недостатки, они ограничивают ее практическое применение. Это в первую очередь низкая температура плавления (около 60°), при которой сегнетова соль теряет пьезоэлектрические свойства и уже больше не восстанавливает их. Сегнетова соль растворяется в воде и, следовательно, боится влаги.

Серьезные исследования по изысканию новых пьезоэлектрических материалов проводились во время второй мировой войны. Они были вызваны «кварцевым голодом», возникшим вследствие широкого использования пьезокварца в гидроакустических приборах и в военной радиоэлектронике (стабилизация частоты, электромеханические фильтры и т. п.). Так, во время второй мировой войны для изготовления пьезоэлектрических преобразо-

вателей широко применялись кристаллы дигидрофосфата аммония. Этот материал очень стабилен по физическим параметрам, имеет высокий коэффициент электро-механической связи, позволяет работать с большими мощностями и в широком диапазоне частот.

Из новых пьезоэлектрических веществ долгое время применялись фосфат аммония, сульфат лития и дигидрофосфат калия. В гидроакустических преобразователях эти материалы применялись в виде мозаичных пакетов (как и в конструкциях из сегнетовой соли).

Всем пьезокристаллам присущ один общий недостаток — малая механическая прочность.

Ученые долгое время искали заменитель пьезокристаллам, который был бы близок к ним по пьезоэлектрическим свойствам и не имел бы их недостатков. И такой заменитель был найден. Сделали это советские ученые под руководством члена-корреспондента Академии наук СССР Б. М. Вула. Титанат бария — так называется это вещество, наделенное удивительными и ценными свойствами. Титанат бария не монокристалл и не обладает пьезоэлектрическими свойствами. В недрах земли он встречается очень редко, и поэтому его получают искусственным путем. Смесь двух минеральных веществ — углекислого бария и двуокиси титаната — обжигают при очень высокой температуре. Получается желтовато-белая масса, которая по своему виду и механическим свойствам напоминает обыкновенную глину. Этой массе, как и глине, можно придать любую форму и размер. Как и всякое керамическое изделие, оно будет механически прочным и нерастворимым в воде.

А как же придать этой керамике пьезоэлектрические свойства? Для этого обожженную массу помещают в сильное электрическое поле, а затем охлаждают. Под воздействием электрического поля происходит поляризация кристалликов титаната бария, их диполи занимают одинаковое положение, а после охлаждения как бы «замораживаются» в этом положении. Пьезокерамика обладает замечательными свойствами. Пьезоэлектрический эффект у титаната бария в 50 раз больше, чем у кварца, а стоимость его в 100 раз меньше. Немаловажно и то, что для изготовления преобразователей из титаната бария имеется неограниченное количество сырья.

Практически пьезоэлектрические преобразователи выполняются в виде плоских, сферических и цилиндрических конструкций.

Пьезоэлектрические преобразователи с успехом используются в различного рода электроакустических системах, а также в гидроакустических станциях военного назначения. Большое будущее пьезоэлектрическим приборам принадлежит при освоении космоса, и в частности при подготовке к полету человека на другие планеты. Чтобы отправиться в межпланетное путешествие, нужно иметь точные данные о метеорной опасности. Эту задачу и выполняют пьезоэлектрические приборы, регистрирующие появление даже микроскопических метеоров. Эти данные они передают при помощи телеметрической аппаратуры на наземные станции.

Магнитострикционные преобразователи. В 1847 г. ученые заметили, что ферромагнитные материалы, помещенные в магнитное поле, изменяют свои размеры. Это явление называется магнитострикцией или магнитострикционным эффектом. Если стержень из ферромагнитного материала, на который наложена обмотка, сжимать и растягивать, то его магнитные свойства будут изменяться, а в обмотке возникнет переменный ток (рис. 6, а). И наоборот, если по обмотке пропускать переменный ток, то под воздействием изменяющегося магнитного поля стержень будет деформироваться (удлиниться и укорачиваться), передавая колебания среде (рис. 6, б).

Для изготовления магнитострикционных излучателей применяют никель, нержавеющей сталь, пермаллой, пермендюр и др. В сплошных образцах бывают потери на вихревые токи (токи Фуко) и гистерезис. Поэтому чаще всего магнитострикционные преобразователи делают из тонких листов, склеенных между собой. Толщина пластин обычно выбирается 0,1—0,3 мм. На сердечник, собранный из тонких листов, накладывается обмотка. Магнитострикционные сердечники могут быть изготовлены и из ферритов, в которых электрические потери на вихревые токи ничтожно малы. Но ввиду недостаточной механической прочности их применение ограничено.

При пропускании переменного тока по обмотке излучателя его стержень будет деформироваться с удвоенной частотой. Полярность магнитного поля при этом изме-

няется, но деформация сердечника будет одинаковой при обоих направлениях магнитного поля. Никелевые сердечники в отличие от железных в магнитном поле укорачиваются. Чтобы частота колебаний излучателя была равна частоте возбуждающего тока, в обмотку излучателя подводят постоянное напряжение, называемое напряжением поляризации. Излучатель, работающий на таком принципе, называется поляризованным. При поляризации излучателя увеличивается амплитуда переменной магнитной индукции, что приводит к увеличению деформации сердечника излучателя.

В США проводятся исследования по повышению эффективности магнитострикционных преобразователей. Одной из фирм разработан магнитострикционный преобразователь с малыми потерями.

В нем активный материал ванадий-пермендюр — железокобальтовый сплав с небольшим содержанием ванадия. Такой преобразователь — это лента из пермендюра, свернутая в виде цилиндра, с изолирующей прокладкой. В новом преобразователе возбуждается весь магнитострикционный материал. В обычном преобразователе возбуждается не более 70% материала.

Каковы преимущества магнитострикционных преобразователей перед пьезоэлектрическими? Прежде всего в их больших величинах относительных деформаций и механической прочности. Они менее чувствительны к температурным воздействиям, имеют небольшие значения полного электрического сопротивления. Для получения большой мощности не требуют высоких напряжений.

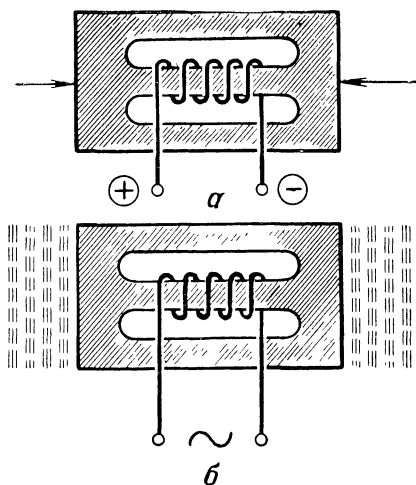


Рис. 6. Магнитострикционный эффект: *а* — при деформации магнитострикционного стержня в обмотке возникнет ток; *б* — при пропускании тока по обмотке магнитострикционный стержень будет изменять свои размеры

Из-за этих преимуществ магнитострикционные преобразователи находят широкое применение в военных гидроакустических станциях.

Пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи значительно различаются по принципу действия и конструктивному выполнению. Однако они взаимно дополняют друг друга и применяются в приборах и устройствах, связанных с использованием ультразвука. Пьезоэлектрические преобразователи используются в тех случаях, когда необходимо получить и принять ультразвуковые колебания сравнительно больших частот (более 100 килогерц). В отличие от пьезоэлектрических преобразователей, работающих на больших частотах, магнитострикционные преобразователи применяются для работы при сравнительно небольших частотах. Это объясняется тем, что стержень магнитострикционного преобразователя трудно изготовить таких размеров, которые соответствовали бы большой резонансной частоте собственных колебаний.

По сообщениям зарубежной печати, наряду с усовершенствованием пьезоэлектрических и магнитострикционных преобразователей разрабатываются мощные преобразователи, основанные на новых принципах: взрывные источники, звуковые газовые камеры, искровые разрядники, пневматические, гидравлические и ударные излучатели. Новые акустические преобразователи находят применение в специальной гидроакустической аппаратуре. Некоторые новые образцы акустических преобразователей разрабатываются для использования в гидролокаторах военного назначения.

Ультразвуковые генераторы. Для питания ультразвуковых преобразователей служат специальные устройства — ультразвуковые генераторы. Они подразделяются на машинные и ламповые. В большинстве случаев для возбуждения механических колебаний ультразвуковой частоты в преобразователях применяются ламповые генераторы. Особенность их в том, что они позволяют изменять частоту в широких пределах, имеют большой (по сравнению с машинными) коэффициент полезного действия и могут быть выполнены в широком диапазоне мощностей — от нескольких десятков ватт до десятков киловатт.

Генератор может быть выполнен по однокаскадной

или многокаскадной схеме. В однокаскадном генераторе применяются одна или две генераторные лампы, включенные по двухтактной схеме. Такой генератор работает в режиме самовозбуждения. В многокаскадном генераторе первый каскад — задающий генератор, второй — промежуточный или разделительный, третий — выходной или оконечный. Задающий генератор вырабатывает колебания определенной частоты малой мощности. Промежуточный каскад повышает мощность генерируемых колебаний до уровня, необходимого для возбуждения выходного каскада. Одновременно с этим промежуточный каскад предохраняет задающий от влияния нагрузки на режим генератора. Выходной каскад предназначен для усиления ультразвуковых колебаний до мощности, необходимой для работы преобразователя. Многокаскадный генератор работает в режиме с независимым возбуждением. Такие генераторы легко поддаются плавной регулировке и обладают высокой стабильностью по частоте.

Имеются ультразвуковые генераторы различных мощностей и размеров. Мощность, размеры и частота генератора выбираются в зависимости от его назначения. Например, в ультразвуковых установках, предназначенных для механической обработки твердых сплавов и очистки деталей, нужны генераторы большой мощности (до 20 киловатт), а для установок ультразвуковой физиотерапии — генераторы сравнительно небольшой мощности (10—20 ватт). Для обеспечения работы военных гидролокационных станций и эхолотов применяют специальные ультразвуковые генераторы.

3. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Много лет назад. Шла первая мировая война. 22 сентября 1914 г. три английских крейсера находились в дозоре в Северном море. Внезапно у борта одного из крейсеров произошел мощный взрыв, и корабль начал тонуть. Два других крейсера поспешили на помощь, но один из них вскоре разделил участь первого. Третьему пришлось спасать команды с двух крейсеров, но вскоре и он пошел ко дну от такого же таинственного взрыва большой силы. Море было спокойно, только обломки

погибших кораблей да кое-где головы боровшихся за жизнь людей были видны на поверхности. Не сделав ни одного выстрела, крейсера затонули, а вместе с ними 1135 человек. Английские крейсера были торпедированы маленькой немецкой подводной лодкой из подводного положения на перископной глубине.

Начались лихорадочные поиски средств борьбы с подводными лодками. Основной проблемой было обнаружение подводной лодки в подводном положении. И такое средство нашлось. Если подводную лодку нельзя видеть в подводном положении, то ее можно услышать, так как на ней работают механизмы, гребные винты. Начали применять приборы, определяющие направления на подводные шумящие предметы, которые стали называться шумопеленгаторами. Стала развиваться наука о законах распространения звука в воде, называемая гидроакустикой («гидро» — вода, «акустико» — слышу).

Проходило время, а методы прослушивания подводных звуков оставались примитивными. Появившиеся в первую мировую войну гидрофоны не решили вопроса об уверенном обнаружении подводных лодок. Во многих странах продолжались настойчивые поиски новых средств обнаружения подводных лодок.

В Петербурге на судостроительном заводе был изготовлен прибор «для акустического телеграфирования» через воду. Передающим устройством служила подводная сирена, а приемником сигналов — угольный микрофон. Передача и прием сигналов производились по азбуке Морзе. Две такие станции были успешно испытаны на кораблях Черноморского флота. Несколько позже на этом же заводе было разработано более совершенное передающее устройство мембранного типа.

Русский инженер К. В. Шиловский предложил прибор для предотвращения столкновения с плавающими льдинами и айсбергами. Работа прибора основана на принципе эхолокации, т. е. приема отраженных от предметов эхо-сигналов. Впоследствии этот прибор послужил прототипом первого гидролокатора.

Опытами Шиловского заинтересовалось французское морское ведомство, так как неуязвимые немецкие подводные лодки каждый день отправляли на дно десятки торговых судов союзников. По приезду в Париж Шиловский начал исследования в области распространения зву-

ка в воде. Несколько позже к работе Шиловского присоединился французский физик Поль Ланжевен. Их сотрудничество быстро привело к успеху. Проведенные в Средиземном море испытания показали, что прибор обнаруживает подводную лодку на расстоянии двух километров.

Так был изобретен первый гидролокатор, но совершенствование его продолжалось. Гидроакустике стали придавать все большее значение. К началу второй мировой войны на кораблях стали устанавливать гидролокаторы. Они позволяли не только обнаруживать подводную лодку, но и определять до нее расстояние.

В свою очередь подводные лодки, оснащенные гидроакустическими станциями, получили «чуткие уши» и «зоркие глаза». Атаки, уклонения, поиск, маневр — все действия подводных лодок и их противника (охотников за подводными лодками) стали зависеть от гидроакустических приборов, обслуживаемых военно-морскими специалистами — гидроакустиками. От умелого действия гидроакустиков во многом зависит успех боя. Гидроакустик первый обнаруживает противника, по его данным командир корабля принимает решение в бою.

В Великую Отечественную войну советские моряки-гидроакустики проявили смекалку, находчивость и героизм. Осенью 1943 г. на Северном флоте эскадренные миноносцы сопровождали конвой из Белого моря к Новой Земле. Погода была очень неблагоприятной: большое волнение моря и сильный ветер. Шли шестые сутки перехода и борьбы со стихией. Бессонные ночи, холод, усталость не сломили советских моряков, они готовы были каждую секунду вступить в бой с опасным противником — немецкими подводными лодками. На шестые сутки гидроакустик одного из эскадренных миноносцев охранения обнаружил подводную лодку. Сыграли боевую тревогу, изготовились к бою, началась атака. Тем временем охраняемые корабли конвоя отвернули от опасного района. Первая атака, за ней вторая, третья — и подводная лодка противника уничтожена.

Конец шестых суток застал конвой в нескольких милях от места назначения. Но вдруг доклад гидроакустика: «Прямо по носу — мины!» Конвой меняет курс. Вторая катастрофа предотвращена.

А вот еще один из боевых эпизодов советских подводников. Это случилось в июле 1942 г. Эскадра гитлеровских кораблей в составе новейшего линкора «Тирпиц», крейсера «Адмирал Шеер» и восьми миноносцев вышла в море для нападения на крупный конвой судов, шедший с ценными для Советского Союза грузами.

На перехват фашистской эскадре были посланы несколько наших подводных лодок и среди них крейсерская подводная лодка «К-21» под командованием капитана 2 ранга Н. А. Лунина.

Шесть суток находилась в море подводная лодка, разыскивая корабли врага. 5 июля в 16 часов 30 минут гидроакустик услышал в наушниках шумы корабельных винтов. Это была вражеская эскадра. Лодка пошла в подводном положении навстречу фашистским кораблям и заняла позицию для стрельбы между линкором и крейсером. Лунин решил атаковать линкор «Тирпиц». Атака этого гиганта (водоизмещение 45 000 тонн) была заветной мечтой каждого североморского подводника. Смелым маневром Лунин развернул подводную лодку на боевой курс и дал залп четырьмя торпедами. Спустя 2 минуты 14 секунд подводники услышали два взрыва, а через несколько секунд еще один, более мощный, чем первый.

План гитлеровского командования был сорван, немецкие корабли возвратились в базу, «Тирпиц» был выведен из строя, а один эскадренный миноносец потоплен.

Родина достойно оценила подвиг отважного экипажа крейсерской подводной лодки «К-21» — он стал краснознаменным. Офицеры, старшины и матросы, участвовавшие в походе, были награждены боевыми орденами и медалями, а грудь их командира Н. А. Лунина украсила Золотая Звезда Героя Советского Союза.

Так советские моряки, умело используя гидроакустические приборы, принимали непосредственное участие в уничтожении кораблей, транспортов и подводных лодок противника.

Особенности распространения звука в море. Успешное использование гидроакустических станций во многом зависит от состояния среды, где распространяются звуковые и ультразвуковые колебания.

Распространение звука в воде характеризуется следующими основными понятиями: скоростью распространения, отражением и преломлением, дальностью распро-

странения, направленностью, реверберацией, эффектом Допплера.

Скорость звука. Впервые скорость распространения звука в воде была измерена в 1827 г. Она оказалась в четыре с лишним раза больше скорости звука в воздухе, т. е. 1450 метров в секунду.

Скорость распространения звука в воде зависит от температуры, солености и глубины. С повышением температуры и солености воды, а также с увеличением глубины она возрастает. Изменение скорости распространения звука в воде влияет на дальность действия гидроакустических станций.

Отражение и преломление звука. Звуковые волны, встречая на своем пути препятствие или поверхность раздела двух сред, отражаются, причем угол отражения равен углу падения. Например, звуковые волны, идущие из воздуха, почти полностью отразятся от поверхности воды вверх, а звуковые волны, распространяющиеся в море, отразятся от поверхности воды вниз, а от дна — вверх. Количество отраженной и проникающей в другую среду звуковой энергии зависит от физических свойств среды. Чем больше различия в акустическом сопротивлении двух сред, тем больше энергии отразится и меньше преломится. Например, акустическое сопротивление воздуха примерно в 4000 раз меньше акустического сопротивления воды, поэтому звуковая энергия из воды в воздух и наоборот почти не проникает. Сила отраженного звука зависит от многих факторов: интенсивности прямой волны, интенсивности падающей на препятствие волны, ослабления, которое испытывает отраженная волна на пути между препятствием и точкой приема, а также от размеров и формы препятствия.

Звуковой луч, проникая из одной среды в другую, преломляется. Между углом падения и углом преломления существует такая зависимость. Если звуковой луч проникает из одной среды в другую, в которой скорость распространения звука больше, чем в этой среде, то угол преломления будет больше угла падения (рис. 7, а). Если же звуковой луч переходит из среды с большей скоростью распространения звука в среду с меньшей скоростью распространения звука, то угол преломления будет меньше угла падения (рис. 7, б).

Зависимость величины преломления звуковых лучей от температуры воды приводит к тому, что угол преломления изменяется в зависимости от времени года. Летом верхние слои моря нагреваются больше и поэтому звуковые лучи изгибаются вниз (рис. 8, а), а зимой верхние

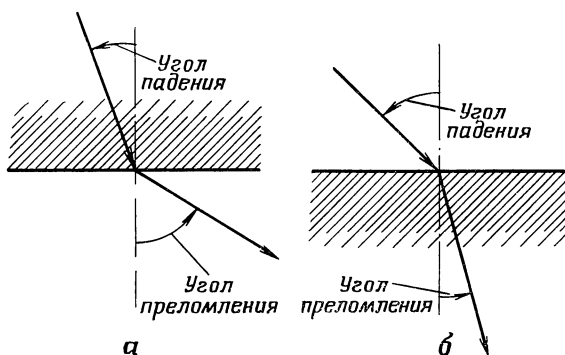


Рис. 7. Преломление звуковых лучей:

а — при переходе в среду с большей скоростью распространения звука, б — при переходе в среду с меньшей скоростью распространения звука

слои моря холоднее нижних и звуковые лучи изгибаются вверх (рис. 8, б). Искривление звуковых лучей, проходящих через слои с различными скоростями звука, называется рефракцией. Рефракция существенно влияет на дальность распространения звука в море, а следовательно, от величины рефракции зависит дальность действия гидроакустических приборов.

Дальность распространения звука. Дальность распространения звука в море зависит прежде всего от того, как сильно уменьшается интенсивность звука с расстоянием. С увеличением расстояния от источника звука интенсивность звуковых колебаний уменьшается прежде всего за счет расширения фронта волны, а также за счет поглощения и рассеяния звуковой энергии. Неоднородность среды способствует поглощению и рассеянию звука. Это приводит к его затуханию, а следовательно, к уменьшению дальности распространения.

Поглощение звука в морской воде обуславливается наличием в ней различных солей. Под влиянием акусти-

ческой волны соль распадается на положительно и отрицательно заряженные частицы, в результате чего происходит необратимая потеря акустической энергии.

Рассеяние звука происходит за счет отражения звуковых волн от различных препятствий. При этом пре-

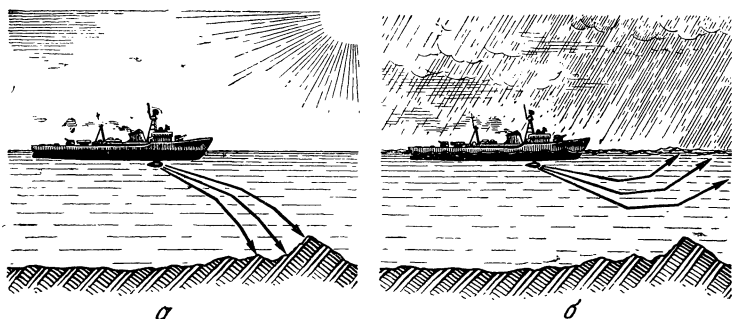


Рис. 8. Распространение звуковых лучей в море:
а — летом; б — зимой

пятствия как бы сами становятся излучателями. Рассеяние звуковых волн происходит не только при отражении их от больших препятствий, но и от маленьких частиц и пузырьков газа, содержащихся в воде.

Значительное влияние на дальность распространения звука оказывает рефракция — чем больше разнородность среды, тем больше искривляется звуковой луч и тем меньше дальность распространения звука. При этом количество неоднородностей в воде различно и зависит от времени года, а иногда даже от времени суток. Установлено, что зимой дальность распространения больше, чем летом. Это происходит потому, что условия среды, т. е. распределение температуры слоев, таковы, что звуковой луч не изгибается вниз ко дну, а, загибаясь вверх, распространяется вдоль поверхности. Замечено также, что летом после большого шторма дальность распространения звука увеличивается. Объясняется это тем, что слои воды с различной температурой перемешиваются и среда становится более однородной.

Дальность распространения звуковых волн в море определяется в каждом конкретном случае. Обычно она равна (в зависимости от мощности источника излу-

ния) десяткам или сотням километров. Но в море бывают случаи, когда звуковая энергия распространяется в десятки и сотни раз дальше, чем обычно. Это бывает при возникновении так называемого подводного звукового канала или если имеются вторичные, третичные и т. д. зоны акустической освещенности.

Явление распространения звуковой энергии в подводном звуковом канале объяснено советским ученым Л. М. Бреховских. Подводный звуковой канал возникает чаще всего в океане. Это область глубин, где скорость звука вначале уменьшается, а достигнув минимума, начинает возрастать.

Верхние и нижние границы звукового канала имеют глубину с равными скоростями звука. За ось канала принимается глубина с наименьшей скоростью распространения звука. Звук будет распространяться дальше, если его источник находится на оси подводного канала. Чем объясняется сверхдальнее распространение звука в канале? Звуковые лучи проходят большие расстояния, претерпевая полное внутреннее отражение от верхней и нижней границ звукового канала, не выходя за его пределы. При этом звук распространяется вдоль оси звукового канала.

Американские ученые проделали в Атлантическом океане следующий эксперимент. На глубине 500 метров взрывали 1,5-килограммовые заряды тринитротолуола. Звук в воде был принят на Бермудских островах, удаленных от места взрыва на 4500 километров. Если бы такой взрыв произошел в воздухе, то он был бы слышен только на 4 километра.

Специалистами США явление сверхдальнего распространения звука в подводном звуковом канале использовано для создания спасательной системы «Софар». С потерпевших бедствие кораблей или самолетов сбрасываются небольшие бомбочки весом от 0,5 до 2,5 килограмма, которые взрываются на глубине залегания оси звукового канала. Береговые станции системы принимают звуковой сигнал и определяют место взрыва с высокой точностью.

Направленность излучения. Одно из необходимых условий в работе гидроакустических станций — возможность направленного излучения ультразвуковой энергии. Направленность излучения позволяет повысить

дальность действия гидроакустических приборов, а самое главное — определить направление на обнаруженный подводный объект с необходимой точностью.

Направленность излучения ультразвуковой энергии достигается с помощью специальных акустических систем, в работе которых применяется известное физическое явление — интерференция волн. Оно возникнет, если два или несколько излучателей, расположенных в упругой среде, будут излучать колебания одинаковой частоты или колебания, частоты которых относятся как целые числа. При интерференции в одних направлениях из-за сложения волн излучение усилится, а в других направлениях излучения не будет (волны будут вычитаться).

Направленность излучения характеризуется диаграммой. При этом более полное представление о направленности излучения дает пространственная диаграмма, так как излучение ультразвуковой энергии происходит не только в горизонтальной плоскости, а и в вертикальной.

Реверберация моря. Морская среда неоднородна не только потому, что слои моря имеют различную соленость и температуру, но и по другим причинам. В морской воде много пузырьков воздуха и газа, а также мельчайших частиц во взвешенном состоянии. Летом температура воды повышается, поэтому количество пузырьков больше, чем зимой.

Звуковые волны, распространяясь в море, отражаются от пузырьков воздуха и газа, а также твердых частиц во взвешенном состоянии. Это при прослушивании в точке излучения после прекращения действия источника в течение некоторого времени вызывает непрерывное послезвучание, называемое реверберацией. Чем объясняется непрерывность звучания? Тем, что пузырьки и частицы находятся близко друг от друга и волны не отражаются от каждого пузырька в отдельности. Звуковые волны отражаются вначале от пузырьков, расположенных в непосредственной близости от излучателя. При дальнейшем распространении звуковой волны отраженные сигналы приходят от пузырьков, находящихся на все большем расстоянии. Естественно, что от пузырьков, находящихся на большем удалении, отраженные сигналы слабее, поэтому звучание реверберации постепенно замирает.

Реверберация в море значительно влияет на эффективность работы гидроакустических приборов. Она создает помеху при приеме отраженного сигнала. При этом, если уровень реверберации к моменту приема эхосигнала от предмета будет выше уровня эхосигнала, он не будет принят.

Различают три вида реверберации: объемную, поверхностную и донную. Объемная возникает в результате рассеяния звука пузырьками воздуха, газа и малыми взвешенными частицами. Поверхностная реверберация вызывается рассеянием звука приповерхностным слоем воды и волнистой поверхностью моря, а донная реверберация — рассеянием звука дном моря.

Эффект Доплера. Сущность эффекта состоит в том, что при сближении наблюдателя с источником звука тон его повышается, а при удалении наблюдателя от источника звука — понижается. Почему это происходит? Потому, что при сближении ухо наблюдателя воспринимает в единицу времени большее число звуковых волн, чем в том случае, если бы источник звука и наблюдатель были неподвижны относительно один другого. Чем больше скорость сближения с источником звука, тем изменение тона звука заметнее.

Эффект Доплера в гидроакустике играет очень важную роль. Звук, отраженный от какого-либо предмета, например от подводной лодки, будет иметь определенный тон. Такой же тон будет иметь отраженный звук от пузырьков воздуха в воде, т. е. тон реверберации. Но если предмет, от которого отражаются волны, будет сближаться с приемником, то тон отраженного звука (тон эха) будет повышаться, а тон реверберации останется прежним. На основании этого можно сделать очень важный вывод: если мы заметим, что тон эха от подводного предмета повышается по сравнению с тоном реверберации, значит, предмет перемещается в сторону сближения. Если тон эха понижается, следовательно, предмет идет на удаление. Если же тон эха не изменяется — предмет либо стоит на месте, либо перемещается перпендикулярно направлению от приемника на предмет.

Опытный гидроакустик может определить курс подводной лодки в подводном положении с точностью примерно до 30°. Для этого он при определении направления

движения подводной лодки использует эффект Доплера (рис 9).

Шумопеленгаторные станции. Не только подводные лодки опасны для надводных кораблей, но и подводным лодкам угрожает опасность быть атакованными надвод-

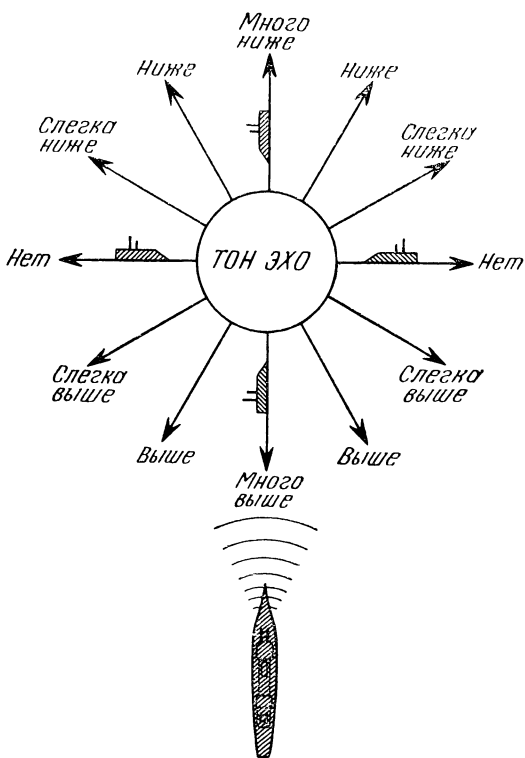


Рис. 9. Определение направления движения цели с помощью эффекта Доплера

ными кораблями, особенно противолодочными (охотниками за подводными лодками). Поэтому подводные лодки имеют гидроакустическую аппаратуру. Она позволяет им свободно ориентироваться в подводном положении, обнаруживать и выбирать цели, а при необходимости и уклоняться от преследования.

Известно, что в воде, как и в воздухе, существует бесчисленное количество звуков. Большею частью эти

звуки неорганизованные, природные шумы (шум перекачиваемой гальки, всплески волн, звуки косяков рыб и др.) и шумы создаваемые (шумы от винтов кораблей, подводных работ и др.).

Нас, конечно, больше интересуют шумы, создаваемые винтами кораблей. Можно ли отличить шумы винтов крейсера и эскадренного миноносца от шумов винтов транспорта или шумы эскадренного миноносца от шумов подводной лодки и т. д.? Да, можно, человеческое ухо способно различать шумы винтов различных классов кораблей. Более того, хорошо натренированный гидроакустик определит не только класс корабля, но и ориентировочно его скорость движения. У транспортов, особенно крупных, винты вращаются с небольшой скоростью. Число оборотов винтов можно сосчитать. У боевых кораблей, особенно таких, как эскадренные миноносцы, сторожевые корабли, торпедные катера и др., число оборотов винтов сосчитать трудно. В этом случае гидроакустик по интенсивности шума определяет примерную скорость корабля (полный, средний и малый ход).

Задача гидроакустика состоит в том, чтобы обнаружить шум, определить его характер, направление на шумящий объект и установить, в каком направлении объект перемещается. Гидроакустик обязан обеспечить командира подводной лодки всеми необходимыми данными для атаки. При этом подводная лодка должна находиться в подводном положении. Стоит ей только всплыть, как она сразу же будет обнаружена и атакована надводными кораблями.

Находясь даже в подводном положении, подводная лодка должна соблюдать максимальную скрытность. Ее приборы не должны работать на излучение, чтобы не демаскировать себя. Основным средством наблюдения и обеспечения атаки на подводной лодке служит шумопеленгаторная гидроакустическая станция. Она работает в пассивном режиме, т. е. не излучает в водную среду никакой энергии.

Шумопеленгаторная гидроакустическая станция предназначена для обнаружения источника акустических шумов в море и определения направления на него. С помощью шумопеленгатора можно прослушать характер шумов и классифицировать их. Так, шумопеленгатором можно обнаружить подводные лодки, надводные кораб-

ли и торпеды, определить направление на них, а также обеспечить командира подводной лодки необходимыми данными для атаки кораблей торпедами из подводного положения.

Основные элементы шумопеленгаторной станции (рис. 10) — акустическая антенна, компенсирующая си-

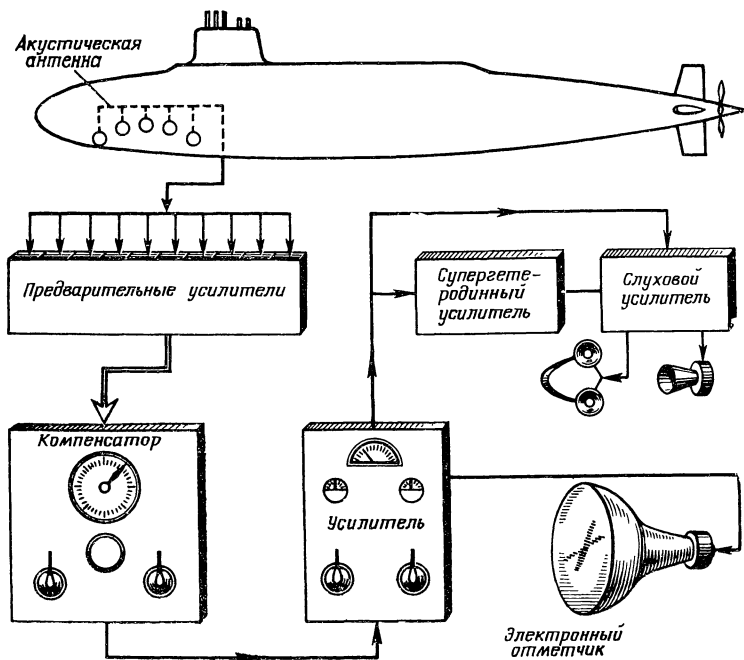


Рис. 10. Упрощенная блок-схема шумопеленгаторной станции

стема, усилительное устройство и индикаторные приборы.

Акустическая антенна состоит из большого количества пьезоэлектрических приемников, расположенных линейно или по кругу (эллипсу) обычно в носовой части подводной лодки. Приемники преобразуют акустические колебания шумящего объекта в электрические.

Каждый отдельный приемник не обладает направленностью, а несколько приемников, расположенных линейно по кругу или эллипсу, образуют базу. Чем больше приемников и больше база (расстояние между крайними

приемниками), тем больше направленность акустической антенны. При одинаковых размерах в плоскости пеленгования линейной и сплошной (по кругу или эллипсу) акустических антенн последняя обеспечивает более высокую дальность действия станции.

Применение линейной акустической антенны предусматривает наличие поворотного устройства для ее вращения. Более удобна и совершенна шумопеленгаторная станция с неподвижной акустической антенной. Характеристика ее направленности вращается искусственным путем с помощью электрического компенсатора.

Электрический компенсатор — это набор электрических задерживающих цепей. Они состоят из индуктивностей и емкостей, включенных параллельно. Подключая электрические задерживающие цепи к приемникам, к которым звук пришел раньше, мы добиваемся, чтобы к усилителю от всех приемников сигналы поступали одновременно, без сдвига фаз. Оператор, вращая штурвал компенсатора, добивается максимальной слышимости сигнала, при этом стрелка указателя пеленга покажет направление на шумящий объект.

Для объяснения работы компенсатора рассмотрим упрощенную акустическую антенну. Она состоит из двух приемников (левого и правого). Если к левому приемнику звук приходит раньше, чем к правому, преобразованные электрические сигналы с выходов приемников к усилителю поступят не одновременно, а со сдвигом фаз. Чтобы определить направление на источник звука, необходимо развернуть акустическую антенну так, чтобы звук приходил одновременно к обоим приемникам. Геометрическая ось акустической системы укажет направление на источник звука.

Направление на источник звука можно определить, не вращая акустическую антенну. Для этого нужно задержать сигнал от левого приемника, куда звук пришел раньше, т. е. уравнивать сигналы по фазе. Достигается это включением в цепь левого приемника задерживающих электрических цепей. Они как бы удлиняют путь сигнала левого приемника, и сигналы от обоих приемников к усилителю придут одновременно, т. е. в фазе.

Усилительное устройство состоит из предварительных усилителей, основного, супергетеродинного и слухового усилителей.

Предварительные усилители предназначены для первоначального усиления очень слабых электрических сигналов, возникающих в приемниках под воздействием акустических волн, приходящих от источника звука. Для каждого приемника предусмотрен свой предварительный усилитель, с выходов которого сигналы поступают на компенсатор.

Основной усилитель — это обычный усилитель на электронных лампах. Он служит для усиления сигналов, поступающих с выхода электрического компенсатора, до необходимого уровня.

Супергетеродинный усилитель предназначен для усиления сигналов при пеленговании на ультразвуковых частотах, т. е. на частотах, которые человеческое ухо не воспринимает. Супергетеродинный усилитель преобразует ультразвуковые сигналы в сигналы промежуточной частоты, а затем — в звуковые.

С выхода супергетеродинного усилителя преобразованные сигналы поступают на вход слухового усилителя и далее, как и при пеленговании звуковых сигналов. На ультразвуковых частотах точность пеленгования значительно выше, характеристика направленности будет более острой, чем при пеленговании на звуковых частотах.

Индикаторные приборы — телефоны и громкоговоритель — служат для прослушивания шумов звуковой частоты. Телефоны надевает на голову оператор гидроакустической станции, а громкоговоритель, как правило, устанавливается на командном пункте. При определении направления, т. е. при пеленговании целей максимальным методом, оператор, вращая штурвал компенсатора, добивается максимальной слышимости.

Электроннолучевая трубка служит для определения направления на цель фазовым методом. Он основан на уравнивании разности сигналов двух приемников или двух групп приемников акустической базы. При фазовом методе пеленгования применяется двухканальный компенсатор. Он делит приемники акустической системы, участвующие в пеленговании, на две группы — левую и правую. С выходов двухканального компенсатора сигналы подаются на входы двухканального усилителя. Тут они преобразуются и усиливаются, а затем подаются на отклоняющие пластины электроннолучевой трубки.

При фазовом методе пеленгования оператор добивается, чтобы линия на электроннолучевой трубке была расположена строго вертикально. В этот момент стрелка компенсатора укажет направление на цель.

Кроме указанных двух методов есть еще третий метод — фазово-амплитудный, который также основан на использовании электроннолучевой трубки. Если ось акустической антенны совпадает с направлением на цель, изображение линии будет расположено в центре трубки, а если не совпадает, то изображение линии будет иметь выбросы влево или вправо.

В США проводились работы по созданию станции, обеспечивающей измерение дистанции до шумящего объекта пассивным методом. Такая станция — это комплект гидрофонов, установленных вдоль корпуса подводной лодки на днище. Звуковые сигналы от шумящего объекта достигают последовательно расположенных гидрофонов, с некоторой разницей во времени. Принятые сигналы поступают в электронно-вычислительную машину. Она вырабатывает дистанцию и другие данные для атаки. По мнению зарубежных специалистов, оснащение такими станциями подводных лодок значительно повышает их боевые возможности.

Гидролокационные станции. Если шумопеленгаторные станции — одно из основных средств обеспечения боевых действий подводных лодок в подводном положении, то у надводных кораблей они вспомогательные. Как уже упоминалось, шумопеленгаторные станции работают в пассивном режиме без излучения сигналов. А если интересный нас подводный предмет не издает никаких шумов, как обнаружить его? Шумопеленгаторы не могут полностью обеспечить действия надводных кораблей по борьбе с подводными лодками и по другой причине. Чтобы атаковать подводную лодку, нужно не только обнаружить, но и точно определить ее местонахождение (направление и расстояние до нее). Эту задачу выполняют гидролокационные станции, работающие по принципу излучения и приема отраженных от цели ультразвуковых волн.

Измерение времени с момента посылки до возвращения отраженного эхо-сигнала позволяет определить расстояние до цели с учетом того, что общее время нужно разделить пополам, ведь сигнал проходит двойное рас-

стояние — до цели и обратно. А как же определить в этом случае направление на цель? Ранее упоминалось о том, что ультразвуковые волны излучаются направленно. Это и позволяет определить направление на цель с большой точностью. Некоторые современные гидроло-

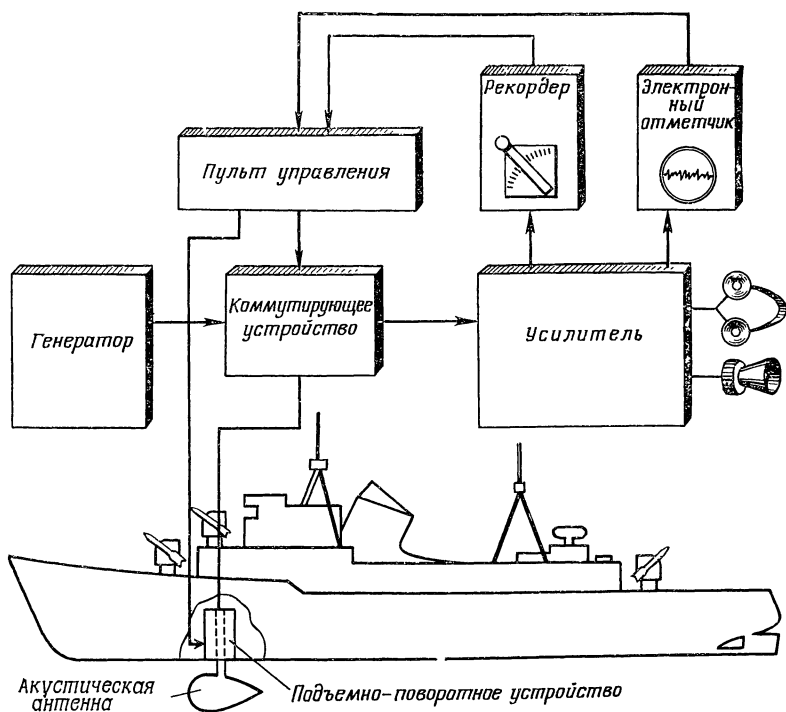


Рис. 11. Упрощенная блок-схема гидролокационной станции

каторы дают возможность вычислить также и глубину погружения подводной лодки.

По устройству гидролокационная станция значительно сложнее шумопеленгаторной и состоит из акустической антенны (рис. 11), подъемно-поворотного устройства акустической антенны, коммутирующего устройства, генератора, усилителя, пульта управления, рекордера, электронного отметчика и индикаторных приборов (динамик, телефоны).

Акустическая антенна служит для излучений ультразвуковых волн и приема отраженных от цели эхосигналов. Ультразвуковые волны излучаются акустической антенной короткими посылками. После каждой посылки наступает пауза, во время которой акустическая антенна переключается в режим приема. Таким образом, акустическая антенна обладает обратимым свойством: часть времени она выполняет функции излучателя, а другую, большую часть времени — функции приемника. Есть акустические антенны, у которых передающая и приемная части разделены, т. е. имеются раздельно излучатель — для излучения ультразвуковых волн и приемник — для приема отраженных эхосигналов.

Акустические антенны могут быть кругового и направленного действия. Первые применяются для обнаружения подводных объектов, вторые — для определения координат цели (направления, расстояния и глубины).

Акустические антенны размещаются в основном у надводных кораблей под днищем, в носовой части, а у подводных лодок в носовой части, в верхней или нижней части корпуса.

Чтобы уменьшить помехи от завихрений воды во время хода корабля, акустическую антенну помещают в обтекатель. Толщина стенок обтекателя такова, что они не препятствуют прохождению ультразвуковых волн.

При работе гидролокатора обтекатель опускается ниже киля, а после окончания работы поднимается вверх в специальный отсек. Опускается и поднимается обтекатель подъемно-опускным устройством, состоящим из электродвигателя, редуктора и пульта управления. На некоторых проектах надводных кораблей зарубежных флотов обтекатели выполнены в виде носовой бульбы. В этом случае в подъемно-опускном устройстве нет необходимости.

Для вращения акустической антенны служит поворотное устройство. Управление им — дистанционное, с пульта управления.

Коммутирующее устройство служит для переключения акустической антенны из режима излучения на режим приема и обратно, т. е. для подключения генератора к антенне в режиме излучения и для подключения антенны к усилителю в режиме приема.

Генератор вырабатывает электрические колебания ультразвуковой частоты, которые поступают на акустическую антенну и излучаются в водную среду в виде акустических колебаний. Генератор имеет несколько каскадов и собран на специальных генераторных лампах большой мощности. Аноды, сетки и накалы их питаются от специального агрегата.

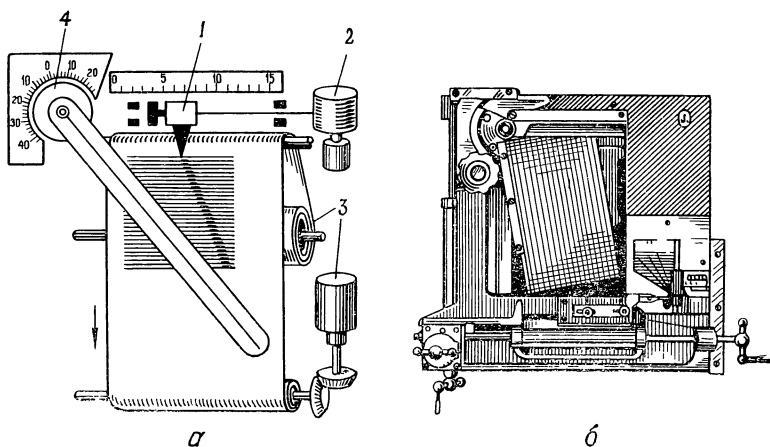


Рис. 12. Рекордер гидролокационной станции
а — кинематическая схема, б — общий вид

Усилитель усиливает и преобразует очень слабые электрические сигналы, поступающие от антенны. Он состоит из нескольких каскадов и собран на усилительных лампах. Один из каскадов — гетеродин (маломощный генератор). При его помощи ультразвуковая частота преобразуется в звуковую. С выхода усилителя сигналы поступают на индикаторные приборы.

Рекордер (рис. 12) служит для графического воспроизведения отраженных эхо-сигналов, измерения расстояния до целей, определения относительной скорости сближения с целью и выработки данных для атаки подводной лодки. Кроме того, рекордер управляет работой коммутирующего устройства, а следовательно, посылками ультразвуковых импульсов.

Основные элементы рекордера — каретка с записывающим пером 1 и посылочными контактами, электро-

магнитная муфта 2, лентопротяжный механизм 3 с электрохимической бумагой и решающее приспособление 4 со шкалами и линейкой.

Лентопротяжный механизм протягивает сверху вниз специальную бумагу, чувствительную к электрическому току, под воздействием которого на ленте появляются темные отметки. При работе рекордера бумага перемещается непрерывно с постоянной скоростью.

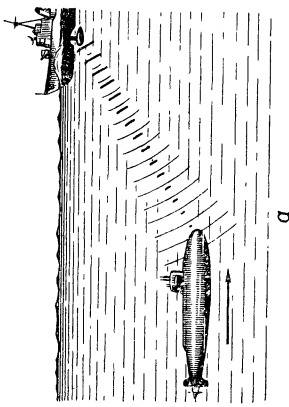
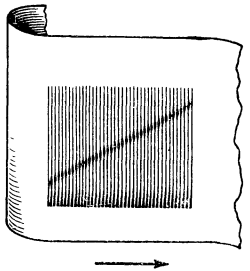
При включении рекордера подается питание на электромагнитную муфту, и она начинает передвигать каретку слева направо. В самом начале движения каретка своими контактами замыкает посылочные контакты, через них и подается питание на реле приема-передачи. Антенна подключается к генератору. Посылочные контакты замыкаются на незначительное время, в течение его ультразвуковые колебания излучаются в воду. Каретка продолжает передвигаться с постоянной скоростью, пропорциональной скорости распространения звука в воде.

С приходом эха от цели электрический сигнал с антенны через усилитель поступает на перо каретки, через бумагу проходит ток, оставляя на ней темную отметку. Расстояние от левого края бумаги до отметки будет соответствовать расстоянию до цели в масштабе шкалы, расположенной горизонтально над бумагой.

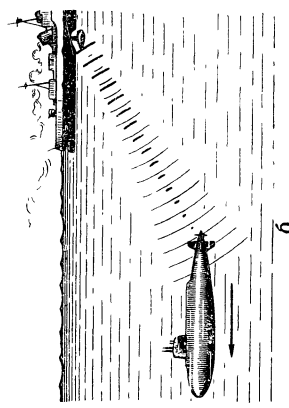
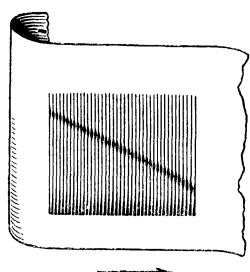
При подходе каретки к правому срезу бумаги замкнутся возвратные контакты, обесточится электромагнитная муфта и каретка возвратится в исходное левое положение. Такие циклы будут повторяться.

Из-за многократного передвижения каретки на бумаге возникнет много отметок, расположенных одна над другой. Если расстояние до цели будет уменьшаться, то каждая очередная отметка соответственно будет располагаться ближе к левому срезу (рис. 13, а), при увеличении расстояния — дальше от левого среза (рис. 13, б). На бумаге рекордера возникнет трасса, она может иметь наклон в ту или другую сторону. Если трасса будет вертикальной, расстояние до цели не изменяется (рис. 13, в).

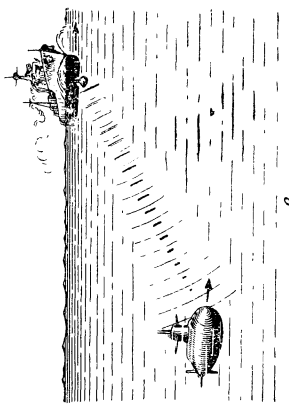
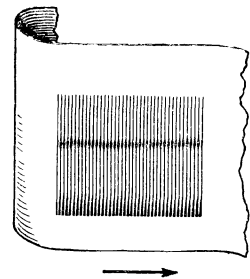
Так по характеру записи на бумаге рекордера можно определить, сближается цель или удаляется, а приложив линейку вдоль трассы, определить относительную скорость сближения. Кроме того, по характеру записи мож-



а



б



в

Рис. 13. По характеру записи на бумаге рекордера можно определить, сближается цель или удаляется (а, б, в)

но классифицировать контакт, т. е. отличить истинную цель от ложной.

Электронный отметчик — это электроннолучевая трубка с вертикально и горизонтально отклоняющимися пластинами. На пластины подаются напряжения с выхода двухканального усилителя и генератора пилообразного напряжения. Отметчик служит для зрительной регистрации эхо-сигналов, определения дистанции до цели и стороны отклонения пеленга в момент прихода эхо-сигналов. С электронного отметчика можно управлять посылками гидролокатора.

Индикаторные приборы (телефоны и громкоговоритель) предназначены для прослушивания шумов и эхо-сигналов при пеленговании максимальным методом и классификации контакта.

По методу поиска гидролокационные станции могут быть шагового поиска и кругового обзора. При шаговом поиске акустические волны излучаются направленно в виде узкого луча; при круговом поиске излучение ненаправленное, т. е. круговое, а прием отраженного эхо-сигнала направленный. Гидролокационные станции кругового обзора обладают преимуществом: поиск ведется значительно быстрее и одновременно можно наблюдать несколько целей, что невозможно на станции шагового поиска. Однако у гидролокаторов кругового обзора имеются и недостатки: большие габариты и вес, потребляют много энергии, сравнительно невысокая точность пеленгования и измерения дистанции.

Отличительная особенность гидролокатора кругового обзора состоит в том, что у него акустическая антенна цилиндрическая, секционированная. При излучении все секции акустической антенны действуют совместно, обеспечивая круговое излучение в горизонтальной плоскости. Кроме того, в гидролокаторе кругового обзора применяется особое устройство для формирования характеристики направленности акустической антенны при пеленговании.

По сообщению зарубежной печати, гидролокаторы кругового обзора устанавливаются на кораблях противолодочной обороны и подводных лодках США. Дальность действия этих гидролокаторов в режиме эхопеленгования превышает в несколько раз дальность действия других гидролокационных станций. Увеличение дальности дей-

ствия станции обеспечивается, в частности, за счет использования сигнала от нижней границы подводного звукового канала. Сообщалось, что для увеличения дальности действия могут быть также использованы сигналы, отраженные от дна моря.

Дальность действия гидролокаторов во многом зависит от гидрологических условий моря, отражательной способности подводных целей, уровня собственных помех

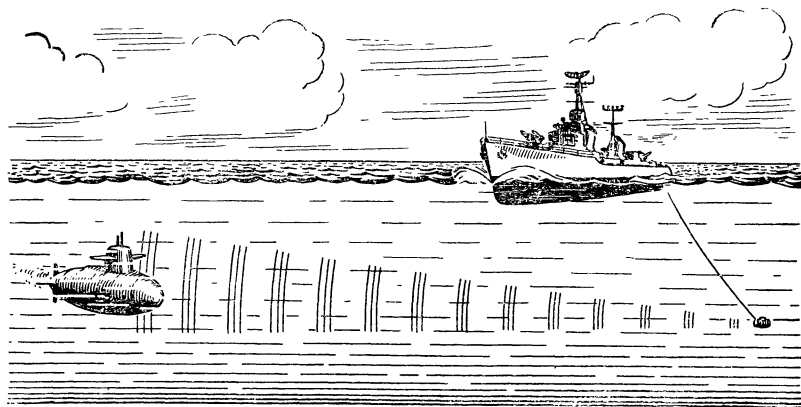


Рис. 14. Буксируемый гидролокатор с переменной глубиной

и от технических параметров станции. Одним из путей повышения дальности действия гидролокаторов зарубежные специалисты считают увеличение длины волны, т. е. переход от ультразвуковых частот к звуковым, а также применение буксируемых гидролокаторов с переменной глубиной (рис. 14).

У буксируемого гидролокатора, в отличие от обычного, акустическая антенна помещается в специальный контейнер-обтекатель. Он опускается на необходимую глубину, где условия распространения звука наиболее благоприятны.

Гидролокатор переменной глубины имеет и другие преимущества: акустическая антенна удалена от источника шумов — винтов корабля; упрощается ремонт и уход за акустической антенной.

Американские специалисты считают целесообразным совместное использование на надводных кораблях буксируемой и стационарной гидролокационных станций.

Авиационные гидроакустические средства. Средства борьбы с подводными лодками непрерывно совершенствуются. В иностранных военно-морских флотах большое значение придается также гидролокаторам, используемым с вертолетов.

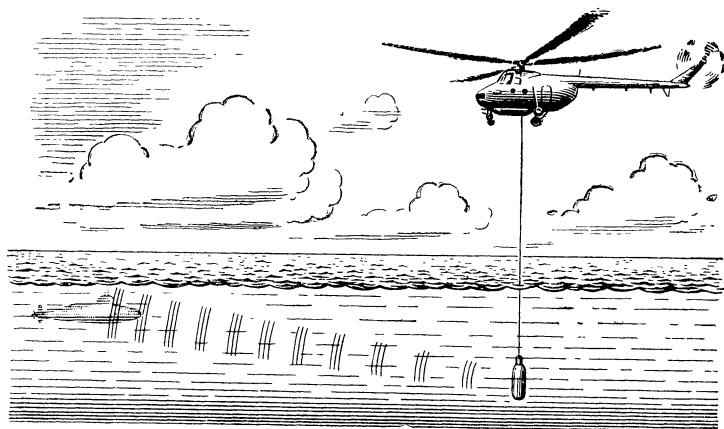


Рис. 15. Вертолетная гидролокационная станция

По устройству такие станции почти ничем не отличаются от корабельных, за исключением того, что акустическая антенна опускается в воду на специальном кабель-троссе (рис. 15), а остальные приборы находятся на вертолете.

Преимущество этого способа в том, что отсутствуют помехи от движения своего корабля и его механизмов, а главное — повышается скорость обследования района. После обследования одного участка вертолет поднимается с акустической антенной и, быстро перелетев на другой участок, опять опускает акустическую антенну, затем перелетает на третий участок и т. д.

По сведениям иностранной печати, время опускания акустической антенны, обследование участка и обратный подъем ее занимают около 5 минут. Каково расстояние между соседними точками, в которых ведется обследо-

вание? Оно выбирается с таким расчетом, чтобы не допускать пропусков в обследуемом районе и чтобы изучаемые участки перекрывались.

Кроме опускаемых авиационных гидроакустических станций для обнаружения подводных лодок в иностранных флотах применяют радиогидроакустические буи. Они сбрасываются с самолета, вертолета или корабля в предполагаемом районе нахождения подводных лодок.

Радиогидроакустический буй состоит из акустического приемника, усилителя, радиопередатчика, источника питания и приемной аппаратуры. Акустический приемник улавливает шумы подводной лодки или других целей. От него сигналы шумов поступают на усилитель, далее на радиопередатчик, а затем в виде радиосигналов передаются в эфир. Приемная аппаратура, находящаяся на вертолете или самолете, регистрирует эти радиосигналы.

Радиогидроакустические буи применяются комплектом (до нескольких десятков штук в каждом). Барьер радиогидроакустических буюв устанавливается у входов в базы и порты, в районе рейдовых стоянок кораблей, а также на предполагаемых маршрутах движения подводных лодок.

Каждый радиогидроакустический буй связан с приемной аппаратурой отдельным радиоканалом на определенной частоте. Поэтому оператор знает, какой буй передает сигналы. Зная местонахождение буя, можно определить, в каком районе находится подводная лодка (рис. 16).

Радиогидроакустические буи могут работать все время (непрерывный режим) или периодами (дежурный режим). После израсходования энергии аккумуляторов для радиостанции буи самозатопляются.

Некоторые конструкции радиогидроакустических буюв приспособлены не только для обнаружения шумов подводной лодки, но и для определения расстояния до нее. Такие буи работают в активном режиме, как обычный гидролокатор.

Радиогидроакустические буи могут использоваться как активное средство обнаружения вместе с подводными взрывами. Волна от взрыва, распространяясь на большие расстояния, достигает подводной лодки и отражается от нее. Этот эхо-сигнал принимается гидрофоном

радиогидроакустического буя и далее по радио передается на самолет.

Радиогидроакустические буи бывают дрейфующие и стационарные (устанавливаемые на якорях). Стационарные буи можно лучше оборудовать, аккумуляторы их периодически перезаряжать, а поэтому срок службы их значительно удлиняется.

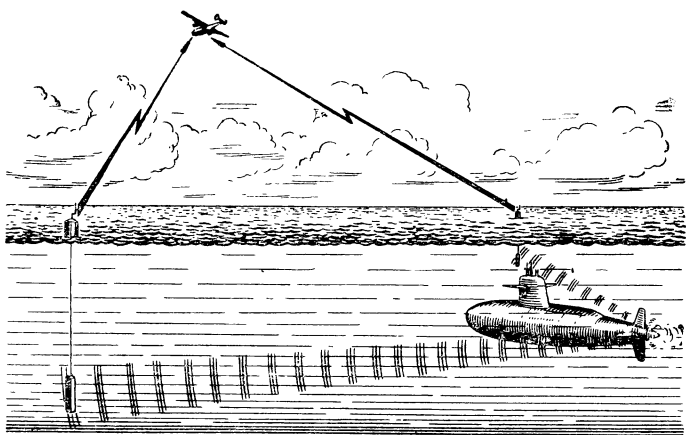


Рис. 16. На самолете оператор принял сигнал от радиогидроакустического буя; значит, в этом районе подводная лодка

Стационарные (береговые) гидроакустические станции. Наряду с развитием гидроакустических станций надводных кораблей и подводных лодок, а также авиационных гидроакустических средств в зарубежных флотах развивают и совершенствуют стационарные (береговые) гидроакустические станции. В чем отличительная особенность такой станции? В том, что ее акустическая антенна располагается на дне моря, а остальные приборы на берегу. Акустическая антенна соединяется с приборами, находящимися на берегу, специальным кабелем.

Стационарные гидроакустические станции устанавливают у входов в порты и базы, в районах рейдовых стоянок (рис. 17) и вдоль побережья. Они, как правило, входят в систему противолодочной обороны. Эти станции позволяют своевременно обнаружить проникновение под-

водных лодок и надводных кораблей к месту стоянки флота.

Современные стационарные гидроакустические станции работают в режимах шумопеленгования и эхопеленгования. Часто для охраны районов базирования кораблей используются шумопеленгаторные гидроакустические станции, работающие в режиме прослушивания, без излучения ультразвуковых сигналов.

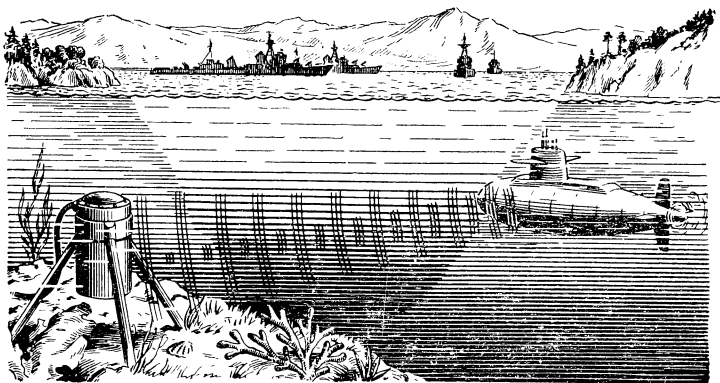


Рис. 17. Стационарные гидроакустические станции устанавливаются у входов в порты и базы, в районах рейдовых стоянок

В США наряду с совершенствованием имеющихся гидроакустических станций создаются специальные позиционные системы дальнего обнаружения и опознавания подводных лодок. Основное назначение позиционных систем — дальнейшее обнаружение подводных лодок. В основе действия системы использовано свойство сверхдальнего распространения звуковых волн в подводных звуковых каналах. Большую дальность обнаружения системы достигают применением особых методов выделения сигнала на фоне других шумов. Для определения направления и расстояния до цели, а также классификации принятых сигналов используют счетно-решающие устройства.

Специалисты ВМС США считают, что для целей противолодочной обороны можно будет применить глубоководные аппараты и батискафы, оснащенные гидроакустической аппаратурой. В будущем это может привести к

появлению глубоководных, подвижных гидроакустических станций, применение которых позволило бы более эффективно использовать свойства глубоководного звукового канала для обнаружения подводных лодок на больших расстояниях.

Ультразвуковые станции связи и опознавания. Для Военно-Морского Флота очень важно обеспечить связь между надводными кораблями и подводными лодками, находящимися в подводном положении, а также между подводными лодками при совместных действиях. Проводная связь под водой исключается, радиоволны использовать нельзя. На помощь в этом случае приходит гидролокационная станция. Если замыкать цепь питания реле приема — передачи телеграфным ключом, то излучение ультразвуковой энергии будет происходить во время нажатия ключа.

Используя азбуку Морзе, можно свободно переговариваться при помощи гидролокаторов, установленных на корабле и подводной лодке. При этом нужно соблюдать правило: когда один работает на передачу, другой работает только на прием. Одновременная работа на передачу недопустима. Однако скорость переговоров по азбуке Морзе гидролокаторами значительно меньше, чем по радио. Для ускорения передачи наиболее ходовых фраз используют переговорные таблицы.

За рубежом созданы специальные гидроакустические станции связи, при помощи которых можно вести переговоры в телефонном режиме, т. е. разговаривать, как по обычному телефону.

Бирмингемским университетом (Англия) разработан подводный телефон. С его помощью можно поддерживать связь между свободно плавающими водолазами и аквалангистами. Этот телефон — автономное приемопередающее гидроакустическое устройство. Переход с приема на передачу и обратно производится двухполюсным электронным реле, срабатывающим автоматически в начале и по окончании разговора. Устройство состоит из электроакустического преобразователя, трубы с приемопередатчиком, ларингофонов и костяных головных телефонов. Питается устройство от батареек карманного фонаря.

Сотрудники одной из американских фирм обнаружили новый вид электромагнитного излучения, который на-

звали гидроническим или плазменным. Гидронические волны подчиняются тем же законам распространения в воде, что и радиоволны в эфире. Распространение гидронических волн не зависит от концентрации соли в воде, ее температуры и давления. Были проведены испытания, во время которых связь между водолазами устанавливалась с помощью гидронических приемопередатчиков на расстоянии до 50 километров. Не исключена возможность, что в будущем эти волны найдут широкое применение в подводной связи.

Иногда недостаточно сделать вывод, что обнаружена подводная лодка, нужно еще определить, своя это лодка или противника. Для этого корабль дает кодированный запрос, на него лодка должна ответить. Ответ правильный — подводная лодка своя; ответ неправильный или нет никакого ответа — подводная лодка противника.

Раньше запросы и ответы делались обычными гидролокаторами при помощи азбуки Морзе. По данным зарубежной печати, в последнее время на подводных лодках устанавливаются специальные станции связи и опознавания.

Гидроакустическая вахта. До появления гидроакустических станций наблюдение велось зрительными средствами. Для этого подводной лодке приходилось поднимать перископ над поверхностью моря. А на надводном корабле наблюдатели, вооруженные биноклями, пристально смотрели, не появится ли на горизонте перископ. Так шло состязание между подводными лодками и надводными кораблями в зоркости наблюдения, а следовательно, и в том, кто первым обнаружит противника. Атаки проводились по этим данным. С появлением гидроакустических станций отпала необходимость подводным лодкам поднимать перископ над поверхностью моря.

При поиске подводной лодки гидролокатор надводного корабля работает в режиме эхопеленгования, т. е. через определенные промежутки времени он посылает ультразвуковые сигналы. Поиск ведется при вращении вибратора с левого борта к носу корабля, а затем то же с правого борта и т. д. Такой поиск называется симметричным. Шаг поиска может быть различным, например 5 или 10°. После каждой посылки акустическая система поворачивается на соответствующий угол. Если вероят-

ность обнаружения подводной лодки больше с какого-нибудь борта, то ведут асимметричный поиск, т. е. с одного борта сектор увеличивается, а с другого уменьшается. При вероятности появления подводной лодки прямо по курсу поиск ведется с перекрытием носовых курсовых углов. В этом случае носовой сектор обследуется дважды.

При поиске шагом 5 или 10° на обследование сектора уходит много времени. Пока гидроакустик ведет поиск с одного борта, подводная лодка может приблизиться с другого на дистанцию торпедного залпа. Поэтому поиск подводных лодок ведется гидролокационными станциями кругового обзора. Такая станция не только обеспечивает быстрое обследование сектора, но и обнаруживает одновременно все цели, которые могут оказаться в зоне действия станции.

При попадании подводной лодки в зону действия гидролокатора от нее отразятся ультразвуковые волны и гидроакустик услышит эхо. После получения эха от второй посылки гидроакустик докладывает командиру корабля направление на цель и дистанцию до нее.

Получив приказание классифицировать контакт, гидроакустик определяет протяженность цели, тон эха, изменение пеленга и четкость записи на рекордограмме. Пеленгуя левый и правый срезы, он определяет средний пеленг на цель и докладывает командиру корабля.

Гидроакустик подводной лодки в это время тоже не бездействует. Он внимательно пеленгует шум винтов преследующего корабля, докладывает командиру подводной лодки направление и по силе звука ориентировочно определяет, сближается корабль или удаляется. Кроме того, гидроакустик подводной лодки пеленгует ультразвуковые посылки, излучаемые гидролокатором преследующего корабля. Опытный гидроакустик подводной лодки может также определить, на каком расстоянии рвутся глубинные бомбы и какого они калибра.

Гидроакустики двух кораблей (надводного и подводного) состязаются между собой в умении, опыте, хладнокровии и выдержке. В подводной борьбе побеждает опыт и воля к победе.

Гидролокационной станцией можно обнаружить не только подводную лодку, но и якорные мины. Раньше надводные корабли совершенно были беспомощны при

плавании в районах, не очищенных от мин, а подводные лодки форсировали минные поля с ежесекундным ожиданием взрыва. Гидролокация позволила определять заранее места, где выставлены якорные мины. А если место постановки мин определено, их всегда можно обойти. Обнаружить мины труднее, чем подводную лодку, так как эхо-сигнал от мины слабее и на рекордере запись тоже будет слабее.

Обнаружить подводную цель — это еще не все. Нужно определить ее характер, т. е. классифицировать цель. Дело в том, что затонувшие корабли, подводные скалы, кильватерную струю, косяк рыбы иногда принимают за подводную лодку.

Можно ли уверенно отличить цель, т. е. подводную лодку, от ложной цели? Как бы ни были совершенны приборы, они не смогут этого сделать. Такую задачу выполняет гидроакустик, который при обнаружении эха классифицирует его по нескольким признакам. Такими признаками могут быть протяженность цели, тон эха и изменение пеленга (направления) на цель.

Протяженность цели — основной характерный признак, позволяющий отличить подводную лодку от ложной цели. Протяженность цели измеряется в градусах, а определяется пеленгованием (определением направления) левого и правого срезов цели. Подводная лодка имеет относительно небольшую протяженность. Если протяженность цели большая, можно сделать вывод, что это не подводная лодка, а ложная цель, например косяк рыбы или подводное препятствие. Протяженность цели зависит от расстояния до нее.

Тон эха позволяет определить, движется цель или она неподвижна. Изменение тона эха свидетельствует о том, что цель движется. Однако не всегда нужно делать окончательный вывод по этому признаку, так как подводная лодка может следовать курсом, параллельным курсу надводного корабля; в таком случае тон эха не будет изменяться. По тону эха можно определить и ориентировочное направление движения подводной лодки, используя эффект Допплера.

Изменение пеленга на цель также свидетельствует о том, что цель подвижна. Но при определении изменения пеленга необходимо учитывать перемещение своего корабля относительно цели.

Для более полной и уверенной классификации контакта включается рекордер. По записи на рекордограмме можно определить относительную скорость, а зная скорость своего корабля, вычислить скорость цели. Кроме того, запись на рекордограмме от подводной лодки имеет четкую форму с ровным левым срезом (рис. 18, а).

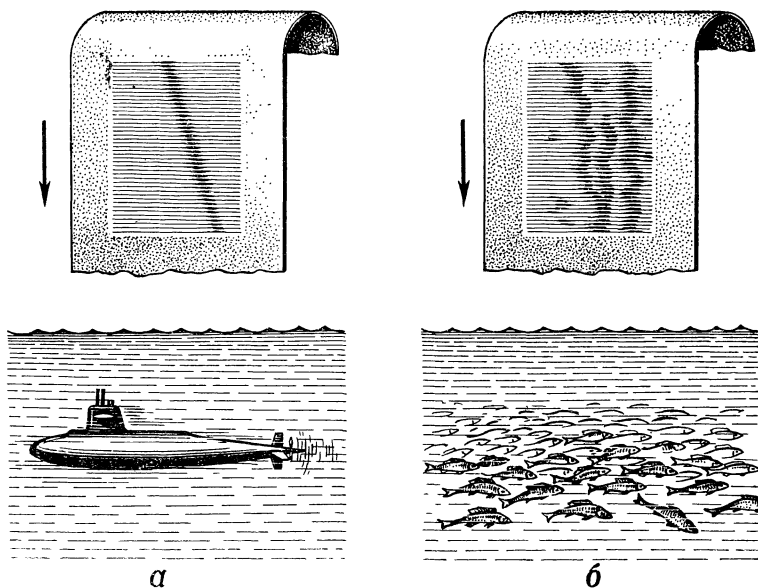


Рис. 18. Характер записи на рекордограмме:
а — от подводной лодки; б — от косяка рыбы

При ложном эхе, например от косяка рыбы, запись нечеткая, прерывистая, а ее левый срез имеет извилистую форму (рис. 18, б).

Иногда гидроакустик переходит из режима эхопеленгования в режим шумопеленгования и прослушивает наличие шумов от винтов подводной лодки или вспомогательных механизмов.

Классификация контакта — очень сложный и ответственный процесс в работе гидроакустика. Навыки в быстрой и уверенной классификации контакта вырабатываются годами практики в море.

Если подводная лодка обнаружена, командир ее будет принимать все меры к тому, чтобы оторваться от преследования. Прежде всего применяют специальный маневр уклонения, он предусматривает резкие изменения курсов и скорости.

По данным зарубежной печати, подводные лодки оборудуют специальными устройствами — имитаторами, создающими ложные цели. Уклоняющаяся от преследования подводная лодка выпускает имитатор цели, хорошо отражающий ультразвуковые волны (рис. 19). Не-

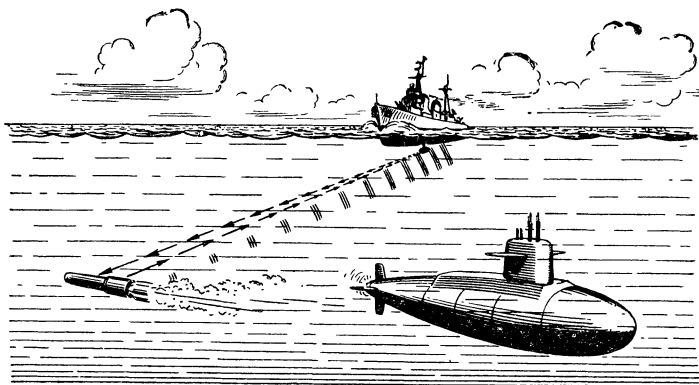


Рис. 19. Уклоняющаяся от преследования подводная лодка выпускает имитатор цели

которые имитаторы снабжены устройством, создающим шум, напоминающий шум винтов подводной лодки. Такой имитатор может несколько часов самостоятельно передвигаться, имитируя маневр уклоняющейся подводной лодки. Маневрирует имитатор по сигналам программного механизма. Малоопытный гидроакустик может переключиться на работу по ложной цели, а в это время подводная лодка уйдет от преследования. Ложную цель можно создать также очень простым способом — выпуском воздушного пузыря. Мелкие пузырьки воздуха, как уже известно, хорошо отражают ультразвук, что может временно дезориентировать гидроакустика.

Но вот цель классифицирована и определена ее принадлежность. Начинается самый ответственный этап — атака. Все занимают свои места, для каждого боевого

расчета, номера строго определены функции (обязанности). Особо ответственны они у расчета противолодочной обороны — мозга корабля при атаке подводной лодки. Гидроакустик прослушивает море, радиометрист осматривает горизонт, оператор вырабатывает данные для атаки, штурман ведет боевую прокладку, минеры держат на «товсь» оружие. Работа каждого номера расчета противолодочной обороны направлена на то, чтобы командир принял и выполнил единственно правильное в данной обстановке решение, а подводный противник ни в коем случае не ушел от удара.

Атака подводной лодки длится всего несколько минут, но напряженность деятельности каждого боевого номера, особенно гидроакустика, достигает предела. Гидроакустик поддерживает контакт с подводной лодкой, не теряя его даже на несколько секунд, и непрерывно сообщает данные командиру корабля: пеленг, дистанцию, тон эха, протяженность цели. Гидроакустик в это время превращается как бы в аппарат слуха, ничто его не должно отвлекать. Он обязан своевременно заметить ложный маневр цели, не потерять ее, увлекшись ложной целью, кроме того, следить за маневрированием своего корабля.

И вот отметки на рекордограмме приближаются к нулю. Наступает наиболее ответственный период — последняя фаза атаки. Результат напряженной работы расчета противолодочной обороны скоро будет известен всем.

— Мгновенное эхо, — докладывает гидроакустик, а через несколько секунд следуют одна за другой команды: «Первая!», «Вторая!», «Третья!». Это значит, что сейчас будут сброшены три серии глубинных бомб. Едва прозвучали последние слова команды, как корабль резко вздрагивает, за его кормой трижды взбугривается вода — взорвались глубинные бомбы.

Борьба не окончена. Гидроакустик восстанавливает контакт с подводной лодкой, командир корабля повторяет атаку, и, может быть, еще не один раз. Но что это? На поверхности моря появились маслянистые пятна и плавающие предметы — глубинные бомбы попали в цель. Однако гидроакустик неоднократно проверяет: не коварность ли это врага, нарочно выпустившего масло и выбросившего предметы. Звуков не слышно, гидролокато-

ром лодка не обнаруживается. Командир корабля поздравляет экипаж с победой.

Одиночный корабль не всегда обнаружит подводную лодку, а после первой атаки может потерять контакт. В США и Англии для более эффективного поиска подводных лодок и атаки их корабли объединяются в поисковые ударные группы. При совместном поиске группой кораблей резко повышается вероятность обнаружения подводных лодок и вероятность их уничтожения.

Глубинные бомбы — опасное оружие в борьбе с подводными лодками. Однако торпеды еще страшнее для надводных кораблей. Подводная лодка обладает большим преимуществом, находясь в подводном положении. Она, как притаившийся хищник, ждет своей добычи. Во время второй мировой войны скорость подводных лодок под водой не превышала 10 узлов^{*}, а скорость надводных кораблей обычно была 20—28 узлов. Поэтому подводные лодки, как правило, не «гонялись» за надводными кораблями, а подстерегали их на пути следования. В настоящее время скорости надводных и новых подводных кораблей приблизительно равны, а потому приемы борьбы подводных лодок могут быть иные.

Гидроакустик на подводной лодке в подводном положении знает об обстановке больше всех, потому что он слышит все звуки. По его докладу «Слышу шум винтов» командир объявляет боевую тревогу. По данным гидроакустика командир подводной лодки принимает решение на выход в атаку. Гидроакустик «берет прицел», и по его данным торпеды выстреливаются в цель (рис. 20).

Бурное развитие подводного флота, а особенно появление атомных подводных лодок, дало толчок дальнейшему совершенствованию гидроакустических средств.

По мнению специалистов США, гидроакустические комплексы подводных лодок будут развиваться в следующих направлениях: увеличение дальности действия гидроакустических станций в режиме эхопеленгования примерно до 30 миль; создание шумопеленгаторных (пассивных) систем целеуказания для торпедного и ракетного оружия; совершенствование автоматических

^{*} Узел — единица измерения скорости кораблей. Один узел — это одна миля (1852 метра) за один час.

средств классификации целей и средств в звукоподводной связи.

Атомная подводная лодка имеет большую подводную скорость и автономность плавания. Она еще к тому же оснащена мощным оружием — ракетами. Атомная подводная лодка-ракетоносец в подводном положении может нанести с очень больших расстояний удар по надводным кораблям и береговым объектам. С такими под-

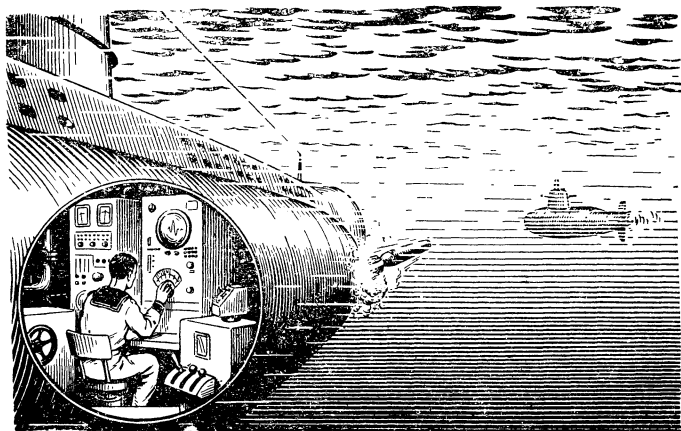


Рис. 20. По данным гидроакустических приборов торпеды выстреливаются в цель

водными лодками трудно вести борьбу, так как обычные приемы уже непригодны. Но в военном деле на каждое действие выработывается и противодействие. Появляются современные эффективные средства противолодочной обороны. На смену глубинным бомбам и обычным торпедам приходят новые средства — противолодочные комплексы.

Как обеспечить противолодочный режим на морских просторах? Для этого требуется много сил и средств. Большое напряжение для поддержания их в непрерывной боевой готовности. Поэтому, например в США, береговые и корабельные, авиационные и ракетные средства противолодочной обороны объединяются в единые комплексы с централизованной системой сбора информации и анализа обстановки, а также управле-

ния ими (рис. 21). Такие комплексы оснащаются современными электронно-вычислительными машинами, которые почти все задачи решают с большой точностью. Как

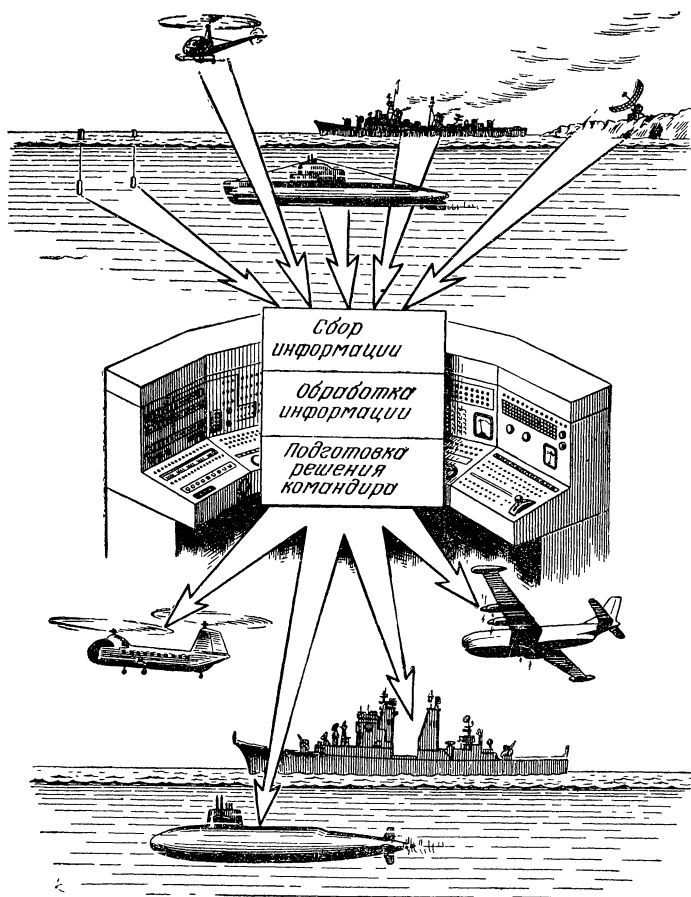


Рис. 21. Централизованная система сбора информации и анализа обстановки, а также управления всеми средствами

видно из иностранной печати, для борьбы с атомными подводными лодками создаются специальные противолодочные подводные лодки. Их задача не охота за надводными кораблями, а поиск и уничтожение подводных лодок.

Невидимая подводная борьба сильных противников требует большого мастерства, выдержки, смелости. В таком поединке гидроакустика приобретает еще большее значение. Кто первый обнаружит противника, кто первый и более точно сообщит данные, тот и победит.

Подводная лодка — грозное средство войны, и с ним надо уметь бороться. Самое главное — своевременно обнаружить подводную лодку, находящуюся далеко от побережья в океане, и не дать ей возможности применить свое оружие. Решающая роль в этом принадлежит противолодочной обороне, где ведущее место занимает гидроакустика.

Акустическое оружие. В годы второй мировой войны воюющие страны совершенствовали оружие подводного удара — мины и торпеды. Внимание специалистов привлек звук. Его решили применить в дистанционных взрывателях мин и в системах самонаведения торпед. Вначале были предложены более простые по устройству и небольшие по размерам — пассивные взрыватели* и системы наведения. Они срабатывали, улавливая шум винтов кораблей противника (рис. 22).

Простейший акустический взрыватель — это взрыватель с угольным микрофоном. При возникновении шума от винтов корабля колеблется мембрана микрофона внутри корпуса мины. Переменный ток, возникающий от изменения сопротивления угольного порошка, выпрямляется и подается на реле. Оно, сработав, подает питание на запальное устройство. В чем недостаток такого взрывателя? В малой чувствительности. Для ее повышения применяют рычажные микрофонные взрыватели.

Во вторую мировую войну немцы применяли комбинированные, магнитно-акустические взрыватели. Они более надежны. Акустическое устройство взрывателя дублирует магнитное. На некоторых образцах мин устанавливали акустические взрыватели, работающие в активном режиме. У них гидроакустическое устройство взрывателя посылает непрерывно ультразвуковые импульсы. При появлении корабля над миной ультразвуковые импульсы отражались от днища и принимались приемным устройством. Затем ультразвуковые импуль-

* Пассивный взрыватель, установленный на донной мине, срабатывает от шумов винтов корабля.

сы преобразовывались в электрические. Далее они поступали на запальное устройство взрывателя. Почему же акустические взрыватели с активной системой не нашли распространения? Потому что излучение ультразвуковой энергии демаскирует мину и может быть использовано противником для ее обнаружения и уничтожения.

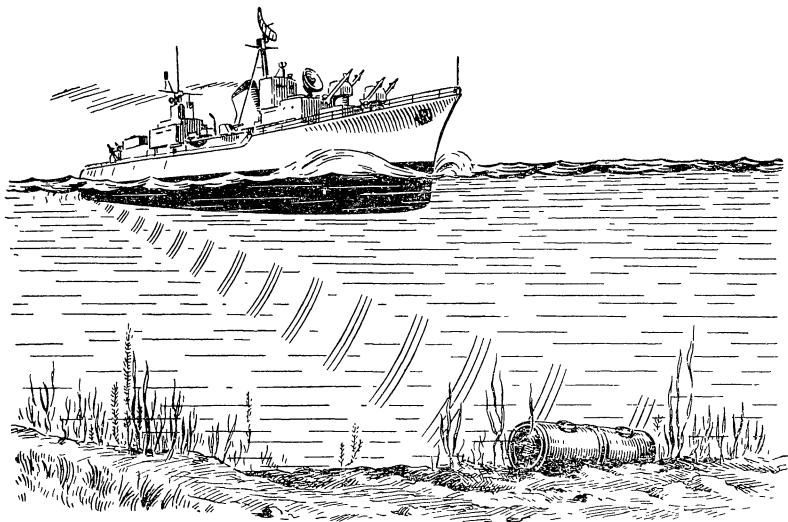


Рис. 22. Акустический взрыватель донной мины срабатывает от шума винтов корабля

Торпеда — древнее и в то же время наиболее современное оружие ведения боя на море. Непрерывное совершенствование торпед привело к тому, что их стали снабжать различными системами самонаведения, в том числе и акустическими. Акустические системы самонаведения торпед также разделяются на пассивные и активные, а иногда они совмещаются в комбинированные системы.

На торпедах с пассивной акустической системой (рис. 23, *a*) гидрофоны улавливают шумы винтов корабля, которые затем преобразуются в сигналы, управляющие движением торпеды. Такая торпеда, как правило, всегда устремляется в кормовую часть, где распо-

ложены винты. Недостаток такой системы состоит в том, что при остановке машин корабля торпеда может уйти в другом направлении, не поразив цель. Против такой системы легко применить ложную цель — имитатор, создающий большие шумы, чем винты корабля. Естественно, что торпеда в этом случае устремится за ложной целью.

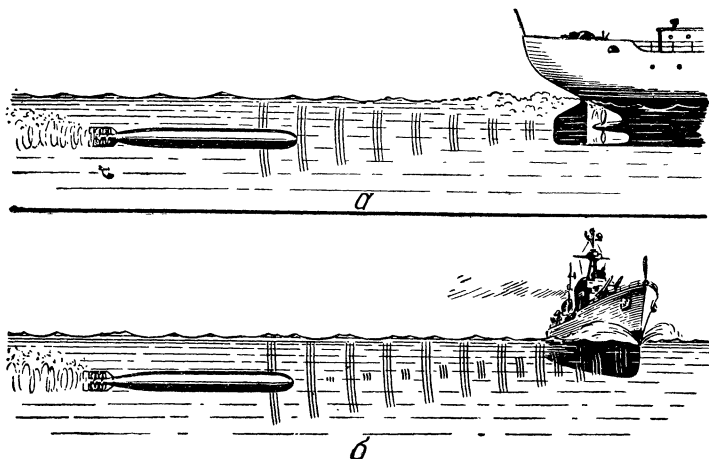


Рис. 23. Акустическая система самонаведения торпеды:
а — пассивная, *б* — активная

По данным иностранной печати, активная система самонаведения (рис. 23, б) не имеет указанных недостатков, но дальность действия ее незначительна. Поэтому, например, в американских торпедах дополнительно к гидрофонам устанавливается небольшая гидролокаторная станция. Гидрофоны улавливают шумы, и торпеда устремляется к цели, а на определенном расстоянии гидролокатор захватывает цель. В этом случае остановка машин корабля не предотвратит попадание торпеды в цель.

Современные корабли ПЛО в США имеют на вооружении ракеты, представляющие собой сочетание ракеты с торпедой. При обнаружении подводной лодки гидролокаторной станцией дальнего обнаружения данные поступают в вычислительное устройство электронного действия, где быстро решается задача атаки подводной лодки.

Ракета-торпеда по выработанным данным запускается с пусковой установки и летит по заданной траектории в район подводной лодки. Перед входом в воду торпеда отделяется от ракеты. Погрузившись, торпеда начинает поиск подводной лодки и сближение с ней по данным гидроакустической системы самонаведения (рис. 24). По мнению зарубежных военных специали-

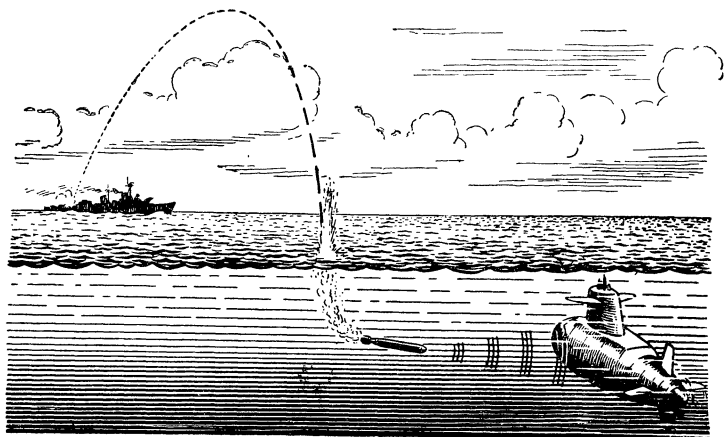


Рис. 24. Погрузившись, торпеда начинает поиск подводной лодки

стов, такие противолодочные средства эффективны в борьбе с атомными подводными лодками.

Ультразвуковые эхолоты. Командиру корабля и штурману необходимо постоянно знать глубину моря под кораблем, особенно при плавании в прибрежных районах, где есть опасность сесть на мель.

На помощь приходит гидролокация. Небольшие и несложные по устройству гидролокационные приборы, называемые эхолотами, быстро и точно измеряют глубину. Эти приборы основаны также на принципе посылки ультразвукового сигнала и приема отраженного эха от дна моря (рис. 25). На рис. 26 изображен ультразвуковой эхолот.

Измеряя глубины отдельных участков или районов моря, можно составить подводную карту, на которой будут видны возвышенности и углубления. Рельеф дна моря или океана в некоторой степени напоминает рельеф

зёмной поверхности. Составление морских карт имеет не только научное значение; для моряков оно жизненно важно, обеспечивает безопасность плавания. Имея перед глазами ранее составленную карту морских глубин и сравнивая данные ее с показаниями эхолота, штурман может ориентировочно определить место своего корабля в море. При постановке корабля на якорь также необходимо знать глубину места, чтобы не потерять якорь вместе с якорь-цепью на большой глубине. Для того чтобы обнаружить впереди по курсу подводную банку, скалу, айсберг либо узкость, используют горизонтальный эхолот или обычный гидролокатор.

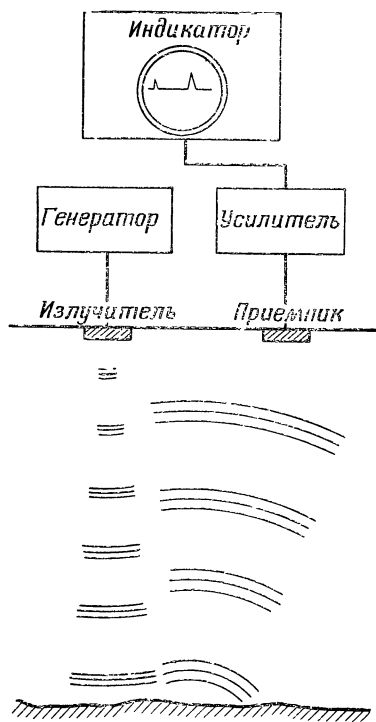


Рис. 25. Принцип действия ультразвукового эхолота

При прохождении узкостей или районов с подводными препятствиями гидроакустик по приказанию командира в режиме эхопеленгования обследует сектор в носовых курсовых углах. При получении отраженного эха от подводного препятствия гидроакустик докладывает командиру корабля об опасности.

Современные эхолоты очень чувствительны и точны, поэтому они применяются не только для измерения глубины, но и для поиска подводных объектов, затонувших кораблей. Так, с помощью ультразвукового эхолота был обнаружен затонувший большой океанский теплоход «Лузитания». Ученые даже считают возможным с помощью эхолотов обнаруживать на дне моря древние памятники культуры.

Американские ученые по заданию научно-исследова-

тельского управления ВМФ США создали ультразвуковую камеру. Она с большой точностью снимает план морского дна со скоростью 4 квадратных километра в час. От камеры не скроется даже предмет размером около квадратного метра на глубине 6 километров. Ультразвуковой луч камеры обегает дно полосами дли-

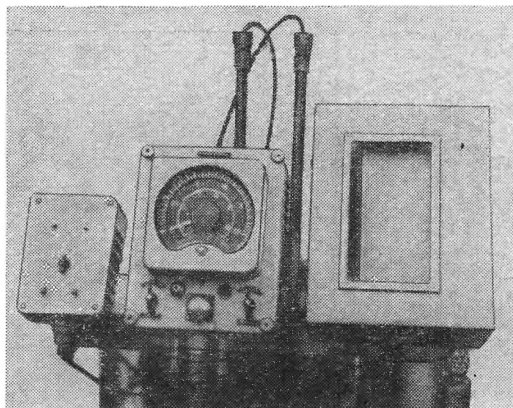


Рис. 26. Ультразвуковой эхолот

ной в 720 и шириной 1,2 метра. Так рельеф дна непрерывно записывается на чувствительной бумаге. Одновременно изображение дна появляется на телевизионном экране. Конструкторы в ряде стран считают, что можно создать подобную камеру с практически любой разрешающей способностью и для работы на больших глубинах. Ультразвуковая камера была создана в США для поиска остатков загадочно погибшей атомной подводной лодки «Трешер», но она может применяться и для нужд океанографии, морской геологии, поисков полезных ископаемых.

Одна из американских фирм ведет разработку новой гидроакустической аппаратуры для точной подводной картографической съемки на больших глубинах. Указывается, что такая аппаратура в дальнейшем может найти применение в навигационной системе атомных подводных лодок, основанной на принципе слежения за рельефом морского дна.

Ультразвуковые эхолоты незаменимы при подледном плавании подводных лодок. С помощью специального эхолота можно определить толщину льда над подводной лодкой и выбрать место для ее всплытия.

Ультразвуковые эхолоты нашли широкое применение и в рыбной промышленности. Ультразвуковые волны отражаются от косяков рыбы не хуже, чем от подводных

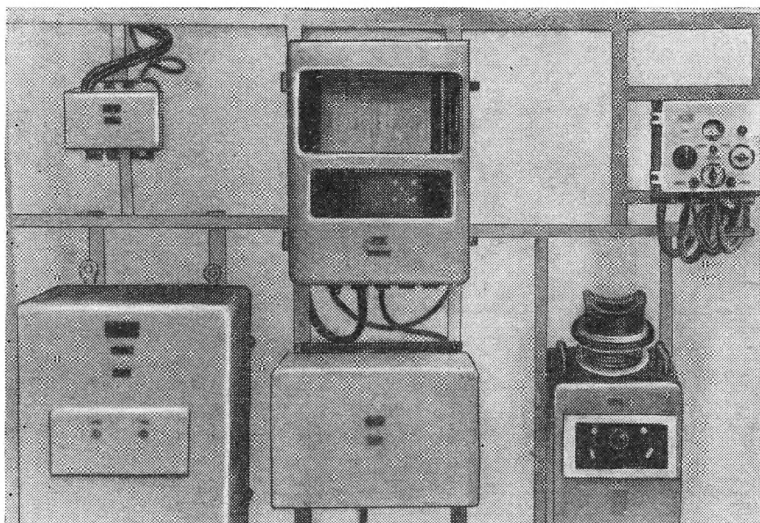


Рис. 27. Ультразвуковой рыбопоисковый эхолот «Кальмар»

лодок или других предметов. Так возникло одно из направлений развития гидроакустической техники, связанное с применением ультразвука в рыбном и китовом промысле. Почти все рыболовецкие суда оборудуются рыбопоисковыми приборами, они обеспечивают надежность лова при минимальной затрате времени на поиск. В Советском Союзе налажен серийный выпуск нескольких типов совершенных ультразвуковых приборов для промысловых судов различных конструкций и водоизмещения. На рис. 27 изображен ультразвуковой рыбопоисковый эхолот «Кальмар».

Для рыболовов-спортсменов инженеры разработали портативный ультразвуковой прибор «Огонек». Его

можно применять для поиска рыб в реках, озерах и прибрежных зонах морей. В реках, озерах и других водоемах с помощью «Огонька» возможно «просматривать» глубокие омуты и ямы, где обычно водятся крупные рыбы-хищники. Рыбу средних размеров удастся обнаружить на глубине до 20 метров. Кроме того, прибор можно использовать для навигационных и гидрографических работ в мелководных водоемах.

Сотрудники Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии предложили применить такие современные приборы для поиска рыбы и промера глубин через лед. Долгое время считалось, что эхолотирование через лед связано с большими трудностями. Но авторы изобретения доказали, что поиск рыбы через лед дает хорошие результаты; эхолот обнаруживает не только косяки, но и отдельных рыб.

4. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ультразвуковая обработка сверхтвердых и хрупких материалов. Известно, что железо, чугун и сталь можно обрабатывать на токарных, фрезерных, строгальных и других станках, твердые и сверхтвердые сплавы — на электроэрозионных и импульсных станках. Для токопроводящих твердых материалов эти способы обработки непригодны. К тому же эти материалы хрупкие. Особенно трудно высверливать в них отверстия, да еще сложной формы.

Ученые настойчиво искали способ обработки сверхтвердых и хрупких материалов. При проведении исследования по измельчению абразивных материалов ученые заметили на дне стеклянной банки углубление. Оно возникло при колебании стержня с ультразвуковой частотой. Это натолкнуло ученых на мысль об ультразвуковой механической обработке сверхтвердых и хрупких материалов.

Попробуем между рабочей поверхностью ультразвукового инструмента и обрабатываемой деталью ввести абразивный материал. При работе излучателя частицы абразива будут воздействовать на поверхность детали.

Под долбящим воздействием абразива мельчайшие частицы материала будут отскакивать. При дальнейшей работе ультразвукового инструмента его рабочая поверхность будет все больше и больше углубляться в деталь (рис. 28).

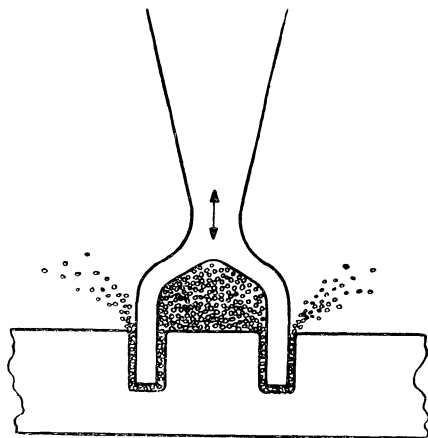


Рис. 28. Ультразвуковой инструмент и абразив обрабатывают твердый материал

Впервые способ ультразвукового резания был предложен в 1945 г. Он обеспечивает высокую точность — от 50 до 1 микрона, в зависимости от зернистости абразивного материала. Помимо высокой точности ультразвуковой обработке присущи и другие преимущества. Применяя инструменты различной формы, можно делать не только отверстия, но и сложные вырезы (рис. 29). Кро-

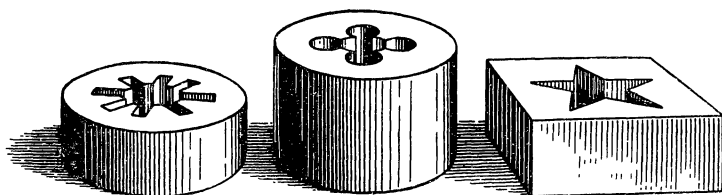


Рис. 29. Применяя инструменты различной формы, можно делать сложные вырезы

ме того, этим способом можно вырезать криволинейные оси, нарезать резьбу и зубья шестерни, изготавливать матрицы, выдавливать гравюры, шлифовать, клеймить, гравировать. И даже сверлить алмаз! На рис. 30 показан современный ультразвуковой станок 4Б772.

Чтобы просверлить и отполировать механическим способом алмазную фильеру диаметром до полутора миллиметров, требовалось около месяца. При ультразвуковом методе производительность увеличилась в 10 раз. Время на образование отверстия в алмазе диаметром 0,5 миллиметра сократилось со 120 до 2 часов, а на его полировку — с 3 часов до 30 минут. При этом достигается высокий класс чистоты обработки, в два раза увеличивается стойкость фильера, что открывает широкие возможности для увеличения скорости волоочильного оборудования. Для обработки алмазов применяют ультразвуковой станок МЭ-22.

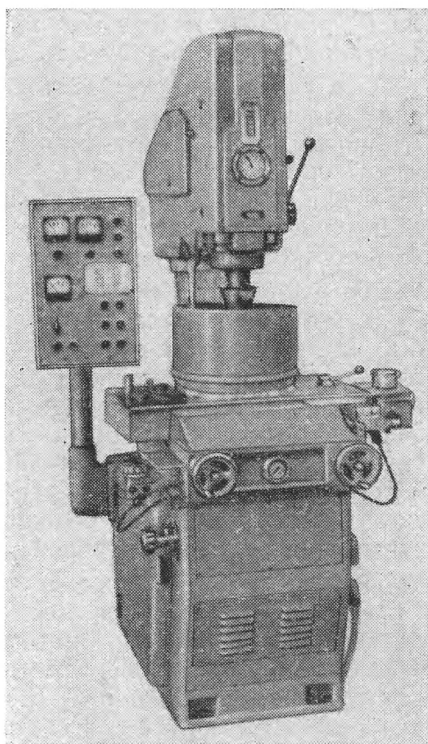


Рис. 30. Современный ультразвуковой станок модели 4Б772

В Центральной научно-исследовательской лаборатории камней самоцветов разработана впервые в нашей стране серия специализированных ультразвуковых станков для размерной обработки цветного природного и синтетического камня твердых пород. Одна из моде-

лей — станок УЗСК-80, предназначенный для получения выпукло-вогнутых рельефов на поверхности камня и для прошивания отверстий и высверливания заготовок различного профиля из твердых пород цветного поделочного камня. Преимущества ультразвуковой обработки бесспорны. Если раньше, чтобы изготовить художественный барельеф из камня, высококвалифицированные специалисты работали иногда несколько месяцев, то на станке такую работу можно сделать за несколько минут.

Сотрудники этой лаборатории разработали и изготовили новую модель станка — с двухсторонним действием. Если раньше на одном станке, например, за 10 минут изготавливали один барельеф, то сейчас за это же время — два барельефа, т. е. производительность увеличилась вдвое. На этом станке акустический преобразователь установлен не вертикально, как на его предшественниках, а горизонтально.

Ультразвук начали применять и при нарезании резьбы. Ультразвуковые колебания, наложенные на метчик вдоль его оси, обеспечивают значительное снижение крутящего момента. Специальные ультразвуковые резбонарезные станки применяют для нарезания внутренних резьб на деталях из труднообрабатываемых вязких материалов. Эта операция требует особой точности и чистоты обработки и на обычных станках не всегда получается из-за недостаточной механической прочности инструмента.

Процесс нарезания резьбы метчиком с воздействием ультразвука заключается в том, что метчику одновременно с обычным движением (вращательное вокруг оси и поступательное вдоль оси) сообщается дополнительное колебательное движение в осевом направлении с ультразвуковой частотой и небольшой, в несколько микрон, амплитудой. Из-за наложения колебаний на метчик резко снижается сила трения на боковых гранях режущей части, практически полностью устраняется их защемление, а также уменьшается усиление резания.

Ультразвуковая сварка, пайка, лужение. Существует несколько десятков методов сварки, но ни один из них не подходит, когда нужно сварить разнородные металлы или к толстым деталям приварить тонкие пластины. В этом случае оказалась незаменимой ультразвуковая

сварка. Ее иногда называют холодной сваркой, потому что детали соединяются в холодном состоянии.

Ультразвуковая сварка — это новый технологический способ соединения материалов; он занимает промежуточное положение между сваркой, трением и холодной сваркой давлением. Ультразвуковая сварка ведется при температуре значительно ниже температуры плавления, поэтому соединение деталей происходит в твердом состоянии.

С помощью ультразвука получены соединения меди, титана, молибдена, тантала, стали, алюминия и других металлов и сплавов. Лучшие результаты достигнуты при сварке алюминия и его сплавов. Ультразвук применяют также при сварке плавлением для повышения сопротивляемости и коррозионной стойкости металла шва.

Большое достоинство ультразвуковой сварки — возможность соединять тонкие листы и фольгу с деталями большей толщины, приваривать спиральные ребра к стержням, гофрированные листы к гладким, сваривать миниатюрные детали приборов. И все происходит без специальной зачистки поверхности. Это делает ультразвуковую сварку незаменимой в радиоэлектронной промышленности.

Для ультразвуковой сварки применяются специальные сварочные машины, они работают совместно с ультразвуковыми генераторами. Ультразвуковые сварочные машины очень экономичны. Для соединения, например, алюминиевых листов толщиной до полутора миллиметров требуется мощность всего в пять киловатт. При контактной электросварке потребовалась бы мощность в пятьдесят — шестьдесят раз больше.

На рис. 31 показан принцип действия ультразвуковой сварочной машины, а на рис. 32 — внешний вид ее.

Сравнительно недавно ультразвук начали применять для сварки пластмасс и керамики. Разработанный в нашей стране метод позволяет сваривать термопласты толщиной от нескольких микрон до 10 и более миллиметров. Причем так же, как и при сварке металлов, важна толщина только той детали, которая расположена со стороны сваривающего инструмента.

Метод ультразвуковой сварки привлекает все большее внимание исследователей и технологов. Ведь он легко поддается автоматизации и обеспечивает высокую

производительность труда. По росту производительности труда ультразвуковой метод не уступает сварке токами высокой частоты, а по количеству видов пластмасс, которые могут быть сварены, значительно превосходит ее. Ультразвуком легко свариваются такие диэлектрики, как, например, полиэтилен, полипропилен, полистирол.

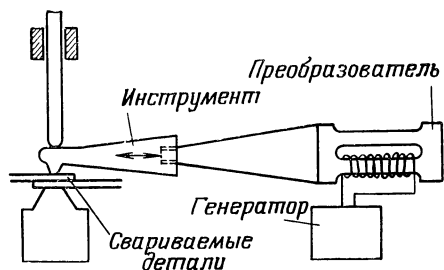


Рис. 31. Принцип действия ультразвуковой сварочной машины

Ультразвуковая сварка выгодно отличается от всех других способов возможностью сваривать детали даже при значительном их загрязнении. Поэтому ультразвуковую сварку успешно применяют для герметизации пластмассовых упаковок пищевых продуктов, а также лакокрасочных и горюче-смазочных материалов (рис. 33). Она незаменима и при упаковке легковоспламеняющихся продуктов и взрывчатых веществ: ведь при ультразвуковой сварке разогрев деталей происходит только в месте их контакта.

Ультразвуковую сварку начали применять и при изготовлении полупроводниковых приборов. Одна из фирм США внедрила поточную линию ультразвуковой сварки для изготовления полупроводниковых приборов. Ультразвук помог устранить хрупкую фазу в зоне соединения, образующуюся при диффузии золота с полупроводником, повысил качество и надежность транзисторов, появилась возможность заменить золотые проводники алюминиевыми.

Ультразвук с успехом применяют и в различных видах пайки. Некоторые металлы и сплавы, например алюминий, нержавеющей сталь, очень трудно паять

обычным способом. Алюминий на воздухе быстро окисляется, прочная пленка окиси не дает возможности смачивать металл жидким припоем. Эту пленку можно удалить механическим способом или с помощью флюсов, но это кропотливая и трудоемкая операция. Кроме того, флюсы отрицательно влияют на спай, порождают коррозию и приводят к пробоям токоведущих частей.

Как же спаять алюминий? С него удаляют пленку окиси и одновременно производят пайку. Введение ультразвуковых колебаний в расплавленный припой в процессе пайки или лужения способствует механическому разрушению окисной пленки, постоянно находящейся на соединяемых деталях, и облегчает смачивание припоем поверхности. Ультразвуковой метод пайки можно с успехом применять и при работе с керамикой. Ультразвуком можно лудить, а затем паять керамику и стекло.

Почему особый интерес ультразвуковой метод пайки вызывает в современных условиях? Потому что в промышленности начали применять новые специальные сплавы и керамику. В радиотехнической, электронной, электротехнической аппаратуре широко применяются детали и узлы из керамики, ферритов, кварца, абразивных и других материалов. Механические же крепления керамических деталей между собой и обеспечение электрических контактов с помощью вжигания серебра имеет ряд недостатков. Прежде всего расходуется драгоценный металл, высока трудоемкость, недостаточна механическая прочность, длителен технологический цикл производства. Ультразвуковой метод пайки исключает такие недостатки. Внедрение этого метода пайки алюминия

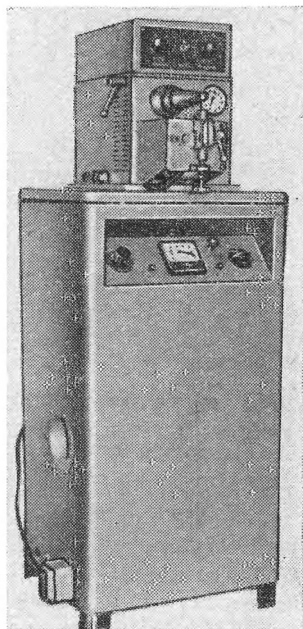


Рис. 32. Ультразвуковая сварочная машина

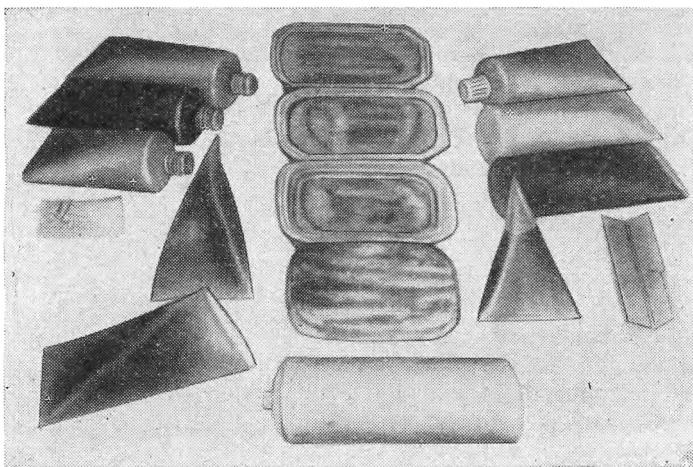


Рис. 33. Пластмассовые упаковки, сделанные с помощью ультразвука

значительно уменьшает ее трудоемкость и позволяет заменить медные провода алюминиевыми.

На рис. 34 изображен ультразвуковой паяльник УЗУП-2.

Не только пайку, но и лужение производят с помощью ультразвука. При лужении применяют тот же метод, что и при пайке, с той только разницей, что детали помещают в ванну с расплавленным припоем. Надежность ультразвукового лужения экспериментально проверена на ряде материалов, например на керамике, ферритах, абразивных изделиях, кварце, угольных и графитизированных изделиях, стекле, рубинах, инваре, ниобии, тантале, молибдене, вольфраме, титане, германии и др. Для лужения деталей без флюсов применяют специальные ультразвуковые ванны и паяльники.

Ультразвуковая очистка. Идет ремонт агрегата. Снимают для замены вышедшие из строя узлы и детали. Однако есть детали, пригодные для дальнейшей эксплуатации, но они очень грязны. Как их очистить? Для этого их кладут в ацетон или керосин, а затем вручную щетками счищают грязь. Это очень трудоемкая работа. Ведь многие детали в процессе производства требуют

тщательной очистки. Механическая ручная очистка (даже с применением различных растворов) не всегда отвечает требованиям современного промышленного производства. Кроме того, при механической очистке очень низка производительность труда и не исключены случаи брака.

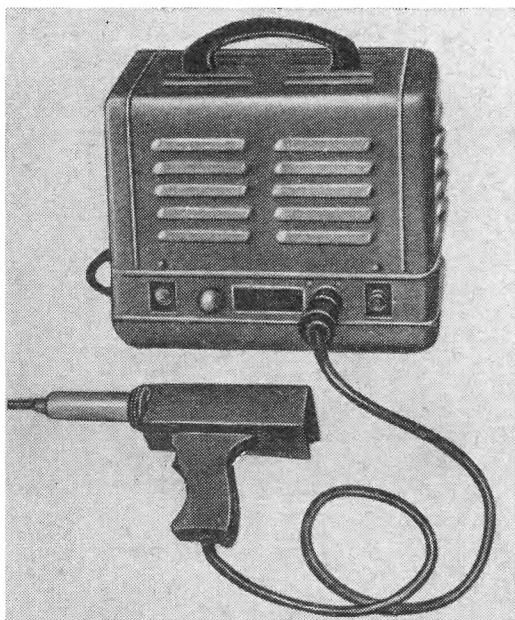


Рис. 34. Ультразвуковой паяльник УЗУП-2

Долгое время детали очищали в струйных моечных машинах, которые не всегда обеспечивают необходимую чистоту деталей. Для повышения качества очистки начали применять и другие виды очистки (косточковый, фарфоровый, крошкой, керосином под давлением, выжиганием нагара, химическим и электрохимическим обезжириванием, промывкой органическими растворителями и др.). Однако все перечисленные методы очистки не отвечают современным требованиям технологических процессов.

Наиболее эффективна и производительна ультразвуковая очистка. Включается генератор, и вода в ванне как бы вскипает, испытывая до 20 тысяч колебаний в секунду. Под действием ультразвука из воды выделяются крохотные пузырьки воздуха. Они с силой наталкиваются на поверхность деталей, отдирая грязь, жиры, окалину и

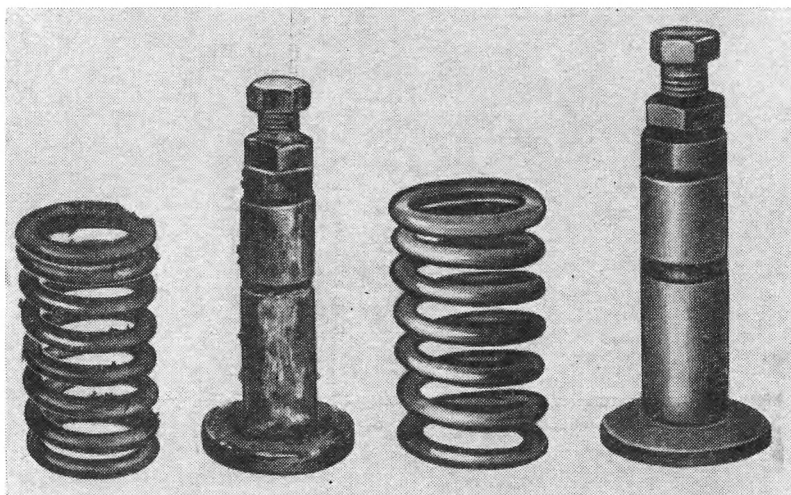


Рис. 35. Детали до и после ультразвуковой очистки

даже ржавчину. Через несколько минут детали, вынутые из ванны, светятся голубовато-серой поверхностью чистейшего металла. Небезынтересны такие данные. При прополаскивании на поверхности деталей остается до 80% загрязнений, при вибрационной очистке — около 55%, при ручной — около 20%, а при ультразвуковой — не более 0,5%. На рис. 35 показаны детали до и после ультразвуковой очистки.

Технология ультразвуковой очистки разработана детально и широко применяется на многих предприятиях. Изделия, очищенные ультразвуком, отличаются таким высоким качеством, которого нельзя достигнуть другими методами. В чем же преимущество ультразвуковой очистки перед механической? Оно очевидно, особенно если дело касается деталей, имеющих сложную форму,

труднодоступные места, узкие щели, маленькие отверстия и полости. Важное преимущество ультразвуковой очистки и в ее высокой производительности при малой затрате физического труда. Можно заменить огнеопасные или дорогостоящие органические растворители безопасными и дешевыми водными растворами щелочных солей.

На многих предприятиях ультразвук незаменим при очистке металлических, стеклянных, керамических и других деталей. Так, кольца подшипников и оптические детали очищают от полировочной пасты, печатные платы от флюса, детали проката и жести от термической окислыны и ржавчины, медицинский инструмент и стеклянную тару от жировых и других загрязнений и т. д. Особенно хорошей очистки требуют детали, обработанные с микронной точностью.

Много создано специализированных ультразвуковых автоматизированных агрегатов для отдельных отраслей промышленности. Они рассчитаны на очистку конкретной номенклатуры деталей. Используют такие установки при массовом или серийном производстве. Что показала длительная эксплуатация установок подобного типа? Их высокую экономическую эффективность, возможность механизации и автоматизации производства при значительном улучшении качества выпускаемой продукции.

Эти примеры только незначительная часть перечня возможных случаев применения ультразвукового метода очистки. Ведь очистка — это профессия ультразвука. Она получила наибольшее признание среди многих десятков других его профессий.

Очень трудна очистка паровых котлов и теплообменных аппаратов от накипи, которая ухудшает их теплопроводность и резко снижает эффективность работы. В теплообменных аппаратах слой накипи иногда достигает 12—15 миллиметров. Это вызывает перерасход топлива до 10 процентов. Опыт показал, что более целесообразно не очищать паровые котлы от накипи, а не допускать ее образования. Для этого с помощью прибора, вмонтированного в корпус парового котла, излучаются ультразвуковые колебания непрерывно или через некоторые промежутки времени. При этом для предотвра-

Щения появления накипи требуется мощность излучения меньшая, чем при очистке котлов от накипи. Ультразвуковая обработка паровых котлов замедляет процесс образования накипи в десятки раз. Этот же способ предотвращения образования накипи применяют и на сахарных заводах (рис. 36).

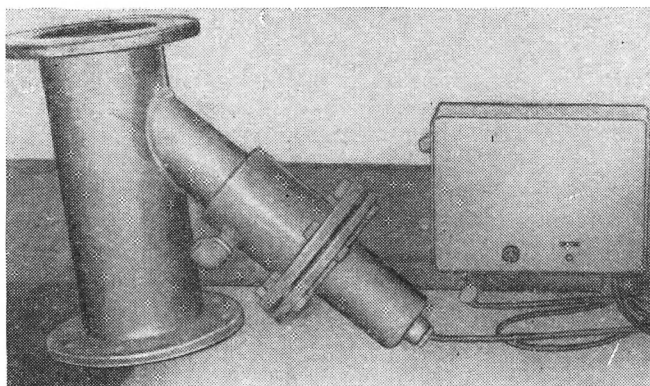


Рис. 36. Ультразвуковой прибор АУР для предотвращения образования накипи

Еще более трудоемкие работы приходится выполнять при очистке днищ кораблей и судов от обрастания различными морскими живыми и растительными организмами. Процесс очистки осложняется еще тем, что такие работы можно выполнять только в доке. Если же днище корабля облучать ультразвуковыми колебаниями, то обрастать оно будет значительно медленнее.

Большая проблема — борьба с загрязнением воздуха (пыль, дым, копоть, туман, окислы металлов и т. п.). Она успешно разрешается также с помощью ультразвуковых приборов. Почему загрязняется воздух? Потому что мельчайшие частицы различных веществ из заводских и фабричных труб устремляются вверх, а потом разносятся ветром на большие расстояния и постепенно осаждаются в жилых районах, причиняя много неприятностей людям. Например, цементная пыль не только загрязняет воздух, но и свидетельствует о бесхозяйственности и расточительстве. Тысячи тонн цемента теряют

некоторые заводы в виде распыленных мельчайших частиц при обжиге. То же самое еще происходит кое-где и на химических, алебастровых, сажегазовых и других предприятиях.

В чем же сущность ультразвуковой очистки воздуха? Мельчайшие частицы различных веществ под воздействием ультразвуковых колебаний укрупняются, а становясь тяжелее, осаждаются и улавливаются специальными фильтрами.

Ультразвуковые методы очистки воздуха от загрязнений применяются во многих отраслях промышленности. Например, использование таких методов в шахтах позволило почти полностью очистить воздух от угольной пыли. Ученые предложили новый метод очистки газов от примесей. Для этого в газ, подлежащий очистке, вводят химические добавки. В результате реакции образуются мельчайшие капельки в виде тумана, в ультразвуковом поле они укрупняются, затем улавливаются фильтром.

Ультразвуковой контроль качества. Ультразвуковая дефектоскопия — один из методов неразрушающего контроля. Она нашла широкое применение в технике, и особенно военной, где детали, узлы и агрегаты должны выдерживать гигантские нагрузки, скорости, давления. Поверхностные дефекты можно заметить. А как заглянуть в толщу металла? Для этого сравнительно давно пользуются просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами. Но этому методу присущ серьезный недостаток — им можно исследовать только поверхностный слой или небольшие детали. Кроме того, рентгеновские или гамма-лучи обнаруживают лишь относительно большие дефекты.

В 1928 г. советский ученый С. Я. Соколов после проведенных исследований и опытов предложил для выявления дефектов использовать ультразвук. Ученый доказал, что ультразвуковые волны, почти не ослабевая, проходят в металле значительные расстояния (до 8—10 метров). Если в проверяемой детали будет даже незначительная трещина, ультразвуковая волна заметно уменьшится в мощности, давая тем самым возможность обнаружить даже самые маленькие дефекты. Дефект будет своего рода экраном для распространения ультразвуковых колебаний, в результате чего возникнет ультразву-

ковая тень. Этот метод назвали теневым. Существуют и другие методы ультразвуковой дефектоскопии: импульсный, резонансный, импедансный, относительный метод структурного анализа, метод визуализации (звуковидение) и др.

Теневой метод, как уже упоминалось, основан на ослаблении проходящего ультразвука при наличии внутри детали дефектов, создающих ультразвуковую тень.

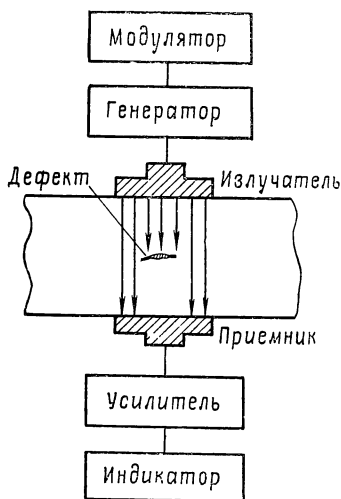


Рис. 37. Теневой метод ультразвуковой дефектоскопии

Если же в детали нет дефектов, ультразвуковая волна движется прямолинейно, пока не достигнет противоположной стороны. Если внутри детали будет дефект, то принятый ультразвуковой сигнал будет значительно ослаблен (рис. 37).

Теневой метод мало чувствителен. Кроме того, существенный недостаток теневых методов и в том, что во многих случаях невозможно определить, на какой глубине находится дефект. Зачастую при исследовании изделий возможен доступ только с одной стороны, а чтобы обнаружить дефект, необходимо

прижать излучатель и приемник ультразвука к двум противоположным сторонам. Теневым методом дефектоскопии применяют в основном для проверки тонких изделий, в частности стальных листов (рис. 38).

Импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии (рис. 39) в противоположность теневому основан на явлении отражения ультразвуковых волн. Ультразвуковой импульс, посланный излучателем, проходит сквозь проверяемое изделие и отражается от противоположной его поверхности в виде эхо-сигнала. Если же на пути ультразвукового импульса встретится трещина или раковина, то он отразится от них, что будет зарегистрировано на экране дефектоскопа в виде всплеска импульса. Если в детали несколько трещин или раковин,

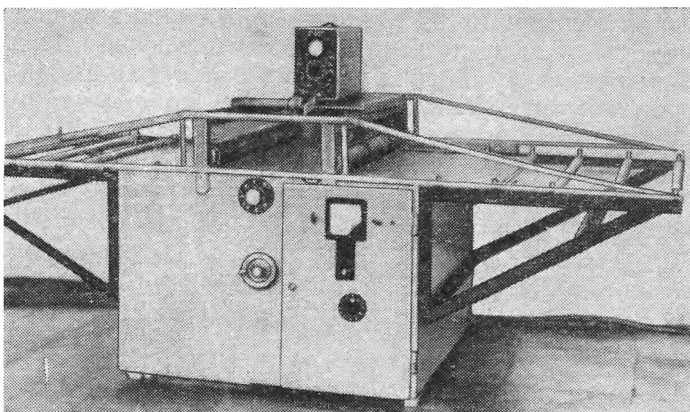


Рис. 38. Ультразвуковой дефектоскоп для проверки листового проката

расположенных одна за другой, то на экране дефектоскопа появится несколько всплесков. На рис. 40 показано практическое применение импульсного ультразвукового дефектоскопа.

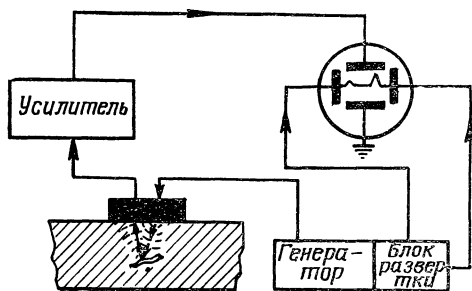


Рис. 39. Импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии

Импульсный метод обладает рядом преимуществ перед теневым. Он позволяет исследовать изделия при одностороннем доступе к ним. Это особенно ценно при проверке изделий, когда трудно или невозможно расположить приемник ультразвуковых колебаний с противоположной стороны проверяемого участка, что необходи-

мо при теновом методе. Кроме того, чувствительность импульсного метода значительно выше тенового. При теновом методе ослабление ультразвука от 100 до 95% не будет зарегистрировано, а при импульсном методе отражение даже 1% ультразвуковой энергии будет замечено.

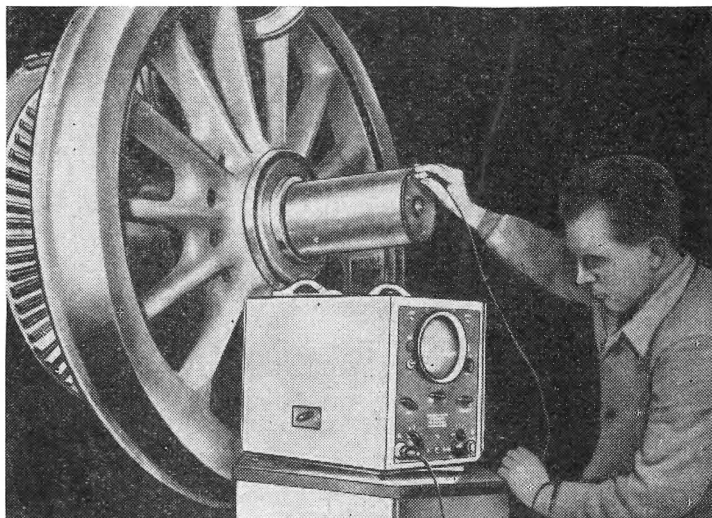


Рис. 40. Практическое применение ультразвукового импульсного дефектоскопа

Преимущество импульсного метода состоит еще и в том, что он позволяет не только с повышенной чувствительностью обнаружить мельчайшие дефекты, но и определить, на какой глубине они находятся. Кроме того, по величине амплитуды отраженного эхо-сигнала можно составить представление о размерах дефекта. Импульсный метод можно применить при контроле на автоматических линиях.

Резонансный метод ультразвуковой дефектоскопии (рис. 41) основан на использовании незатухающих колебаний. Колебания высокой частоты, вырабатываемые генератором, излучаются непрерывно ультразвуковой головкой в проверяемое изделие. Если собственная частота изделия будет равна излучаемой частоте, то воз-

никнет резонанс колебаний. При этом между падающими, отраженными волнами будет наблюдаться интерференция*. Если толщина изделия будет равна целому числу полуволн, то возникнут стоячие волны. Это и будет свидетельствовать о том, что резонансная частота образца совпадает с частотой генератора. Если настро-

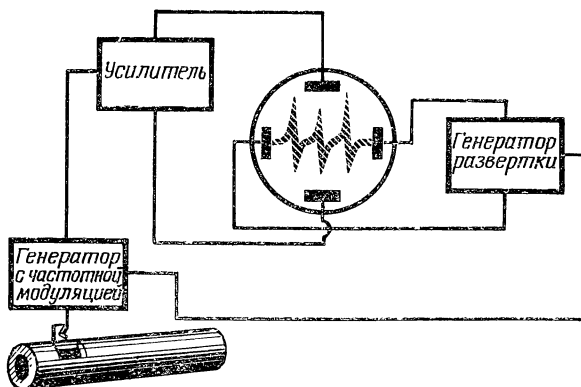


Рис. 41. Резонансный метод ультразвуковой дефектоскопии

ить частоту генератора на резонансную частоту изделия определенной толщины, то при исследовании других участков изделия можно заметить момент исчезновения резонанса. Это и укажет на изменение толщины или наличие внутри изделия дефекта. Зная частоту излучаемого ультразвука и скорость его распространения в материале контролируемого изделия, легко определить его толщину или расстояние до дефекта.

Резонансный метод ультразвуковой дефектоскопии чаще применяют в толщиномерах при одностороннем доступе к контролируемым изделиям (обшивка кораблей, котлов, оболочек кабеля и т. д.). Особенно он удобен при проверке состояния обшивки подводной части корпуса корабля (без постановки его в док). На рис. 42 изображен ультразвуковой резонансный дефектоскоп УРТ-6 (ТУК-3).

* Интерференция — взаимное усиление или ослабление волн (звуковых, световых, электрических) при их наложении друг на друга.

Импедансный метод контроля основан на использовании зависимости полного механического сопротивления (импеданса) контролируемого изделия от качества соединения между собой отдельных его элементов. Изменение входного импеданса контролируемого изделия может быть обнаружено различными способами,

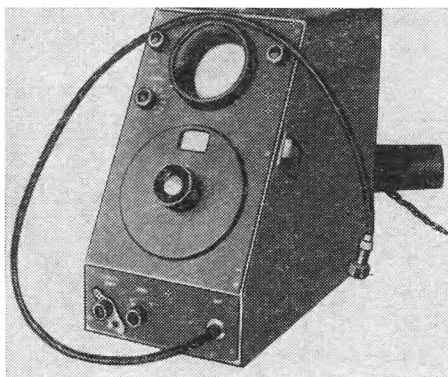


Рис. 42. Ультразвуковой резонансный дефектоскоп УРТ-6

например по изменению амплитуды или фазы силы реакции на датчик, возбуждающий в изделии упругие колебания, или по изменению собственной частоты датчика.

Импедансный метод разработан советским ученым Ю. В. Ланге и предназначен для дефектоскопии клеевых соединений. Следует учитывать, что различие физических свойств этих материалов, а также резкое их отклонение от свойств применяемых клеев создает трудности в выявлении дефектов большинством других методов неразрушающего контроля. Теневой, импульсный и резонансный методы для этой цели могут быть применены лишь частично. Универсальностью они не обладают и в большинстве случаев не могут быть использованы.

Импедансный метод можно широко применять, когда требуется надежный стопроцентный контроль спаянных и клеевых соединений. Им можно контролировать не только склеенные или спаянные соединения, но также и диффузионные соединения, например плакированные листы

и прутки. Область применения этого метода достаточно велика, а контроль может быть автоматизирован.

Относительный метод структурного анализа основан на использовании свойства затухания ультразвуковых колебаний в металлах. Затухания связаны с рассеянием ультразвука из-за неоднородности структуры и с поглощением его.

Относительным методом структурного анализа можно контролировать величину зерна в хромоникелевых нержавеющих сталях, структуру высокопрочного чугуна, определять, сколько графитных включений в сером чугуне. Этот метод на промышленных предприятиях значительно упрощает контроль структуры металлов и изделий.

Метод ультразвуковой визуализации основан на преобразовании ультразвукового изображения в видимое и позволяет не только обнаруживать дефекты, но видеть форму и размеры их. Этот метод исследования перспективен и таит в себе возможность совершенствовать ультразвуковую дефектоскопию.

Метод ультразвуковой дефектоскопии нашел применение во многих производственных процессах на самых различных промышленных предприятиях. Хорошие результаты получены при ультразвуковой дефектоскопии сварных труб. Ультразвуку посильна проверка качества листовых материалов. Ультразвуковой контроль листового проката обнаруживает дефекты, невидимые при наружном осмотре и даже при контроле всеми другими методами. Он позволяет рационально раскраивать, обрезать, сортировать прокат и корректировать технологические режимы металлургического и прокатного циклов для улучшения качества металла.

При современных скоростях движения поездов важно знать состояние рельсового пути. Ведь малейший изъян — трещина, расслоение рельса — может привести к крушению. Простым глазом дефект обнаружить очень трудно. И здесь на помощь приходит ультразвуковой дефектоскоп. Он безошибочно обнаруживает дефект в рельсах, предотвращая аварии.

Кораблестроители тоже не обходятся без ультразвукового дефектоскопа. Он незаменим при определении износа корпуса судна от коррозии. Раньше для этого приходилось сверлить сотни отверстий, а затем заваривать

их. Сейчас для проверки обшивки корабля необходимо только зачистить поверхность. Ультразвуковым методом можно проверять также котлы и емкости различного назначения.

У строителей много проблем, связанных с контролем качества. Прежде чем строительный элемент станет частью здания, он должен пройти испытания. До недавнего времени был только один метод: из партии изделий выбиралось одно и испытывалось нагрузкой до полного разрушения. Но такой метод несовершенен, так как не позволяет иметь характеристику каждого элемента. Теперь контролируют прочность железобетонных конструкций с помощью ультразвука. Современные приборы позволяют автоматически контролировать нарастание прочности бетона в изделиях, проходящих цикл тепловой обработки.

Бетон — это не только конструкции, а и дороги, которые, прослужив много лет, «заболевают», теряют прочность. Установить диагноз такого «заболевания» помогает ультразвуковой дефектоскоп. Первые испытания прибора прошли на московской кольцевой автомобильной дороге в 1964 г. Такие приборы применяются и для исследования изделий из органического стекла, эбонита, пластических масс, капрона и других материалов.

Строителям поручили реставрировать один из древнейших памятников архитектуры. Нужно было проверить состояние стропил здания. Без колебаний строители применили ультразвук и проверили все стропила. А раньше проверку делали пробным распиливанием одного или нескольких стропил.

А вот еще одно интересное применение ультразвукового дефектоскопа. Однажды, прозвучивая стены храма Василия Блаженного, обратили внимание на странную особенность: в одном и том же здании время прохождения импульса было разным. Исследования показали, что на том месте, где сейчас высится Василий Блаженный, стоял небольшой храм. Древние строители не разрушили его стены, а включили их незаметно для глаз потомков в новый архитектурный ансамбль. Это сообщение заинтересовало историков. Когда сняли штукатурку, то убедились, что вывод, сделанный учеными с помощью ультразвукового дефектоскопа, правильный.

Ультразвуковой экспресс-анализ. Долгое время серь-

езной проблемой в производственных процессах был контроль состава и свойств вещества. Для того чтобы проверить, например, концентрацию жидкой среды, определить момент окончания какого-либо физико-химического процесса, требовалось много времени на взятие проб. Более того, такой метод контроля очень неудобен, да и небезопасен. Многие агрессивные жидкости вредны для здоровья человека. Учитывая это, ученые предложили ряд физических и физико-химических методов контроля состава и свойств вещества. Один из них — ультразвуковой.

Ультразвуковой метод анализа основан на непрерывном определении величин скорости распространения или затухания ультразвука в исследуемой среде. Распространение ультразвуковых колебаний в веществе определяется его составом, структурой и свойствами. Знание величин скорости или затухания ультразвука позволяет выяснить и уточнить молекулярное строение вещества, а также определить концентрации исследуемых жидких и газообразных сред и наличие в них примесей. Даже самые незначительные примеси в той или иной среде могут заметно изменить величину скорости распространения ультразвуковых волн.

Ультразвуковой метод контроля состава и свойств вещества очень удобен, так как быстр и не требует взятия специальных проб. Исследования можно проводить в реакторе, тигле при любых температурах и давлениях без остановки производственных процессов.

При контроле состава и свойств вещества можно определять скорость распространения или затухание ультразвука в твердых и жидких средах.

Предположим, в сосуде происходит физико-химический процесс. Если, например, концентрация раствора достигнет необходимой величины, то скорость распространения ультразвука в среде будет определенной, т. е. время прохождения импульса от излучателя к отражателю и обратно будет соответствовать определенной величине. Если заранее прокалибровать индикатор или составить специальные графики, то можно не только делать отдельные замеры, а непрерывно следить за процессом. На рис. 43 показана схема метода определения скорости ультразвука.

Многие приборы хорошо уже зарекомендовали себя и применяются в лабораториях и на промышленных предприятиях. Наибольшее распространение получили приборы, основанные на измерении времени распространения ультразвука, например импульсные и частотно-

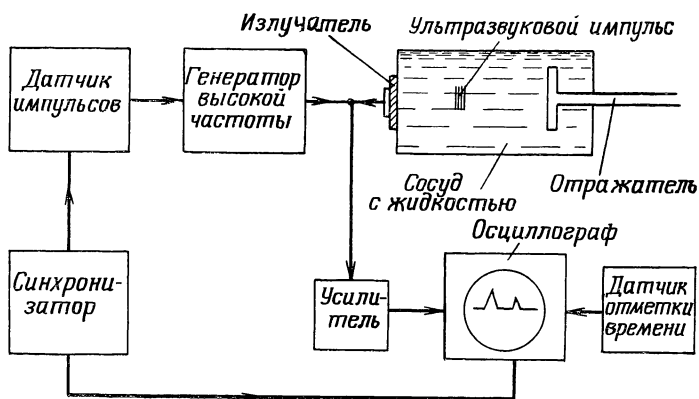


Рис. 43. Схема импульсного метода определения скорости ультразвука

импульсные приборы прямого измерения времени распространения ультразвука в исследуемой среде, а также импульсно-фазовые компенсационные косвенного измерения времени распространения ультразвука в исследуемой среде (т. е. с помощью эталонной среды). На рис. 44 изображен внешний вид ультразвукового экспресс-анализатора УЗА-3С.

Вязкость для смазочных масел — одна из основных характеристик. По вязкости судят и о качестве краски, предназначенной для окраски методом распыления. Один из показателей свойств нефти также вязкость. Долгое время ее измеряли примитивным способом. Несравнимо удобнее для этой цели ультразвуковые вискозиметры. Они позволяют непрерывно определять вязкость любой жидкости, в том числе и расплавленного металла. Существует несколько типов ультразвуковых вискозиметров. Один из них наиболее часто применяется и основан на принципе демпфирования. Если металлический стержень, помещенный в жидкость, коротким ударом заставить колебаться, то через некоторое время колебания затух-

нут. Скорость спадания амплитуды будет зависеть от вязкости среды. Чем больше вязкость, тем быстрее затухают колебания.

Для измерения уровня жидкостей применяются ультразвуковые уровнемеры. Принцип их действия основан

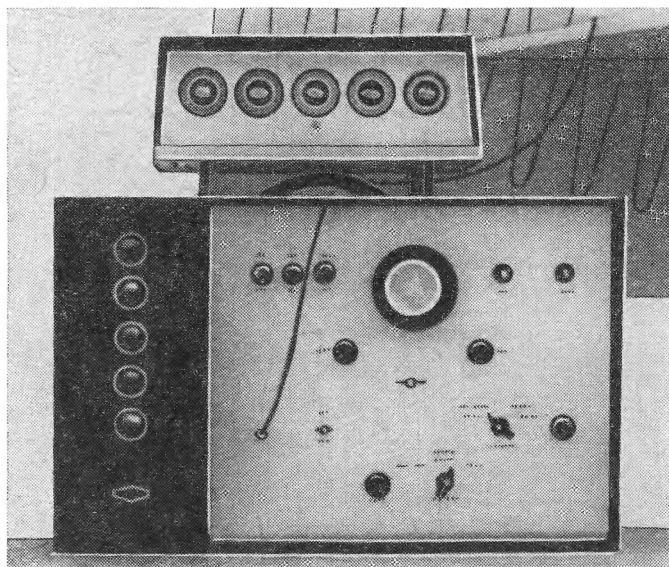


Рис. 44. Ультразвуковой экспресс-анализатор УЗА-3С

на использовании свойств ультразвуковых колебаний отражаться от границы раздела двух сред (рис. 45). Уровень жидкости можно измерить и от верхней кромки сосуда и от его дна. В первом случае измеряется высота газового или парового столба до наполнителя, во втором — непосредственно высота наполнения от дна сосуда. Более удобны уровнемеры с креплением датчиков в верхней части аппарата, в этом случае исключается влияние осадков на датчики и обеспечивается возможность более легкого доступа к ним при обслуживании. На рис. 46 показан ультразвуковой уровнемер УЗУ-3.

Разновидность ультразвуковых уровнемеров — ультразвуковые сигнализаторы уровня (рис. 47). Они слу-

жат для сигнализации о наличии в аппарате или трубопроводе жидкости на определенном уровне. Такой прибор фиксирует уровень жидкости с точностью до пяти миллиметров. Кроме того, с помощью ультразвукового сигнализатора можно автоматически поддерживать не-

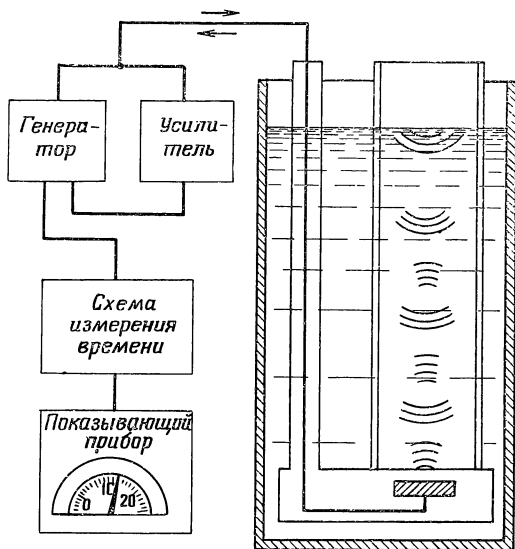


Рис. 45. Принцип действия ультразвукового уровнемера

обходимый уровень. Роль ультразвуковых уровнемеров и сигнализаторов уровня особенно важна при работе с агрессивными и токсическими жидкостями, хранящимися в герметически закрытых емкостях. Ультразвуковые уровнемеры можно применять и для измерения уровня воды в реках, озерах и бассейнах.

А как измерить расход жидкости, проходящей по трубопроводу? Механические расходомеры имеют недостаточную точность. Очень удобны для этой цели ультразвуковые расходомеры. Принцип действия их основан на измерении скорости потока (рис. 48). Предположим, что жидкость в приборе проходит слева направо. Если послать ультразвуковой импульс в направлении потока жидкости, то скорости ультразвука и потока будут склады-

ваться ($C + V$). Если же ультразвуковой импульс послать против потока, то скорость ультразвука будет меньше на величину скорости потока ($C - V$). Определив время прохождения ультразвука в первом и втором слу-

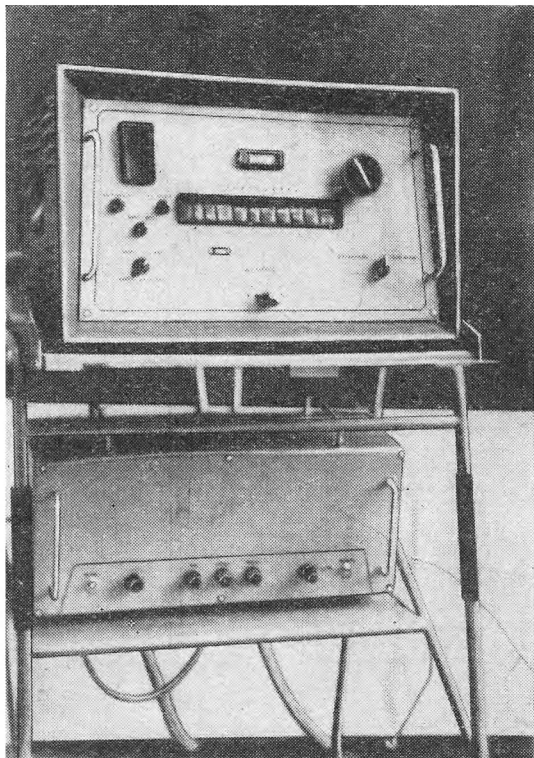


Рис. 46. Ультразвуковой уровнемер УЗУ-3

чаях и зная расстояние D между акустическими преобразователями I и II, можно определить скорость потока.

Ультразвуковые расходомеры применяются на промышленных предприятиях металлургического и химического производства. Особенно незаменимы ультразвуковые расходомеры при замере потоков агрессивных сред и пульп. Они могут применяться также на гидроэлектро-

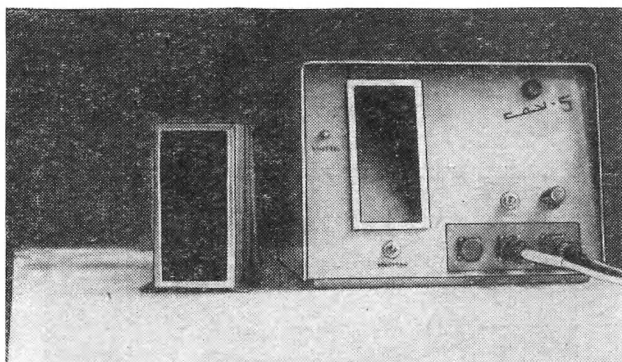


Рис. 47. Ультразвуковой сигнализатор уровня СДУ-5

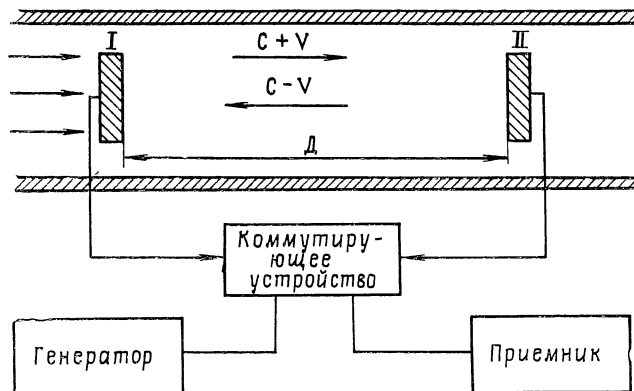


Рис. 48. Принцип действия ультразвукового расходомера

станциях для определения расхода воды в камерах турбин. На рис. 49 показан ультразвуковой расходомер.

Ускорение производственных процессов с помощью ультразвука. Долгое время считали, что некоторые жидкости невозможно смешать, поэтому их так и называли — несмешивающимися. Это вода и масло, вода и эфирные масла, вода и ртуть и многие другие. А ведь часто возникает необходимость в смешивании различных несмешивающихся жидкостей, т. е. в получении эмульсий.

Если налить в сосуд две несмешивающиеся жидкости, то между ними будет резкая граница раздела. Сколько ни тряси сосуд, сколько ни перемешивай, все равно ничего не получится. Если же на поверхность раздела между двумя жидкостями воздействовать интенсивными ультразвуковыми колебаниями, то возникшие

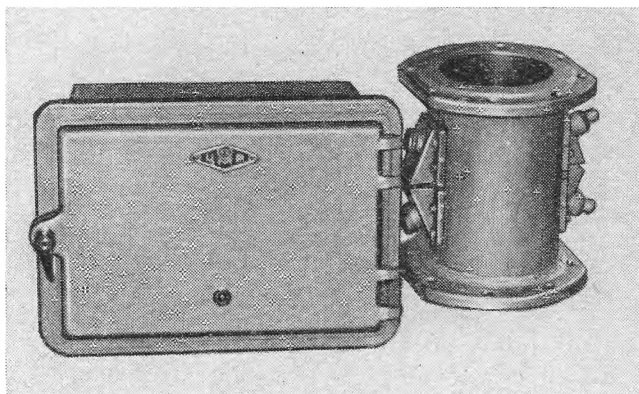


Рис. 49. Ультразвуковой расходомер РУЗ-714

очень маленькие капельки одной жидкости будут соединяться с капельками другой, в результате чего получается очень устойчивая эмульсия.

Ученые доказали, что при ультразвуковом облучении могут возникать активизированные частицы, необходимые для зарождения цепных реакций. Изменяя состав растворенных в воде веществ, ученым удается управлять зарождением активных частиц в кавитационных пузырьках. Это очень важное достижение. Еще один шаг — и ученые начнут воздействовать ультразвуком на молекулы-гиганты гормонов, ферментов и других биологически активных веществ. Все это говорит о формировании нового направления в химии — ультразвуковой химии. Научные исследования и практические опыты показали, что применение ультразвуковых устройств позволяет значительно интенсифицировать протекание различных производственных процессов. Например, полимеризация, деполимеризация, окисление, восстановление,

электроосаждение, дегазация, кристаллизация, предотвращение инкрустирования, диспергирование, эмульгирование, коагуляция аэрозолей, гомогенизация, растворение, сушка, горение, дубление и другие. На рис. 50

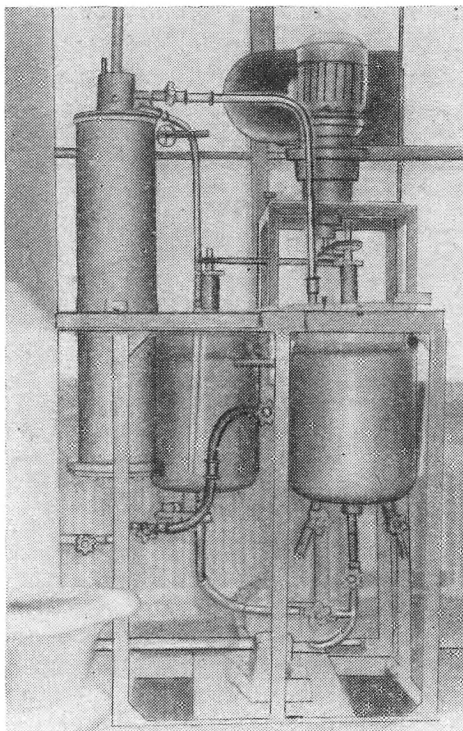


Рис. 50. Ультразвуковой аппарат для интенсификации производственных процессов

показан ультразвуковой аппарат для интенсификации производственных процессов.

Под воздействием ультразвука значительно улучшается процесс гальванического осаждения металлов и сплавов. Действие ультразвуковых колебаний снижает водородную поляризацию и облегчает разряд ионов. Так, оказывается возможным повысить катодную плотность тока, ускорить процесс отложения металла, повы-

сить качество осадка и получить другие технические и экономические преимущества. При воздействии ультразвука на электролитические процессы возрастает скорость осаждения металла. Осаждаемый металл имеет мелкокристаллическую структуру, уменьшается пори-

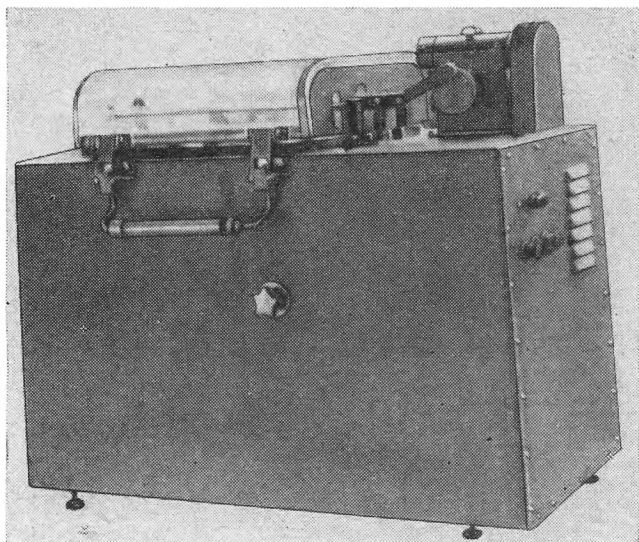


Рис. 51. Ультразвуковая установка ВУГ-1 для ускорения гальванических процессов

стость покрытия, создается возможность получить блестящие осадки без блескообразователей. Ультразвук применяется и при меднении, никелировании, хромировании, кадмировании, латунировании, цинковании, серебрении, золочении. На рис. 51 показана ультразвуковая установка для ускорения гальванических процессов.

Если в расплавленный металл ввести ультразвуковые колебания, произойдет заметное измельчение зерна, уменьшение пористости (рис. 52). Кроме того, ультразвуковые колебания повышают показатели механических свойств затвердевших расплавов и снижают их газонасыщенность.

Большинство технических металлов и сплавов при литье активно взаимодействуют с газами. Если газ в процессе кристаллизации сплава не успевает выйти на поверхность, то возникают поры и раковины. Особенно склонны к взаимодействию с газами алюминий и его

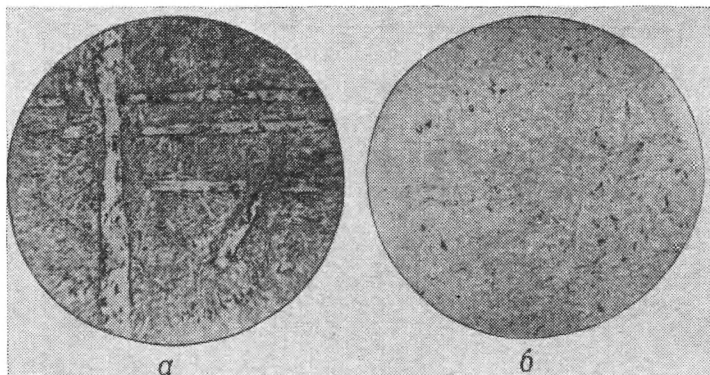


Рис. 52. Ультразвуковая обработка расплавленного металла: *а* — структура металла, не обработанного ультразвуком, *б* — структура металла, обработанного ультразвуком

сплавы. Из всех газов в расплавленном алюминии и его сплавах 80% приходится на водород. Поэтому металлурги стремятся удалить водород из алюминиевых сплавов, т. е. к их дегазации. В Советском Союзе разработан новый технологический процесс дегазации алюминиевых сплавов с воздействием ультразвука. Он позволяет намного снизить содержание водорода в сплаве. На рис. 53 изображен один из ультразвуковых дегазаторов, применяющийся в металлургии.

Одно из новых применений ультразвука — это воздействие им на вещество при кристаллизации. Ультразвуковые колебания успешно применяют в металлургии для управления процессом кристаллизации литой структуры. После обработки ультразвуком расплавов при кристаллизации наступает измельчение зерна, а структура отливки получается более равномерной. Механические свойства отливок при кристаллизации значительно повышаются. Прочность на растяжение отливки алюминиевого сплава значительно увеличивается. Для измельче-

ния зерна в слитках металла применяют специальные устройства — ультразвуковые приставки к кристаллизаторам (рис. 54). Они работают совместно с водоохлаждаемыми кристаллизаторами.

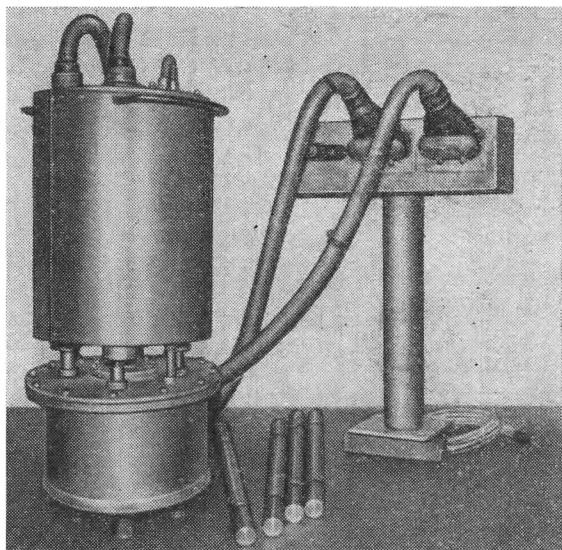


Рис. 53. Ультразвуковой дегазатор УЗД-200М

Ультразвук применяют и при обработке металлов и сплавов в твердом состоянии. Это приводит как бы к разрыхлению структуры и к искусственному их старению. Ультразвук влияет и на процесс естественного старения алюминиевых сплавов. Продолжительность его сокращается в десятки раз. Исследованиями установлено, что ультразвук улучшает физико-химические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов и ускоряет процессы термической и химико-термической обработки. Ультразвуковые колебания при закалке повышают охлаждающую способность специальной жидкости, а также механические свойства и прокаливаемость стали. Ультразвук применяют для отпуска углеродистых сталей. Под воздействием ультразвуковых колебаний этот процесс заметно ускоряется.

Ультразвук незаменим для ускорения химико-технологических процессов. Например, в ультразвуковом поле в ряде случаев ускоряются полимеризация и деполимеризация. Под действием ультразвука ускоряется растворение твердых тел в жидкостях. Интенсивность ультразвуковых колебаний при этом должна быть значительно большей, чем при эмульгировании жидкости.

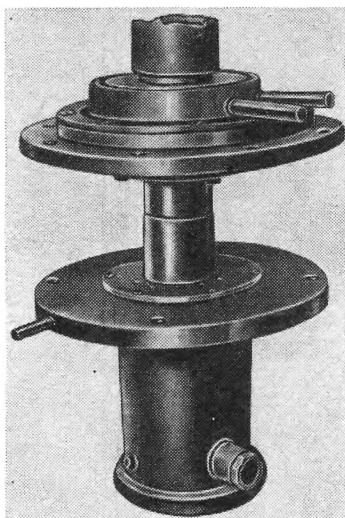


Рис. 54. Ультразвуковая приставка к кристаллизатору

Взвешенные примеси в газах нежелательны. С помощью ультразвука можно выделить твердые и жидкие частицы из газов. Ультразвуковыми колебаниями можно интенсифицировать не только процесс коагуляции (укрупнения) взвешенных частиц, но непосредственно и само их осаждение.

Часто возникает необходимость в распылении. Воздействуя ультразвуковыми колебаниями большой интенсивности на жидкости, можно получить аэрозоли высокой плотности. Они необходимы для ряда технологических процессов в химической промышленности и военном деле.

При изготовлении кабелей пропитывают джут, он используется для прокладки под бронированную оболочку кабеля. Для ускорения пропитки джута применили ультразвук. Бобины джута помещают в ванны с пропиточным составом и подвергают воздействию ультразвуковых колебаний. Пропиточная жидкость как бы «вгоняется» в волокна, и срок пропитки сокращается в десятки раз. Ультразвук начали применять и для пропитки электротехнических намоточных изделий, а также для герметизации литых пористых деталей. Применение ультразвука позволяет сократить время пропитки в несколько раз и в ряде случаев заменить двух-, трехкратную пропитку одноразовой при сохранении требуемого качества.

Вместе с тем процесс ультразвуковой пропитки хорошо поддается механизации.

Этим не ограничиваются примеры использования ультразвука для ускорения различных производств. Многие химические процессы связаны с реакциями, протекающими между различными жидкостями. Для их ускорения очень важно, чтобы жидкости активно перемешивались. С этой задачей хорошо справляется небольшой ультразвуковой аппарат, который ускоряет процесс в 5—6 раз. Два-три таких аппарата, расположенные в небольшой комнате, способны заменить оборудование, которое занимает целый цех.

Строители тоже начали применять эмульсию (полученную с помощью ультразвука) для приготовления высококачественных красок и шпаклевочных материалов. Ультразвук позволил вдвое уменьшить расход олифы. Так ультразвук стал союзником маляров. Его начали применять и при электроокраске. Это позволило получить лаки и краски необходимой вязкости, а расход растворителей резко сократился.

Ультразвук помогает строителям и в другом. Клей соединил детали из полимеров. Однако обычно приходится долго ждать, пока испарится растворитель и конструкция приобретет достаточную прочность. Нагревать детали нельзя — органический растворитель может воспламениться. Строители применили низкотемпературную сушку с помощью ультразвука, и процесс соединения деталей ускорился.

Текстильщики используют ультразвук для приготовления шлихты. Ультразвуковая установка позволяет приготовить шлихту значительно быстрее и при более низкой температуре, сокращается потребление пара, экономятся крахмал и химические расщепители. Шлихта, приготовленная с помощью ультразвука, обладает хорошей клейкостью. Она устойчива и в работе и при длительном хранении. Применение ее улучшает качество основ и снижает обрывность их на ткацких станках.

Ультразвук применили и при производстве бумаги. Благоприятное воздействие ультразвуковых колебаний на волокнистую массу дало толчок новому направлению в конструировании размалывающей аппаратуры в целлюлозно-бумажном производстве. Для этого применяют ультразвуковой центробежно-пульсационный аппарат.

Рафинерная масса, обработанная в таком аппарате, может быть использована в технологическом потоке для выработки бумаги. Применение аппарата на целлюлозно-бумажном комбинате дает ежегодную экономию в десятки тысяч рублей.

Ультразвук в сельском хозяйстве. Два поля были засеяны одними и теми же сортами помидоров. Одинаковы на них были нормы удобрений, поливов, сроки и количество произведенных работ. Но кусты растений на одном поле были выше, крепче, количество плодов больше. Да и витаминами эти избранники были значительно богаче своих соседей. И урожай здесь созрел на неделю быстрее и на двадцать процентов был больше, чем на другом поле. Весь секрет успеха в том, что семена перед посевом на этом поле были обработаны в течение двух минут ультразвуком.

Воздействие ультразвука сопровождается изменениями в структуре молекул и в составе аминокислот, ускорением процессов окисления. Помидоры — это не единственная сельскохозяйственная культура, подверженная благотворному воздействию ультразвука. Дыни, морковь, лук, картофель, капуста и другие овощи лучше произрастают при такой обработке их семян перед посевом.

Ученые Узбекистана после многочисленных опытов и исследований установили, что обработка семян дыни и кукурузы ультразвуком улучшает развитие растений. В некоторых случаях ультразвук повышает урожайность до 40%. При этом различные сорта одного и того же растения для повышения урожайности нуждаются в ультразвуковой обработке разной продолжительности и частоты. Такие же опыты были проделаны с капустой, луком и морковью. Они показали, что недалек тот день, когда новый агроприем — обработка посевного и посадочного материала ультразвуком — будет широко использован на полях страны.

Расскажем о применении ультразвука в хлопководстве. Известно, что посев хлопчатника оголенными семенами с заданным количеством гнезд в несколько раз сокращает посевную норму. Хлопководческие хозяйства получают от этого миллионы рублей экономии. Но оголение семян хлопчатника — очень кропотливая и трудоемкая операция. С применением ультразвука все трудности исчезли. Кроме того, ультразвук оказался хорошим

стимулятором роста и развития хлопчатника. Наблюдения показали, что энергия прорастания семян хлопчатника, обработанных ультразвуком, значительно выше, чем обычных. Интересно отметить, что хлопчатник, выросший из обработанного ультразвуком семени, не поддается заболеванию, устойчив к ядохимикатам, в частности к гербицидам. Есть предположение, что ультразвук будет способствовать «конструированию» хлопковых кустов. Это очень важно для машинной уборки.

Ультразвук найдет практическое применение и в производстве чая. Ультразвуковые колебания определенной частоты мгновенно разрушают оболочки клеток зеленого чайного листа. Существующая технология не обеспечивает максимального использования сырья. При скручивании чайного листа одна четверть клеток не подвергается биохимическим превращениям и поэтому не принимает участия в создании вкусовых и ароматических свойств. Ультразвук же позволяет разрушить все оболочки чайного листа.

Ультразвук в пищевой промышленности. Как улучшить продукты, как их сделать более ценными и питательными, удобными для употребления и дешевыми? Это зависит от многих факторов, важнейший из которых — применение современных достижений науки и техники. Одно из перспективных направлений в этой области — ультразвук.

Применение ультразвуковых колебаний повышает качество пищевых продуктов и улучшает технологические процессы в молочной, мясной, рыбной, бродильной, хлебопекарной, кондитерской, винодельческой, пивоваренной, консервной, парфюмерной отраслях промышленности. Ультразвук можно широко применять в пищевой промышленности для стерилизации, пастеризации и дезинфекции. Например, в молочной — для пастеризации молока и повышения стойкости свежего молока, в бродильной и безалкогольной — для обезжиривания производственной воды, в консервной — для стерилизации консервов, пастеризации фруктовых консервов и т. д.

Молоко — скоропортящийся продукт. Естественно, многие ученые занимались проблемой повышения сроков его сохранности. Это относится и к другим молочным продуктам. В результате многочисленных экспериментов было установлено, что ультразвуковые колебания опре-

деленной частоты и интенсивности оказывают благоприятное воздействие на молочные продукты, не только повышая сроки сохранности, но и улучшая их качество.

Ультразвук ускоряет процесс созревания сыра. Полуфабрикат сыра обрабатывают ультразвуком десять минут, после чего созревание его длится шесть недель вместо пяти месяцев. Кроме того, его используют для эмульгирования смеси в процессе изготовления плавленого сыра.

Ученые Грузии применили ультразвук при получении тунгового масла — ценнейшего материала в производстве красящих веществ. Семена тунга, обработанные ультразвуком, лучше набухают, и выход масла увеличился на два процента. Учитывая большую ценность и дефицитность тунгового масла, применение ультразвука для увеличения выхода масла ученые признали экономически выгодным. Ультразвук может быть использован и для осветления растительных масел.

Недавно на некоторых хлебокомбинатах применили ультразвук для приготовления масловодных эмульсий. Вместо обычного масла, которым смазывали формы перед выпечкой хлеба, использовали эмульсию из воды и масла. Качество смазки форм намного улучшилось, булки стали пышнее и вкуснее, а главное, эмульсия сократила расход масла на 90%. Это позволило только на одном хлебокомбинате сэкономить десятки тысяч рублей.

Еще большие возможности для ультразвука в кондитерской промышленности. Например, ультразвуковые колебания позволяют ускорить кристаллизацию сахарозы и получить однородную массу при изготовлении помадки для конфет. При этом качество ее повышается. Под действием ультразвука быстро развивается и улучшается специфический вкус шоколада и значительно сокращается продолжительность обработки его в отделочных машинах.

На некоторых мясокомбинатах применили ультразвук при изготовлении сосисок, сарделек и вареной колбасы. Эмульсия из воды и жира соединяется с фаршем, и колбасные изделия получаются более сочными. Кроме того, ультразвуковые жировые эмульсии позволяют отказаться от выдержки мяса в посоле и более точно регулировать содержание в фарше жира и воды.

В колбасные изделия добавляются ароматические вещества, т. е. специи. Раньше они изготовлялись в виде порошка, а теперь — экстрактов. Экстракты удобнее и дешевле порошкообразных специй. Килограмм экстракта заменяет 30 килограммов порошкообразных специй. Но равномерное распределение в фарше незначительных количеств специй практически невозможно. И только с помощью ультразвука удалось получить устойчивые эмульсии. Они даже через две недели не теряют ароматических свойств. Такие эмульсии хороши и для применения в консервной промышленности, они не вызывают коррозии банок.

Посол мясopодуKтов продолжается не менее 15 суток, а для отдельных видов мясных изделий — до 60 суток. Это затрудняет перевод технологических процессов на поточное производство. Применение ультразвука позволило ускорить процесс посола. Под действием ультразвуковых колебаний проникновение поваренной соли в мясо значительно ускоряется, соль в тканях мяса распределяется более равномерно, а цвет его приобретает розовую окраску.

В рыбной промышленности с помощью ультразвуковых приборов ведут поиск рыбы в море. А когда рыба поймана, ультразвук используют для интенсификации процесса извлечения жира из печени рыб. Ультразвук повышает качество медицинского рыбьего жира, сохраняет в нем ценнейшие для человека витамины.

Ученые предложили использовать ультразвук для приготовления овощных консервов-пюре. Ведь он позволяет очень тонко и равномерно измельчить пюреобразные компоненты исходных продуктов. Такое овощное пюре легче усваивается и обладает хорошим вкусом. Особенно это важно при производстве диетических видов консервов для детей и больных со строгой диетой.

Ультразвук в дрожжевой и бродильной промышленности повышает подъемную силу дрожжей и регулирование химического состава дрожжевых клеток. В бродильной промышленности ультразвук применяют при изготовлении спиртовых, ликеро-водочных, винных, пивоваренных и безалкогольных напитков. Вино вырабатывают по технологической схеме, длящейся около двух месяцев. Особенно много времени уходит на выделение винного камня. Этот процесс занимает до двухсот соро-

ка часов. Но кроме виннокислого камня в вине много красящих и азотических белковых веществ.

Впервые ультразвук применили виноделы Одессы. Сначала в лабораторных, а потом в промышленных условиях они в восемьдесят раз сократили процесс выпадения камня и в двести раз осветления. Затем эти два процесса совместили. По мнению дегустаторов, портвейн, мадера, шато-икем, вермут, рислинг и другие вина, обработанные ультразвуком, по ароматическим свойствам и химическому составу не уступают, а в некоторых случаях превосходят вина, приготовленные прежним способом.

Опыт одесситов быстро распространился на многих винодельческих предприятиях страны. Виноделы Средней Азии, Грузии, Армении, Молдавии, Крыма применяют ультразвук на своих предприятиях.

Советские виноделы используют ультразвук и в производстве шампанского. После подготовительных операций шампанское долго выдерживают в бутылках, пока оно не приобретет нужных качеств. Шампанское, подвергнутое ультразвуковой обработке, не нуждается в длительном созревании.

Применяют ультразвук и при производстве коньяков и ликеров. Свежеприготовленные коньяк и ликер после обработки ультразвуковыми колебаниями приобретают качества, которые при обычной технологии достигаются только после нескольких лет хранения.

Виноград — исходный продукт не только для приготовления вина. Из него вырабатывают и виноградный сок. Ультразвук широко применяют при производстве виноградного сока и других безалкогольных напитков.

Ультразвук ускоряет не только процесс выпадения винного камня, но и отжатия сока. Здесь ученые использовали свойство ультразвука разрушать органическую ткань. При облучении виноградных ягод ультразвуком часть мякоти, которая раньше шла в отход, превращается в чистый виноградный сок, что увеличило получение сока на восемь процентов.

Духи, как вино, тоже «созревают» месяцы, а иногда даже годы. Настои выдерживают в огромных цистернах, занимающих большие производственные площади. На харьковской парфюмерно-косметической фабрике начали использовать ультразвук для ускорения процесса

изготовления духов. На фабрике работает первая в мире парфюмерная ультразвуковая установка. В ней духи «созревают» за 6—8 часов вместо года, как было раньше.

Биологическое действие ультразвука. Слово «ультразвук» стало привычным, как «радиоэлектроника», «космос», «атомная энергия» и т. п. В новых технологических процессах, современных машинах и оборудовании все чаще применяют ультразвуковые колебания. Все большее число рабочих в связи с этим могут подвергаться в той или иной мере воздействию ультразвука. А каково воздействие ультразвуковых колебаний на человека? Это важно знать, потому что все ультразвуковые установки, аппараты, приборы обслуживают люди. Особенно это важно там, где применяют сравнительно большие мощности, например при ультразвуковой очистке, сварке и механической обработке, а также в гидролокаторах военного назначения.

Проверка животных, помещенных в ультразвуковое поле, показала, что в их организме отмечались физиологические изменения. Энергия поглощенного организмом ультразвука претерпевает ряд превращений, важнейшие из них — образование тепла, возникновение механических сил, химические превращения. Для определения биологического действия ультразвука проводили исследования условнорефлекторной деятельности, биотоков коры головного мозга, безусловных рефлексов, функций щитовидной железы и др. Когда уши животных защищали специальными устройствами — антифонами, биологическое воздействие ультразвука не исчезало. Следовательно, он влияет на организм помимо органов слуха, через поверхность тела.

На человека сильные ультразвуковые колебания также оказывают ощутимое воздействие. Человек, попавший в зону мощного ультразвукового излучения, теряет равновесие, ощущает неприятную тошноту, жалуется на **педомогание** и легкое головокружение. Если при воздействии ультразвука большой интенсивности держать рот открытым, то в нем ощущается покалывание, а в носу появляется неприятное ощущение. Почти всегда люди, подвергшиеся воздействию ультразвуковых волн, испытывают необычную усталость.

В Московском институте гигиены им. Ф. Эрисмана произведены исследования по изучению состояния здо-

ровья рабочих, соприкасающихся в своей деятельности с ультразвуком. Замечено, что в ряде случаев, когда ультразвуковое воздействие превышает допустимые нормы или нарушаются правила техники безопасности, возможны профессиональные заболевания. На ранней стадии появляется головная боль, тошнота, ухудшается слух. Позже может появиться боль в глазах, ухудшится зрение и обоняние.

Ученые провели многочисленные опыты по разработке эффективных мер борьбы с воздействием ультразвука на человека. При превышении допустимого уровня шумов специалисты рекомендуют применять индивидуальные средства защиты — заглушки из стекловаты или противושумные наушники, либо противושумные экраны. Если невозможно снизить шум с помощью экранов, специальных противושумных кожухов и облицовки до допустимых величин, то технологическую часть ультразвуковых установок размещают в отдельных помещениях.

При обслуживании ультразвуковых установок необходимо избегать прямого воздействия ультразвуковых колебаний через жидкость, деталь или инструмент. В случае необходимости кратковременного контакта с деталями и жидкостью рекомендуется применять две пары перчаток из разнородного материала. Воздушная прослойка между перчатками способствует лучшему отражению ультразвуковых волн.

Ученые провели многочисленные опыты с живыми организмами и животными. Опыты показали, что ультразвук губительно действует на простейшие живые организмы. Например, большие дозы ультразвука разрывают и уничтожают инфузории. Уничтожаются ультразвуком многие микроорганизмы, даже такие стойкие, как туберкулезные палочки. Вирусы гриппа под действием ультразвука за час понижают свою активность в тысячи раз. При помощи ультразвука удается полностью уничтожить бактерии: стафилококки, стрептококки, вирусы энцефалита и др. Как сообщалось в зарубежной печати, военные медики США предполагают применить мощные ультразвуковые колебания для уничтожения бактерий при использовании бактериологического оружия.

Ультразвук действует и на более сложные живые

организмы: рыб, лягушек, головастиков и др. При облучении ультразвуком они парализуются или погибают. Сразу же после начала облучения у животных наблюдается сильное беспокойство в виде резких рывков, а через минуту наступает полная неподвижность. Рыбы при этом переворачиваются на бок и вверх брюшком, а некоторые из них всплывают на поверхность. Если прекратить облучение, рыбы становятся вновь подвижными, если продолжить его, то они погибают. При очень большой интенсивности облучения у рыб в разных участках тела возникают небольшие кровотечения. Ультразвук действует на животных не только в воде, но и в воздухе. В поле мощной ультразвуковой сирены в течение короткого времени погибают мелкие животные и насекомые.

Ультразвук в медицине. Казалось бы, что общего между медициной и ультразвуком? Тем более что на человеческий организм ультразвуковые колебания оказывают вредное воздействие. Но, как выяснилось, человеческий организм так реагирует только на ультразвуки большой мощности. Небольшие же мощности никакого вредного воздействия на него не оказывают. Ультразвуковые колебания небольшой интенсивности могут даже успешно применяться в медицине для диагностики и лечения заболеваний.

Многочисленные опыты показали, что с помощью ультразвука можно диагностировать некоторые заболевания. Например, этим методом обнаруживают опухоль внутри ткани, а в некоторых случаях даже выявляют злокачественную опухоль в ранней стадии развития. Ультразвук применяют для диагностики и некоторых других заболеваний. (Например, при опухолях мозга и камнях во внутренних органах, а также при глазных и ушных заболеваниях.)

С помощью ультразвука можно проверить работу сердца и выявить ненормальности функционирования не только самого сердца, но и отдельных его участков. Для этой цели применяют узконаправленные ультразвуковые лучи. Результаты биения сердца записываются на специальной кардиограмме.

Но не только диагностика, а и лечение под силу ультразвуку. Уже несколько лет он хороший помощник в физиотерапии при некоторых заболеваниях. Но и этим не ограничивается его роль в медицине. Появилась

ультразвуковая хирургия, или, как ее называют, «безножевая хирургия». Кроме того, ультразвук помогает фармацевтам при изготовлении различных лекарств.

До недавнего времени рентген был единственным и незаменимым средством при обнаружении опухолей. Рентгеновские лучи способны распознать опухоль, когда плотность пораженной ткани отличается от плотности здоровой в полтора-два раза. А это означает, что зачастую уже поздно предпринять эффективные меры для лечения.

После многочисленных опытов ученые для диагностики заболеваний успешно применили ультразвук. Первое время для такой цели использовали теневой метод. Но при этом получалась очень высокая контрастность, что не давало возможности отличать одну ткань от другой по физическим свойствам. От такого метода отказались.

Более приемлемым оказался импульсный метод. Он основан, как и в дефектоскопии, на отражении ультразвука от границы раздела двух сред. Этот метод позволяет получить на экране электроннолучевой трубки прибора видимое изображение, на нем можно отличить друг от друга ткани, близкие по физическим свойствам. Ультразвуковой импульс, направленный в тело человека, по-разному отражается больной и здоровой тканью. Отраженные импульсы поступают на экран прибора. Здесь видна довольно подробная картина — своеобразный разрез того или иного участка человеческого тела.

С помощью ультразвуковой эхограммы удается обнаружить расположение кисты; поставить диагноз ряда заболеваний глаз — таких, как катаракта, помутнение роговицы, отслоение сетчатки, кровоизлияния в стекловидное тело; получить рельефные изображения отдельных участков мозга; исследовать сердце и другие органы.

В чем преимущество ультразвуковой диагностики? Она может быть применена для обследования маленьких детей, а также тяжелобольных, так как безопасна и не причиняет боли. Кроме того, она позволяет диагностировать опухоли на ранней стадии в некоторых органах человеческого тела, не доступных для рентгеновского исследования.

Помимо диагностики, ультразвук применяется и для лечения многих заболеваний. Лечебные свойства ультразвука на редкость универсальны. Можно составить список различных болезней, которые он лечит: неврит, невралгия, артрит, радикулит, экзема, фурункулез, ишиас,

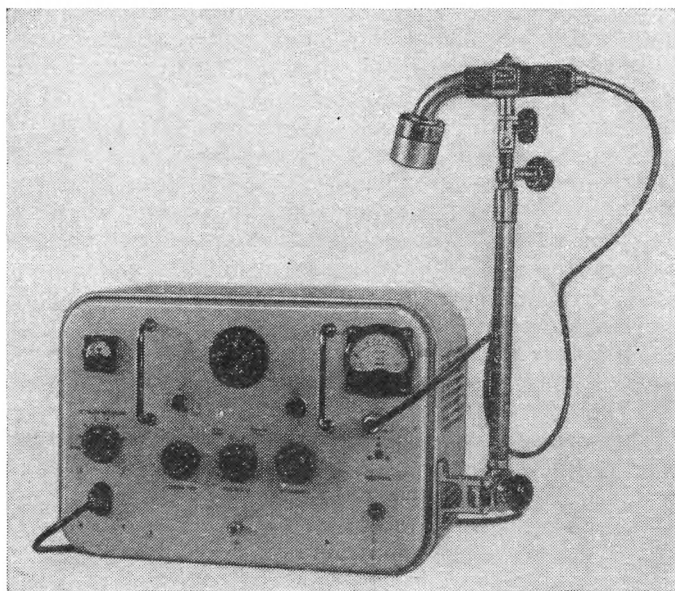


Рис. 55. Ультразвуковой физиотерапевтический прибор UTC-1

бронхиальная астма, трофическая язва, травмы суставов и др. На рис. 55 изображен ультразвуковой физиотерапевтический прибор, применяющийся для лечения таких заболеваний.

Хорошие результаты получены при удалении у людей с помощью ультразвука физиологических камней. Замечено значительное улучшение функционирования суставов и мышц при облучении их ультразвуком. Лечение ультразвуком способствует понижению кровяного давления при гипертонической болезни, а также положительно сказывается на изменении кислотности желудочного сока.

В медицине ультразвук применяют и для других целей. Ультразвуковым фокусирующим прибором можно разрушать отдельные участки нервных клеток, не задевая другие и живую ткань. Такой прибор незаменим в нейрохирургии, когда нужно разрушить клетки в какой-либо части головного мозга, не задевая здоровых его участков и без рассечения черепа и нарушения кровообращения. Прибор создает в фокальной области очень большое звуковое давление, нервные клетки могут быть здесь разрушены за одну-две секунды. Фокусное расстояние при работе прибора можно изменять и выбирать любой оперируемый участок по глубине залегания без повреждения верхних слоев.

Принцип механической ультразвуковой обработки материалов нашел применение в зубоврачебной практике при обработке полости зуба, для лечения и пломбирования, а также для снятия зубного камня. Ультразвуковая обработка зуба безболезненна, не вызывает неприятных ощущений и нагрева и позволяет получить полость с большой точностью и под любым углом. Наряду с преимуществами ультразвуковой бормашины перед обычной у нее есть и один недостаток. В чем же он? Врач по реакции больного определяет момент подхода к нерву, а при ультразвуковой обработке этот момент может быть незамеченным, ведь больной не чувствует боли. Поэтому ультразвуковые бормашины не нашли массового применения и используются пока в отдельных случаях только опытными специалистами.

Аппарат для снятия зубного камня с помощью ультразвука показал хорошие результаты, и его успешно применяют. Он позволяет безболезненно, бескровно, быстро удалять зубной камень и налет с зубов.

Врачи центральной токийской больницы проводят опыты лечения близорукости, столь распространенной среди японцев, с помощью ультразвука. Глазное яблоко облучают ультразвуковыми колебаниями. Образующиеся при этом тепло и сокращение сетчатки глаза вызывают усиленное кровообращение и активизируют обмен веществ в сетчатке. Видимо, ультразвуковые волны также содействуют расслаблению фокусирующих мышц хрусталика. Кроме того, воздействие ультразвука благоприятно сказывается и на нервных окончаниях в глазном яблоке.

Польские ученые изобрели и изготовили ультразвуковой зонд. С его помощью можно обнаружить в глазу любое инородное тело, с большой степенью вероятности установить наличие или отсутствие опухолей, отслоение роговицы, сопровождающееся катарактой. Направленный в глаз пучок ультразвуковых лучей, отражаясь от его отдельных частей, как эхо, регистрируется на экране осциллоскопической лампы. Если лучи встречают на своем пути инородное тело, появляется дополнительное эхо. Зонд позволяет точно определить положение данного инородного тела, а это облегчает хирургическую операцию.

Ученые считают, что при лечении некоторых заболеваний лучше применять аэрозоли различных лекарственных веществ, т. е. веществ в распыленном виде. Такой вид физиотерапии называют ингаляцией. В этом случае ультразвук участвует в лечении косвенно. С его помощью распыляют лекарственные вещества, и их вдыхают больные. Опыты показали, что некоторые заболевания лучше излечивают при вдыхании распыленных лекарств, особенно антибиотиков. Ингаляцию применяют при лечении туберкулеза, катара верхних дыхательных путей, а также для профилактики некоторых заболеваний.

5. Новые области применения ультразвука

Ультразвук уже приобрел множество профессий и продолжает успешно «обучаться» новым. Особенно это характерно для 60-х годов XX века, когда ультразвук впервые применили в лабораторных и промышленных условиях в пищевой, винодельческой, парфюмерной, фармацевтической, строительной, текстильной, горно-рудной, полиграфической, радиоэлектронной и во многих других отраслях промышленности. Кроме того, ультразвук находит оригинальное использование в различных разделах науки и техники. Вот некоторые примеры практического применения ультразвука в новой роли.

Расскажем, как используют ультразвук в горно-рудной, угольной, нефтяной и других отраслях промышленности. Так, для автоматизации процесса добычи угля в шахтах создано ультразвуковое устройство. Оно позволяет отличать уголь от других горных пород, между

которыми заключен угольный пласт. Ведь ультразвуковые колебания значительно ослабляются при распространении в пластах каменного угля и несравнимо меньше в породах, сопутствующих ему (глинистый сланец, песчаник, известняк). По величине сигналов в приемнике можно судить не только о составе пород, но и определять границы пласта, наличие трещин и посторонних включений.

При разведке нефти тоже нужен ультразвук. Учеными в ряде стран изготовлены различные ультразвуковые эхолоты для акустического исследования буровых скважин при разведке месторождений нефти. Такие аппараты измеряют скорость и амплитуду ультразвуковой волны, проходящей через отдельные слои земной коры глубиной до двух тысяч метров. Эхолот можно также применять для локализации стыков труб и контроля их герметичности в буровых скважинах.

Ультразвук и бурение скважин на нефть и газ — какая связь между ними? Оказывается, она есть. Глинистый раствор — неперенный спутник бурения. Под сильным давлением воздуха он захватывает и подает на поверхность раздробленную породу. Но стоит частицам глины соединиться, как в воде начнут растворяться и другие минералы, в частности соль. При этом раствор сгущается и образуется вязкая пробка — самый страшный враг разведчиков недр. Ликвидировать такую пробку очень трудно. Научные исследования глинистого раствора привели ученых к выводу, что его устойчивость можно значительно повысить с помощью ультразвука. Достаточно всего лишь в течение пяти минут обработать глинистый раствор ультразвуковыми колебаниями, как он становится устойчивым к загустению.

При разработке рудных месторождений много хлопот доставляет горнякам контроль за состоянием вертикальных выработок, по ним руда спускается на нижний откаточный горизонт. Для предотвращения аварий приходилось бурить контрольные скважины. Теперь на помощь пришел специальный ультразвуковой прибор. Он позволяет определить конфигурацию вертикальной выработки. Новый метод внедряется на крупных рудниках страны и дает большой экономический эффект.

Горняки заставили ультразвук бороться со слоем метана у кровли горных выработок. В качестве излучателя

применяют ультразвуковой свисток, он создает колебания определенной мощности и интенсивности. Поток ультразвуковых волн, направленных навстречу движению метанового слоя, вызывает продольные колебания частиц газа. Частицы метана переходят из области звукового поля в окружающую среду. Это постепенно приводит к уничтожению взрывоопасного слоя.

Наша страна очень богата различными полезными ископаемыми. Но многие руды в большинстве случаев бедны ценными компонентами и не могут сразу служить сырьем для химических и металлургических заводов. Вот тут-то и выступает на арену наука обогащения. В измельченной руде обычно содержится один-два процента металла, а в обогащенной — в десять, а то и в двадцать раз больше. Наиболее эффективный и высокопроизводительный метод обогащения — флотационный. Однако флотационные реагенты обходятся очень дорого, их стоимость составляет почти одну треть стоимости всего процесса обогащения. А ведь в стране работают сотни обогатительных фабрик, через которые ежедневно проходят сотни тысяч тонн сырья. И вот ученые предложили использовать в процессах обогащения руд ультразвуковой эмульгатор. Расскажем, как он действует на обогатительных фабриках цветной металлургии.

Под воздействием ультразвуковых колебаний мельчайшие капельки химических реагентов — собирателей обволакивают частицы полезных минералов, и их поверхность становится несмачиваемой водой. Они прикрепляются к пузырькам воздуха и всплывают на поверхность. Верхний слой пульпы снимают и, пропустив через фильтры, направляют на металлургический завод для выплавки металла.

Ультразвуковой метод обогащения руд можно использовать не только при выплавке цветных металлов. Перспективы его применения для обогащения руд заманчивы. В связи с ростом механизации добычи угля резко возросло количество мелких частиц в добываемом топливе, повысилось и содержание золы. Это дало толчок развитию флотационного обогащения угольной пыли.

При добыче угля целесообразно применить ультразвуковой метод обогащения (избирательную коагуляцию). Ультразвуковые колебания вызывают коагуляцию (слипание или укрупнение угольных зерен), в то время

как породные зерна не слипаются и не увеличиваются в размерах. На специальных решетчатых приспособлениях отделяют уголь от породы.

В процессах обогащения ультразвук получает все большее признание. Его можно использовать при обогащении черных металлов и нерудных материалов и даже искусственных алмазов.

Разработан новый способ, повышающий эффективность окисленных углей. Воспламенение и горение таких углей стали вести в ультразвуковом поле. Такое поле усиливает эффективность сгорания до 20 раз, а это сулит в свою очередь огромную экономическую выгоду для страны. Многообещающи и перспективы применения ультразвуковых форсунок при сжигании жидких топлив.

Исследователи установили, что ультразвук влияет на окислительные процессы и с успехом может применяться для восстановительных. Например, под воздействием ультразвука можно восстановить железо из его окислов и солей. Этим способом можно получить и ряд других соединений из окислов, которые ранее не использовались, а выбрасывались.

Все чаще стали обращаться за помощью к ультразвуку и строители. Они начали его применять для забивания свай и шпунта. Испытания показали, что такой вибропогружатель забил сваю почти в два раза быстрее, чем паровой молот. При этом установлено, что колебания грунта в районе забивания сваи ультразвуковым вибропогружателем значительно меньше, чем при использовании других сваебойных средств.

По данным иностранной печати, на аэродромах и ракетных полигонах при работе двигателей возникают высокоинтенсивные ультразвуковые поля. В авиации их иногда называют голосом реактивной струи. Сильный шум мешает не только пассажирам. Вибрации, вызванные им, способны буквально разодрать небольшую трещину. Поэтому самолеты и ракеты испытывают и на шум с помощью специальных мощных акустических установок.

Необычная швейная машина для пошива военного обмундирования создана в Англии. У нее нет ни вращающегося колеса, ни иголки, ни даже нитки. Ткани закладываются между небольшим колесиком тупым стерженьком, куда подводятся ультразвуковые колебания.

Машина работает совершенно беззвучно. Под воздействием ультразвука и давления ткани нагреваются, спрессовываются и прочно соединяются. На ультразвуковой швейной машине можно «сшивать» шерсть, хлопчатобумажные ткани и даже бумагу. По мнению зарубежных специалистов, ультразвуковая швейная машина найдет применение и при пошиве военной защитной одежды из синтетических материалов.

В радиоэлектронике, в частности радиолокации, и особенно вычислительной технике необходимо задержать один электрический сигнал относительно другого. Теоретически эту задачу можно решить, если один из сигналов пустить по обходному пути, т. е. по очень длинному кабелю. Но практически это трудно выполнимо и бессмысленно, потребуется невероятно большое количество кабелей. Удачное решение нашли ученые. Они предложили ультразвуковые линии задержки. На пути электрического сигнала, если его нужно задержать, ставят пьезоэлектрическую пластинку. Она жестко соединена с металлическим или другим стержнем, ко второму концу стержня прикреплена вторая пьезоэлектрическая пластинка. Сигнал, подойдя к первой пластинке, вызывает механические колебания ультразвуковой частоты, они затем распространяются в стержне. Достигнув второй пластинки, ультразвуковые колебания вновь преобразуются в электрические и дальше продолжают свой путь. Но скорость ультразвука в стержне значительно меньше скорости распространения электрического сигнала, поэтому сигнал, на пути которого был стержень, отстанет от другого на величину, равную разности скоростей распространения ультразвука и электрических сигналов на определенном участке. Но эта проблема не решена еще окончательно. Ведь сигнал после двух преобразований перед стержнем и далее ослабевает в тысячи раз. Следовательно, нужны дополнительные устройства для усиления сигналов, а это экономически не выгодно.

Вот почему ученые и предложили в ультразвуковых линиях задержки применить материалы с пьезоэлектрическими и полупроводниковыми свойствами. Если к полупроводниковому пьезокристаллу приложить постоянное электрическое поле такой величины, чтобы скорость движения электронов превышала скорость ультразвуковой волны, то амплитуда последней будет возрастать по

мере движения волны вдоль стержня. Действие таких усилителей основано на преобразовании электромагнитных колебаний в ультразвуковые, усиления ультразвуковых колебаний и на преобразовании усиленных ультразвуковых колебаний в электромагнитные. Усиление ультразвуковых колебаний, проходящих по звукопроводу из полупроводникового материала, происходит за счет взаимодействия с движущимися в том же направлении электронами проводимости.

Опыты показали, что при определенной длине стержня акустического усилителя можно получить усиление ультразвуковых колебаний в десятки тысяч раз. Чем вызван интерес ученых к созданию ультразвукового усиления на полупроводниках и пьезокристаллах? Прежде всего тем, что они могут найти в дальнейшем широкое применение в ультразвуковой технике: для непосредственного усиления слабых ультразвуковых сигналов; в установках, использующих мощные ультразвуковые колебания.

Ряд новых применений ультразвук находит в медицине. Пока это еще не вышло за пределы лабораторных исследований, но недалеко то время, когда опыты расширятся и перерастут в практическое использование.

Большое будущее ультразвука и в фармацевтическом деле. Он незаменим в процессах приготовления различных медицинских препаратов. Если раньше для получения настоек валерианы и полыни затрачивалось семь суток, то с помощью ультразвука эта операция выполняется за полтора часа. Значительно ускоряется приготовление настоек йода и других препаратов, при этом сокращается расход сырья. С помощью ультразвука можно получить тонкую взвесь камфорного масла в воде, что раньше вообще было невозможно.

А вот еще одно оригинальное применение ультразвука в фармакологии. Очень важно, чтобы в ампуле с лекарством не было ни одной посторонней частицы. До сих пор контроль ампул на загрязненность проводили вручную, визуалью. Это медленно и недостоверно. Применение же ультразвука позволило не только автоматизировать процесс отбраковки ампул, но и повысить надежность обнаружения дефектов.

Глухота — злейший враг человечества. Много врачей-исследователей заняты этой проблемой с давних времен.

Ученые попытались для преодоления этого недуга применить ультразвук. Слуховой аппарат не воспринимает ультразвуковых колебаний, но они воздействуют на ткани живого организма. Этим и воспользовались ученые. Они решили подвести ультразвуковые колебания к воспринимающим элементам внутреннего уха через окружающие их плотные среды. Оказалось, что дело не в отсутствии восприятия звуков ультразвуковой частоты, а в невозможности передать соответствующие колебания через воздух.

Большой теоретический и практический интерес вызывает такая возможность расширения диапазона частот, воспринимаемых человеком. Исследования дали удивительные результаты. Слуховое восприятие ультразвуков возможно даже в тех случаях, когда обычно для средних и высоких частот слышимого диапазона оно отсутствует. Установлено, что при многих заболеваниях внутренние звуковоспринимающие устройства не повреждены. Поэтому, если провести ультразвуковые колебания непосредственно через кости и ткани, возникает слуховое ощущение. Если же воспринимающий аппарат поражен, то слышимые звуки и ультразвуки не будут восприниматься. Таким образом, по показателю слухового восприятия ультразвука можно установить характер заболевания, лежащего в основе слуховых расстройств. При этом возможно точно поставить диагноз даже в том случае, когда использование обычных слышимых раздражителей не дает представления о сущности заболевания.

Слепота — еще больший недуг человека. Ведь слепой человек обречен на вечную темноту, он не может наблюдать многообразия красок окружающего его мира, свободно ориентироваться в помещении, а тем более на улице. И вот ученые опять прибегли к ультразвуку, сделав значительные успехи в борьбе за возможность видеть, если не прямо, то косвенно. Они предложили особые очки с зеркальными линзами, отражающими свет на фотоэлементы, расположенные непосредственно над линзами. Фотоэлементы превращают световой сигнал в звуковой с помощью преобразователей, размещенных около ушей. Ученые предполагают, что звуковые очки помогут слепым ориентироваться в окружающей обстановке.

Вот еще одна новая роль ультразвука. Самый опытный акушер пуждается в диагностическом аппарате для

точного и своевременного установления причин, осложняющих течение беременности и родов. Поиски ученых привели к применению ультразвуковых диагностических аппаратов, работающих на принципе эхографии. Ультразвуковые колебания в пределах, необходимых для диагностики, не оказывают никакого отрицательного влияния на состояние эмбриона и плода в любом периоде его развития, на деятельность в половых железах матери. Например, с помощью ультразвука исследуют положение плода, при этом возможно исследование не только состояния костных, но и мягких тканей.

Необычное использование ультразвука нашли ученые-медики для устранения болевых ощущений в давно ампутированных конечностях. У одного из пациентов через несколько лет после операции стали возникать судороги и острые судорожные боли в отсутствующей ноге. Ощущения эти были настолько реальны, что больной не мог от них отделаться, и хирурги решили подвергнуть воздействию импульсов ультразвука область зрительного бугра в черепе. Во время этой операции пациент находился в сознании и его впечатления об ощущениях записывались на магнитофонную ленту. После первого импульса ультразвука пациент сообщил об уменьшении ощущения судорог в ноге. Последовавшие за первым шесть импульсов привели к снижению и исчезновению болевых ощущений.

Расскажем об использовании ультразвука в некоторых других областях науки и техники. Для того чтобы, например, исследовать вещество под электронным микроскопом, его прежде всего необходимо раздробить и измельчить. До сих пор это делали с помощью обычной ступки. Ученые создали оригинальный ультразвуковой прибор. Теперь не нужно растирать в ступке исследуемое вещество. Достаточно поместить его в специальную ванночку, нажать на кнопку, и ультразвук не только мгновенно раздробит вещество до мельчайших частиц, но и нанесет их на пленку, которую затем просвечивают электронным лучом микроскопа. Прибор позволяет расширить сферу применения электронного микроскопа в химии полимеров, биологии, резиновой, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности. Прибор вызвал интерес у ученых и специалистов в области химии, медицины, геологии, металлургии.

В наши дни зарождается новое направление технической физики — интроскопия. Это наука о видении в непрозрачных веществах. Человеческое зрение ограничено. Всего несколько веществ — воздух, кварц, стекло, вода, сквозь которые может видеть человек. А теперь оператор опускает в ванну, наполненную нефтью, стальную пилу, и на голубом экране прибора ясно различаются отливающие металлическим блеском зубцы инструмента. Увидеть этот предмет через толщу черной жидкости помог ультразвук. Творческими усилиями исследователей созданы оригинальные преобразователи, наделенные необыкновенной способностью видеть внутри непрозрачных для глаза тел и веществ с помощью ультразвуковых колебаний. Эти чудесные приборы, обладающие как бы вторым зрением, станут незаменимыми помощниками металлургов, машиностроителей, химиков, медиков, биологов, астрономов, геологов и других специалистов.

Ультразвук проник в полиграфическое производство. Съем изображения с офсетных форм производится в полиграфии пока еще ручным способом. И эту трудоемкую работу сейчас принял на себя ультразвук. Там, где все операции этого процесса автоматизированы, значительно сократилось время операции. Первая ультразвуковая установка для снятия изображения с офсетных форм уже работает на одном производственно-издательском комбинате.

А вот ультразвук в роли спидометра или, точнее, лага. Это одно и то же с той лишь разницей, что спидометр позволяет определять скорость движения автомобиля, мотоцикла и других наземных транспортных средств, а лаг определяет скорость движения кораблей в море. На море истинную скорость корабля определить нелегко из-за влияния побочных факторов — течения и ветра, вызывающих снос и дрейф корабля. Учеными разработан ультразвуковой метод определения скорости корабля. Она вычисляется по данным двух эхолотов, преобразователи их установлены в носовой и кормовой части корпуса корабля. Запись эхо-сигналов, отраженных от дна и принимаемых двумя звукоприемниками, производится на бумажной ленте. Анализ записи позволяет установить запаздывание во времени сигналов, принятых кормовым эхолотом, относительно сигналов, при-

нятых носовым прибором и отраженных одними и теми же неровностями морского дна. Так как расстояние между двумя эхолотами известно, то определение скорости корабля не вызывает затруднения.

Ультразвук успешно может выполнять обязанности сторожа. Он может «стоять» на посту в закрытых помещениях — мастерских, складах и т. п. Внешне аппарат похож на тысячи других. Щелкает переключатель, вспыхивает глазок лампочки на панели, и аппарат готов к действию. Стоит пройти человеку между датчиком и приемником, как начинает мигать лампочка и через секунду в тишину врывается пронзительный сигнал sireны. Такие приборы могут найти применение в военном деле.

Свойство ультразвука чутко реагировать на малейшее изменение среды используется в промышленности и в быту. Например, ультразвук автоматически включает сигнал, если в помещении запахло гарью либо другим газом.

Ученые и конструкторы создали специальное ультразвуковое «пугало», предназначенное для отпугивания птиц от летящих самолетов. Все началось с того, что однажды четырехмоторный самолет с 73 пассажирами на борту вскоре после взлета с Бостонского аэропорта потерпел катастрофу. Как выяснилось, причиной ее были птицы, подлетевшие слишком близко к самолету и затянутые воздушной струей в двигатели. Случаи гибели воздушных кораблей от случайных столкновений с птицами не редкость. Теперь же птицы будут со страхом улетать подальше от самолета, воспринимая сигналы ультразвукового «пугала».

Иногда нужно отпугивать, а бывает так, что, наоборот, нужно привлекать, а точнее, приглашать. И в этом случае ультразвук тоже может проявить себя. Сейчас большинство рек перекрыто высокими плотинами. Процесс нереста для рыб намного усложнился. Гидростроители создали различные подъемники у плотин. Но рыба с трудом находит вход в них. Если удастся «рассказать» ей, куда можно и куда не следует плыть, — пропуск рыбы через плотины упростится. Разговор с рыбой будет вестись с помощью особых динамиков. Ультразвуковые приборы, расположенные перед гидроузлом, будут непре-

рывно передавать «объявления», предостерегающие об опасности и приглашающие в рыболовство.

В газетах опубликовано сообщение о такой новинке. С помощью приспособления, основанного на магнито-стрикционном эффекте, получили ультразвуки очень высокой интенсивности с частотой 20 тысяч колебаний в секунду. Используя энергию, передаваемую механическими колебаниями воздуха, удалось поднять предметы, весящие до 500 граммов. Конечно, эти предметы не летают, они только приподнимаются на 0,1 миллиметра над излучателем ультразвука. Однако это явление может найти важное применение. Сейчас, например, используя это свойство, удалось получить ротационные подшипники, совершенно не имеющие трения.

Мы привыкли уже говорить «неслышимый звук», а есть ли «светящийся звук»? Слово «люминесценция» часто применяется с приставками «фото», «электро», «хемо», которые указывают на причину свечения. Теперь появилась еще одна приставка — «соно». Если ультразвук достаточной интенсивности проходит через жидкость, возникают газовые пузырьки с температурой до 10 тысяч градусов. В таких условиях газ светится. Свет от мельчайших пузырьков воспринимается как свечение самой жидкости. Свечение, вызванное звуком, — явление новое. Оно еще не вышло за пределы лабораторий. Но возможно, что вскоре найдет применение в науке и технике.

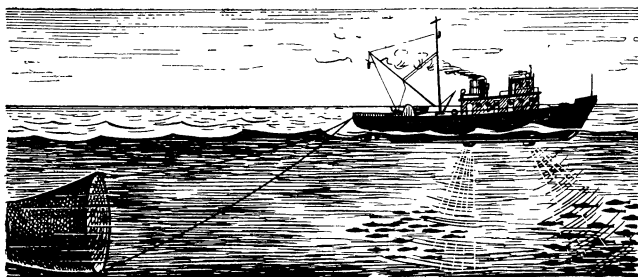
* * *

Если кто-либо из читателей заинтересуется применением неслышимых звуков в народном хозяйстве или военном деле и захочет попробовать свои силы, участвуя в развитии этой области знания, перед ним распахнутся двери в необъятный и увлекательный мир научных исследований. Изучение неслышимых звуков в настоящее время представляет необозримое поле деятельности для исследователей. Яркой чертой наших дней является небывалое стремительное развитие и науки об ультразвуке, ее усиливающееся влияние на все стороны жизни.

В наше время невозможно обеспечить высокие темпы роста производительных сил, технического прогресса в ряде отраслей народного хозяйства и в военном деле

без широко поставленных научных исследований в области ультразвука и быстрого освоения результатов их в производстве. Коммунистическая партия и советский народ вырастили много замечательных ученых в области применения ультразвука. Эти ученые способны решать сложнейшие научные проблемы современности в области использования ультразвука.

Советские воины могут быть уверены в том, что наши ученые, вдохновляемые великими идеями Коммунистической партии, с честью выполнят возложенные на них задачи, используют все достижения науки в целях дальнейшего укрепления могущества нашей социалистической Родины.



ЛИТЕРАТУРА

1. Каманин В. И. Гидроакустические станции в кораблевождении. Воениздат, 1964.
 2. Карлов А. Б., Шошков Е. Н. Гидроакустика в военном деле. Воениздат, 1963.
 3. Квитницкий А. А. Борьба с подводными лодками. Воениздат, 1963.
 4. Ключкин И. И. Нептун оглушен. Судостроение, 1967.
 5. Мясников Л. Л. Неслышимый звук. Судостроение, 1967.
 6. Простаков А. Л. Гидроакустика в Военно-морском флоте. Воениздат, 1961.
 7. Простаков А. Л. Гидроакустика в иностранных флотах. Л., «Судостроение», 1964.
 8. Противолодочная оборона в современной войне. Сб. переводных статей под редакцией Родионова А. И. Воениздат, 1962.
 9. Рачков В. К. Чудесные кристаллы. Воениздат, 1962.
 10. Розенберг Л. Д. Рассказ о неслышимом звуке. АН СССР, 1961.
 11. Сташкевич А. П. Акустика моря. Л., «Судостроение», 1967.
 12. Тюрин А. М., Сташкевич А. П., Таранов Э. С. Основы гидроакустики. Л., «Судостроение», 1966.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
1. Физические основы звука	7
Природа звука	—
Характеристика звука	9
Распространение звука	10
За барьером слышимости	11
2. Как получить ультразвук	16
Пьезоэлектрические преобразователи	—
Магнитострикционные преобразователи	20
Ультразвуковые генераторы	22
3. Применение ультразвука в военном деле	23
Много лет назад	—
Особенности распространения звука в море	26
Шумопеленгаторные станции	33
Гидролокационные станции	38
Авиационные гидроакустические средства	46
Стационарные (береговые) гидроакустические станции	48
Ультразвуковые станции связи и опознавания	50
Гидроакустическая вахта	51
Акустическое оружие	60
Ультразвуковые эхолоты	63
4. Применение ультразвука в народном хозяйстве	67
Ультразвуковая обработка сверхтвердых и хрупких материалов	—
Ультразвуковая сварка, пайка, лужение	70
Ультразвуковая очистка	74
Ультразвуковой контроль качества	79
Ультразвуковой экспресс-анализ	86
Ускорение производственных процессов с помощью ультразвука	92
Ультразвук в сельском хозяйстве	100
Ультразвук в пищевой промышленности	101
Биологическое действие ультразвука	105
Ультразвук в медицине	107
5. Новые области применения ультразвука	111
Литература	123

Иван Григорьевич Хорбенко

НЕСЛЫШИМЫЕ ЗВУКИ

Серия «Научно-популярная библиотека»

Редактор *Кадер Я. М.*

Художественный редактор *Гречиго Г. В.*

Обложка художника *Жука А. Б.*

Технический редактор *Коновалова Е. К.*

Корректор *Арсеньева З. Н.*

Сдано в набор 27.1.67 г.

Г-43289

Подписано к печати 9.6.67 г.

Формат бумаги 84×108¹/₃₂ — 4 печ. л.— 6,56 усл. печ. л. 6,735 уч.-изд. л.

Тираж 25 000 экз.

Изд. № 1/8586

Цена 22 коп.

Зак. 647

Военное издательство Министерства обороны СССР

Москва, К-160

1-я типография

Военного издательства Министерства обороны СССР

Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

„НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА“

Книги массовой «Научно-популярной библиотеки» Военного издательства знакомят с современным состоянием науки и техники по самым различным отраслям знаний, связанных с военным делом. В них популярно рассказывается, как с развитием науки и техники происходят существенные изменения в военном деле, создаются новые виды боевой техники и вооружения, меняются способы их использования в бою. Книги помогают постоянно совершенствовать военные знания, формировать коммунистическое мировоззрение и коммунистические отношения в быту, вести настойчивую борьбу против религиозных пережитков, шире развернуть санитарно-просветительную работу. Книги написаны общедоступно и рассчитаны на вас, воины Вооруженных Сил СССР. В них много интересных материалов и для вас, рабочие, колхозники, служащие, молодежь, а также для агитаторов, пропагандистов, лекторов.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1962 ГОДУ

1. Ю. А. Победоносцев. Путь в космос (достижение ракетной техники). 104 стр. 16 коп.
2. М. Г. Крошкин. Человек проникает в космос. 160 стр. 25 коп.
3. Б. В. Ляпунов. Ракеты и межпланетные полеты. 124 стр. 20 коп
4. Ю. Н. Сушков. Двигатели космических кораблей. 172 стр. 27 коп
5. В. Г. Фесенков. Разгадывая тайны планет. 96 стр. 15 коп
6. В. Е. Рожнов. Гипноз и религия. 112 стр. 18 коп.
7. Ю. Н. Артамошин, В. А. Москаленко. Правда о христианских сектах. 144 стр. 24 коп.
8. Л. Н. Великович. Каски и сутаны (религия на службе западногерманских империалистов). 120 стр. 18 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1963 ГОДУ

1. Д. И. Сидоров. Защита Родины и религия. 120 стр. 20 коп.
2. Н. В. Гритченко. Как бороться с утомлением и повысить выносливость в бою. 96 стр. 14 коп.
3. С. Г. Суворов. О чем рассказывает свет. 144 стр. 25 коп
4. М. В. Беляков. Воздушный океан (строение атмосферы). 136 стр. 22 коп.
5. П. Т. Асташенков. Что такое бионика. 88 стр. 13 коп.
6. К. Ф. Огородников. Загадки космоса (строение звездного мира). 92 стр. 14 коп.
7. Б. В. Ляпунов. Станция вне Земли. 152 стр. 24 коп.

8. А. В. Белов, С. С. Никоненко. Наука против суеверий. 128 стр. 20 коп.
9. Сборник статей. Мы порвали с религией. 512 стр. 92 коп.
10. И. А. Лавров. Береги и укрепляй свое здоровье. 120 стр. 19 коп.
11. Ю. Н. Сушков. Полеты в космос. 144 стр. 23 коп.
12. Н. С. Мансуров. О правде жизни и религиозных выдумках. 140 стр. 22 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1964 ГОДУ

1. Ф. И. Долгих, А. П. Курантов. Коммунистическое воспитание и религия. 152 стр. 25 коп.
2. К. А. Паюсов. Советский воинский долг и религия. 136 стр. 22 коп.
3. В. И. Прокофьев. Кодекс коммунистической морали и религиозная «нравственность». 116 стр. 18 коп.
4. В. В. Шаронов. Луна — первая станция на пути в космос. 104 стр. 16 коп.
5. В. П. Шебалин. Планета Земля... что мы знаем о ней. 120 стр. 18 коп.
6. Л. А. Богданович. Не все это знают (о вреде алкоголя). 96 стр. 14 коп.
7. Г. Г. Громоздов. За здоровый быт. 96 стр. 16 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1965 ГОДУ

1. Коллектив авторов. Математика в бою. 132 стр. 22 коп.
2. А. В. Воропай. Внимание — опасность! (О вреде курения). 116 стр. 18 коп.
3. Ю. Н. Сушков. Сигнал тревоги не раздался (как повысить надежность машин и приборов). 191 стр. 29 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1966 ГОДУ

1. М. Г. Крошкин. Космос... что мы знаем о нем. 208 стр. 32 коп.
2. В. А. Михайлов, И. А. Науменко. Ядерная физика и ядерное оружие. 224 стр. 33 коп.
3. Д. Я. Зильманович. Пионер советского ракетостроения
Ф. А. Цандер. 196 стр. 34 коп.

ВЫШЛИ В СВЕТ В 1967 ГОДУ

1. Коллектив авторов. Бактериологическое оружие и способы защиты от него. 198 стр. 30 коп.
2. Х. П. Погосян, И. Г. Ситников. Какая погода будет завтра? 200 стр. 31 коп.
3. И. Г. Хорбенко. Неслышимые звуки. 128 стр. 22 коп.
4. П. Т. Асташенков. Советские ракетные войска. 344 стр. 68 коп.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ И ПОСТУПАЮТ В ПРОДАЖУ

Г. С. Хозин. **Милитаристы в космосе** (военные космические исследования в США).

Коллектив авторов. **Физика в бою.**

В. Е. Рожнов. **По следам зеленого змия.**

Ф. И. Долгих, А. П. Курантов. **Об этом нельзя забывать!** (Коммунистические идеалы и атеистическое воспитание советских воинов)

КНИГИ ВОЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА

продаются в магазинах «Военная книга», библиотечных коллекторах и книжных киосках Управлений торговли военных округов и флотов.

* * *

Вышедшие из печати и поступившие в продажу книги Военного издательства можно приобрести по почте на домашний адрес или «До востребования», направив заказ по адресу: Москва, А-167, Красноармейская, 18/а, «Военная книга — почтой».

Книги высылаются без задатка, наложенным платежом, то есть с оплатой книг при их получении.

МАГАЗИНЫ «ВОЕННАЯ КНИГА»

принимают предварительные заказы на книги Военного издательства, находящиеся в печати и еще не поступившие в продажу.

Цена 22 коп.