

где $a = \Delta l / \Delta t$ — скорость распространения волны Г. у. (скорость упругих колебаний в стенках трубопровода и в массе жидкости). Согласно теории Жуковского:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{d}{\delta E_{ст}} + \frac{1}{E_{ж}} \right)}}, \quad (2)$$

где d — внутр. диам. трубы, δ — толщина стенок трубы, $E_{ст}$ и $E_{ж}$ — модули упругости материала стенок трубы и жидкости. Для стальных и чугунных труб $a \approx 1000 - 1350$ м/с.

Образующаяся при Г. у. повышение давления распространяется против течения жидкости и через время L/a (L — длина трубопровода) достигает резервуара. Здесь давление падает, и это падение давления передается обратно к запорному устройству с той же скоростью в виде отраженной волны (волна понижения). Циклы повышений и понижений давления чередуются через промежуток времени $2L/a$, пока этот колеблется процесс не затухает из-за затрат энергии на трение и деформацию стенок.

Ф-ла (2) действительна лишь для случая, когда $T_3 < 2L/a$, где T_3 — время закрытия запорного устройства. При $T_3 > 2L/a$ отраженная волна придет к запорному устройству раньше, чем задвижка закроется, и повышение давления в трубопроводе уменьшится. В этом случае $\Delta p = 2\rho L v / T_3$. Для снижения величины Г. у. увеличивают T_3 и уменьшают длину L трубы, присоединяя водяные колонны, пневматич. резервуары (воздушные колпаки), устанавливая предохранит. клапаны. На Г. у. основана работа гидравлич. тарана для подачи воды на большую высоту (до ~ 40 м).

Лит.: Жуковский Н. Е., О гидравлическом ударе в водопроводных трубах, М.—Л., 1949, с. 5; Чугаев Р. Р., Гидравлика. (Техническая механика жидкости), 4 изд., Л., 1982, гл. 9; Альтшуль А. Д., Киселев П. Г., Гидравлика и аэродинамика, 2 изд., М., 1975, гл. 15.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УКЛОН (гидравлический градиент) — потеря уд. энергии (напора) жидкости на единицу длины потока:

$$I = \frac{dh}{ds} = - \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \right),$$

где dh — потеря напора на длине ds , выражение в скобках (трехчлен Бернулли, см. *Бернулли уравнение*) — уд. энергии потока. В частном случае движения в трубах с пост. диаметром (равномерное движение), когда кинетич. энергия по длине потока не изменяется, Г. у. совпадает с *пьезометрическим уклоном*, а при равномерном движении в каналах — с *уклоном дна канала*. **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** — то же, что *гидродинамическое сопротивление*.

ГИДРОАКУСТИКА — раздел акустики, в к-ром изучаются характеристики звуковых полей в реальной водной среде для целей подводной локации, связи и др. Большое значение Г. связано с тем, что звуковые волны в океанах и морях являются единств. видом излучения, способным распространяться на значит. расстояния; часто Г. наз. акустикой океана.

На распространение звука в океане влияют разл. факторы как регулярного, так и случайного характера, к-рые зависят от свойств среды и характеристик поверхности и дна. Наиб. важная акустич. характеристика океанич. среды — скорость звука, вертикальная и горизонтальная изменчивости к-рой в осн. определяют характер распространения звука в данном районе. Макс. относит. градиенты скорости звука по вертикали на три порядка превышают макс. относит. горизонтальные градиенты. Скорость звука в океане меняется в пределах 1450—1540 м/с; её значение зависит в осн. от темп-ры, солёности, давления (глубины): повышение темп-ры воды на 1°C увеличивает скорость звука на 2—4 м/с, повышение солёности на 1‰ — примерно на 1 м/с, повышение давления на 1 атм — примерно на 0,2 м/с. Вертик. изменение темп-ры до глубин в неск.

сотен м обычно достигает $10 - 20^\circ\text{C}$; солёность в океане близка к 35‰, меняется слабо и, как правило, лишь в приповерхностном слое. Поэтому вертик. профиль скорости звука в верх. слоях океана в осн. повторяет вертик. профиль темп-ры. На больших глубинах темп-ра и солёность мало меняются и вертик. профиль скорости звука определяется увеличением гидростатич. давления. В приповерхностном слое толщиной в неск. десятков м, перемешанном волнением, темп-ра и солёность одинаковы по глубине, скорость звука растёт с глубиной из-за увеличения гидростатич. давления. Неоднородность скорости звука по глубине приводит к вертик. рефракции звука. При расположении в океане источника звука на глубине, где скорость звука минимальна, звуковая энергия концентрируется вблизи этого горизонта, образуя природный *волновод акустический*, т. н. *подводный звуковой канал*, ось к-рого совпадает с минимумом скорости звука. Часть звуковых лучей, не взаимодействующих с дном и поверхностью, распространяется при этом на значит.

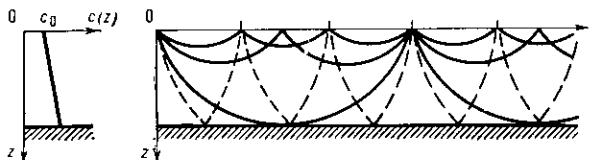


Рис. 1. Слева — вертикальный профиль скорости звука $c(z)$, справа — лучевая картина, соответствующая данному профилю скорости. Источник звука расположен у поверхности, r — расстояние по горизонтали.

расстояния (до тысяч км), особенно на низких частотах, где поглощение звука в воде мало (т. н. *сверхдальнее распространение звука*). Аналогичная концентрация энергии происходит и в приповерхностном звуковом канале (рис. 1), ось к-рого совпадает с поверхностью океана, однако, в отличие от подводного канала, здесь имеет место многократное отражение волн от поверхности. Если источник звука расположен выше оси подводного звукового канала, картина звукового поля осложняется (рис. 2): вблизи источника располагается ближняя освещенная зона,

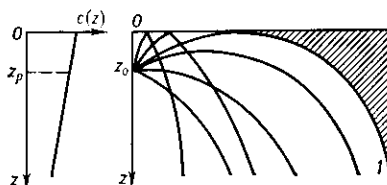


Рис. 2. Слева — вертикальный профиль скорости звука, справа — лучевая картина, соответствующая данному профилю; I — граничный луч, за которым начинается зона акустической тени (заштрихована).

за ней — т. н. первая зона тени, звуковое поле в к-рой обусловлено только отражением от дна и дифракцией; за зоной тени находится первая освещенная зона (первая зона конвергенции), где происходит фокусировка звуковой энергии. Далее чередование зон тени и конвергенции повторяется. Такая зональная структура характерна для случая, когда скорость звука у дна больше или равна скорости звука у поверхности. В противном случае дно как бы «отрезает» часть звуковой энергии. Обычно в океане на горизонте расположения источника ближняя освещенная зона простирается на неск. км, а первая зона конвергенции начинается с 50—60 км. В мелком море структура звукового поля ещё более усложняется из-за увеличения влияния отражений от поверхности и дна.

На распространение звука в океане существ. влияние оказывает *поглощение звука*. Для солёной морской воды