Acoustic Weapons – A Prospective Assessment
Juergen Altmann
Science and Global Security, 2002, Volume 9, pp. 165 - 234

АКУСТИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ – ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ

Юрген Алтманн

Акустическое оружие исследуется и разрабатывается в нескольких странах. При рекламе в качестве одного из видов несмертельного оружия о нем говорят, что оно моментально выводит из строя противника, но не приводит к стойким физическим повреждениям. Однако, надежная информация о его характеристиках и воздействии крайне скудна. Настоящая статья должна предоставить базовую информацию по нескольким направлениям: воздействия звука большой амплитуды на человека, возможных источников большой мощности и распространения сильного звука.

Что касается первого направления, кажется, что инфразвук – популярный в журналистике – не оказывает на человека приписываемого ему сильного воздействия. Следствием повышения уровня звукового давления на больших частотах является беспокойство, неудобство и боль. В зависимости от уровня, частоты, длительности и т.п., временное ухудшение слуха может превратиться в постоянную потерю слуха; при очень высоких уровнях звука даже одна, или несколько коротких экспозиций могут вызвать частичную или полную глухоту. Однако, для предотвращения этих воздействий защита ушей может быть весьма эффективной. Помимо воздействия на слух, возможно некоторое нарушение равновесия и неприятные ощущения, в основном, в области грудной клетки. Ударные волны от взрывов с их значительно большим избыточным давлением на малых расстояниях могут повредить другие органы, в первую очередь легкие, вплоть до летального исхода.

В качестве мощных источников звука в основном используются сирены и свистки. При питании от двигателей внутреннего сгорания их акустическая мощность на низких частотах может составлять десятки киловатт, а на высоких частотах – киловатты. При взрывных источниках возможно получение мегаваттной мощности. Размеры источников для направленного действия должны равняться примерно 1 метру, и такими же размерами будут обладать необходимые источники энергии.

Однако, распространение сильного звука на большие расстояния затруднено. На низких частотах дифракция приводит к сферическому распространению энергии, запрещая направленное воздействие. На высоких частотах, где возможно образование пучков, нелинейные процессы деформируют звуковые волны в ударные с пилообразной формой, которые характеризуются необычно высоким поглощением при звуковом давлении, достаточно высоком для заметного воздействия на человека. Достижение уровней звука, которые могут вызвать боль в ушах, нарушение равновесия, или другие заметные эффекты, представляется недостижимым на расстояниях более примерно 50 метров при размерах источников порядка 1 метра. Внутри строений ситуация изменяется, в особенно если можно использовать резонанс.

Акустическое оружие будет оказывать гораздо меньшее воздействие по сравнению с недавно запрещенным ослепляющим лазерным оружием. С другой стороны, у него в большей степени могут проявляться побочные воздействия из-за размытия пучка. Из-за того, что во многих случаях не будет давать военным или полиции радикальных преимуществ, в особенности, если противник применяет защиту ушей, то шансы на превентивные ограничения существуют. Поскольку акустическое оружие может применяться во многих формах для различных целей, и поскольку широко используется взрывное оружие, такие ограничения должны быть проработанными и детальными.

Автор работает на факультете экспериментальной физики Дортмундского университета (Германия) и в Бохумском проекте по верификации Рурского университета в Бохуме (Германия). Это исследование было начато во время месячной научной командировки в программу исследований мира в Корнелльском университете в Итаке (штат Нью-Йорк, США)

с финансовой поддержкой фонда Джона Д. и Кэтрин Т. Макартур. Оно было закончено в Дортмундском университете с финансовой поддержкой Министерства науки и исследований земли Северный Рейн – Вестфалия.

Оригинальная версия статьи была получена журналом *Наука и всеобщая безопасность* 2 июня 1998 года, а в сокращенной и переработанной форме – в июле 1999 года.

ВВЕДЕНИЕ[1]

Акустическое оружие как вид "несмертельного" оружия

С начала 90-х г.г. возник возрастающий интерес (в основном в США) к так называемому несмертельному оружию (НСО), которое предназначено для обезвреживания оборудования или персонала при исключении или минимизации стойкого или серьезного повреждения людей. Считалось, что НСО предоставит новые, дополнительные возможности для применения военной силы в условиях после окончания холодной войны, и оно могло бы также использоваться для полицейских целей[2]. В то время как одни ожидали революции в

[1] Более подробный вариант этой статьи с большим количеством ссылок и полными приложениями одновременно опубликован как J. Altmann, *Acoustic Weapons - A Prospective Assessment. Sources, Propagation, and Effects of Strong Sound* (Ithaca, NY: Peace Studies Program, Cornell University 1999).

[2] Большая часть информации по несмертельному оружию появляется в статьях журналистов в военной или обычной прессе. В следующих обзорных статьях и книгах обсуждаются различные проблемы несмертельного оружия и содержится обширная библиография. R. Span, J. Altmann, G. Hornig, T. Krallmann, M. Rosario Vega Laso, J. Wiister, "'Non-lethal' Weapons – Fantasy or Prospect of More Humane Use of Force?" (in German), Dossier Nr. 17, Wissenschaft und Frieden (June 1994); R. Kokoski, "Non-lethal weapons: a case study of new technology developments," in: *SIPRI Yearbook 1994: World Armaments and Disarmament* (Stockholm/Oxford: SIPRI/Oxford University Press, 1994); 367-386; S. Aftergood, "The Soft-Kill Fallacy," *Bulletin of the Atomic Scientists* (Sept./Oct. 1994): 40-45; A. Roland-Price, "Non-Lethal Weapons: A Synopsis," in: U.S. Congress, Office of Technology Assessment, "Improving the Prospects for Future International Peace Operations - Workshop Proceedings," OTA-BP-ISS-167 (Washington DC: U.S. Government Printing Office, Sept. 1995); J. Altmann, "'Non-Lethal' Weapons," in: J. Rotblat (ed.), *Security, Cooperation and Disarmament: The Unfinished Agenda for the 1990s* (Singapore etc.: World Scientific, 1998); M. Dando, A *New Form of Warfare - The Rise of Non-Lethal Weapons* (London/Washington: Brassey's, 1996); N. Lewer, S. Schofield, *Non-Lethal Weapons: A Fatal Attraction? Military Strategies and Technologies for 21st-century Conflict* (London/New Jersey: Zed Books, 1997). У сторонников несмертельного оружия имеется не так много систематических и подробных публикаций. Следующие ссылки дают некоторые примеры работ сторонников НСО: "Nonlethality: A Global Strategy Whitepaper" (Washington DC: U.S. Global Strategy Council, 1992); J. B. Alexander, "Nonlethal Weapons and Limited Force Options," presented to Council of Foreign Relations, New York, 27 Oct. 1993; Milt Finger, "Technologies to Support Peacekeeping Operations," in: U.S. Congress, Office of Technology Assessment (ibid.); G. Yonas, "The Role of Technology in Peace Operations"; in: U.S. Congress, Office of Technology Assessment (ibid.); C. Morris, J. Morris, T. Baines, "Weapons of Mass Protection - Nonlethality, Information Warfare, and Airpower in the Age of Chaos," *Air-power Journal* 9, no. 1 (Spring 1995): 15-29; D. A. Morehouse, *Nonlethal Weapons - War Without Death* (Westport CT/London: Praeger, 1996). Взвешенное мнение американских военных представлено в: J. W Cook III, D. P. Fiely, M. T. McGowan, "Nonlethal Weapons -Technologies, Legalities, and Potential Policies," *Airpower Journal* 9, Special Issue (1995): 77-91. Развитие НСО для полицейских операций довольно подробно представлено, например, в: J. Alexander, D. D. Spencer, S. Schmit, B. J. Steele (eds.), "Security Systems and Nonlethal Technologies for Law Enforcement," *Proc. SPIE* 2934 (1997). Все виды деятельности описаны в материалах конференции национальной военно-промышленной ассоциации "Non-Lethal Defense III," Johns Hopkins University, 25 and 26 February 1998, http://www.dtic.mil/ndia/NLD3/index.html.

военном деле и "войны без смерти"[3], многие другие предсказывали, что НСО только дополнит летальное оружие, указывая, что в реальной войне оба вида будут применяться последовательно или совместно[4]. Однако, могут происходить события, отличные от войны, когда наличие многих вариантов применения силы ниже порога убийства может помочь или предотвратить или сократить смертельные исходы, т.е. полицейские действия (восстания, захват заложников и т.д.), или миротворческие операции. Упоминались многие разнообразные технологии, в том числе лазеры для ослепления, микроволновые импульсы высокой мощности, едкие химикаты, микробы, клеи, смазки и компьютерные вирусы.

Хотя в настоящее время изучением и разработкой этих технологий в основном занимаются США[5], после развертывания такого оружия в некоторых областях может начаться гонка вооружений нового качества. Имеется также и возможность распространения, которая может "отыграться", если такое оружие будет применяться противниками или террористами[6]. Некоторые из концепций просто нарушают существующие договоры по разоружению, например применение микробов как оружия против оборудования[7]. Другие могут нарушать нормы международного гуманитарного права[8]. Таким образом, имеются серьезные основания для того, чтобы сделать критический обзор НСО, прежде чем согласиться на его разработку и развертывание.

Такой критический анализ должен включать научно-технические, военно-тактические и политические аспекты. До некоторой степени два последних аспекта зависят от первого. Крайне необходим хорошо обоснованный анализ работы НСО, передачи и распространения до цели, и эффектов его воздействия. Это наиболее важно, поскольку в опубликованной литературе научно-технических подробностей почти нет. Военные специалисты и подрядчики, вовлеченные в исследования и разработку НСО, не предоставляют технической информации[9]. Имеется также определенная опасность того, что при отсутствии надежной информации слабо обоснованные суждения и обещания сторонников НСО получат больший

---

[3] Morehouse, см. ссылку 2.

[4] См., например,.: A. W. Debban, "Disabling Systems: War-Fighting Option for the Future," *Airpower Journal* 7, no. 1 (Spring 1993): 44-50; Roland-Price (см. ссылку 2).

[5] Похоже, что другие западные промышленные страны придерживаются подхода «поживем – увидим», ограничиваясь работой на бумаге для того, чтобы быть в курсе, см. Altmann 1996 (ссылка 2); сообщения из России показывают, что там имеется заметный интерес к несмертельному оружию в целом, примеры включают пучковое оружие и акустические пули, см. Kokoski (ссылка 2), 373; M. T., "Russians Continue Work on Sophisticated Acoustic Weaponry," *Defense Electronics* 26, no. 3 (March 1994): 12.

[6] Эти соображения могли быть среди мотивов в последнем пересмотре позиции США по отношению к лазерному ослепляющему оружию. В июне 1995 года министерство обороны почти что закупило 50 лазерных ослепляющих винтовок LCMS и планировало приобрести еще 2500. Но в сентябре 1995 года его политика изменилась, и в декабре 1995 года (после корректировки текста для учета интересов США и других стран) США подписало новый дополнительный протокол к конвенции ООН по запрещению или ограничению использования определенных видов обычных вооружений, которые могут рассматриваться как избыточно травматические или не делающие различий («Конвенция по определенным видам вооружений» или «Конвенция по нечеловечным вооружениям») 1980 года. См. "Blinding Laser Weapons: The Need to Ban a Cruel and Inhumane Weapon," *Human Rights Watch Arms Project* 7, no. 1 (Sept. 1995); текст протокола в: "Trust and Verify," no. 62 (London: Verification Technology Information Centre, Nov./Dec. 1995).

[7] Конвенция по биологическому оружию 1972 года запрещает любое враждебное применение биологических агентов, независимо от того, направлено он против живого организма, или против техники; Finger (см. ссылку 2) в этом отношении неправ. См. Altmann (ссылка 2); Cook et al. (ссылка 2). Однако, Конвенция по химическому оружию 1992 года только запрещает ядовитые химические вещества, которые могут привести к смерти, временному выходу из строя или к стойкому вреду для человека или животных.

[8] Наиболее ярким примером является случай лазерного ослепляющего оружия, применение которого, к счастью, было запрещено в 1996 году, см. ссылку 6.

[9] См. также B. Starr, "Non-lethal weapon puzzle for US Army," *International Defense Review* 4 (1993): 319-320.

политический вес, чем они того заслуживают, или что будут приняты решения на основании узкой военной точки зрения.

Поскольку НСО охватывает много различных технологий, для каждого вида оружия требуется детальный анализ[10]. В настоящей статье представлен анализ акустического оружия, с основным вниманием к низкочастотному звуку. С одной стороны, говорят, что такое оружие может вызвать потерю ориентации, рвоту и боль, не сопровождающиеся стойкими последствиями. С другой стороны, упоминалась возможность серьезных повреждений органов и даже смерти, так что эпитет "несмертельный" не может быть верен для всех возможных видов и применений. В таблице 1 перечислены некоторые свойства, приписываемые акустическому оружию[11]. Поскольку многие из них основаны на слухах и не на публично документированных случаях, они не могут рассматриваться в качестве надежной информации, но могут служить указателями направлений, в которых следует провести дополнительный анализ.

В качестве общего примера таких заявлений приведем следующее: "Ученые, участвующие в разработке этих технологий (НСО), знают, что нет иных пределов, кроме поддержки и финансирования. Если они работают над ними, то они заставят их сделать все, что они пожелают нужным"[12]. Такое заявление не принимает в расчет, во-первых, законов природы, и во-вторых, возможностей противодействия противника.

[10] Такая оценка новых военных технологий является одним из видов превентивных ограничений на вооружения; примеры других технологий можно найти в J. Altmann, "Verifying Limits on Research and Development - Case Studies: Beam Weapons, Electromagnetic Guns," in: J. Altmann, T. Stock, J.-P. Stroot (eds.), *Verification After the Cold War - Broadening the Process* (Amsterdam: VU Press, 1994).

[11] Дополнительные источники, не включенные в эту таблицу: B. Starr, "U.S. tries to make war less lethal," *Jane's Defence Weekly* (31 Oct. 1992): 10; A. and H. Toffler, "War and Anti-War. Survival at the Dawn of the 21st Century" (Boston etc.: Little, Brown and Co. 1993) (см. главу 15, "War without Bloodshed?") (цитируется по немецкому переводу: "Uberleben im 21. Jahrhundert" (Stuttgart: DVA 1994)); Debban (ссылка 4), Alexander (ссылка 2); J. Barry, T. Morganthau, "Soon, 'Phasers on Stun'" *Newsweek* (7 Febr. 1994): 26-28; Kokoski (ссылка 2); Aftergood (ссылка 2), G. Frost, C. Shipbaugh, "GPS Targeting Methods for Non-Lethal Systems," Reprint RAND/RP-262 (1996) (перепечатка из IEEE Plans 94); Cook et al. (ссылка 2); Morehouse (ссылка 2), p. 20,119 f; Dando (ссылка 2), p. 11 ff; SARA report of 10 Febr. 1995 (revised 13 Febr. 1996) и прочие ссылки из: W. Arkin, "Acoustic Anti-personnel Weapons: An Inhumane Future?," *Medicine, Conflict and Survival* 14, no. 4 (1997): 314-326.

[12] Morehouse, см. ссылку 2.

Табл. 1. Выбранные примеры приписываемых свойств, воздействия и целей акустического оружия по доступной литературе с иногда неизвестными источниками. Отметим, что имеются некоторые несоответствия, например, какие частоты, высокие или очень низкие, используются в "акустических пулях"[13,14,15,16]. В некоторых случаях нельзя избежать впечатления, что соответствующие авторы чего-то недопонимают или путают разные вещи, например, с плазмой, создаваемой акустическими пулями, или с отождествлением недифрагирующего и непроникающего[13].

Источник звука	Воздействие	Цели	Ссылка
Инфразвук	Может повлиять на лабиринт уха, вызвать головокружение, резонансы во внутренних органах, например, в сердце, с воздействиями вплоть до смерти.	Борьба с беспорядками (применялось Англией в Северной Ирландии)	[17]
Инфразвук с нелинейным наложением двух ультразвуковых пучков (испытано в Великобритании)	Непереносимые ощущения.	Борьба с беспорядками	[18]
Инфразвук	Вывод из строя, дезориентация, рвота, тошнота, спазмы внутренних органов, воздействие прекращается после выключения генератора без нанесения физического вреда.	Борьба с беспорядками и толпой, психологические операции	[19]
Шум очень низкой частоты	Дезориентация, рвота, тошнота, спазмы внутренних органов, неконтролируемые испражнения.	Вражеские войска	[20]

[13] P. R. Evancoe, "Non-Lethal Technologies Enhance Warrior's Punch," *National Defense* (Dec. 1993): 26-29.
[14] M. Tapscott, K. Atwal, "New Weapons That Win Without Killing On DOD's Horizon," *Defense Electronics* (Febr. 1993): 41-46.
[15] Starr (ссылка 9).
[16] "Army Prepares for Non-Lethal Combat," *Aviation Week & Space Technology* (24 May 1993): 62.
[17] M. Lumsden, *Anti-personnel Weapons* (Stockholm /London: SIPRI/Taylor&Francis 1978): 203-205.
[18] "Army tests new riot weapon," *New Scientist* (20 September 1973): 684; C. Ackroyd, K. Margolis, J. Rosenhead, T. Shallice, *The Technology of Political Control* (2nd ed.) (London: Pluto, 1980): 224-225. См. также: R. Rodwell, '"Squawk box' technology," *New Scientist* (20 September 1973): 667.
[19] "Non-lethality ..." (ссылка 2).
[20] V. Kiernan, 'War over weapons that can't kill," *New Scientist* (11. Dec. 1993): 14-16.

Источник звука	Воздействие	Цели	Ссылка
Инфразвук - регулируемая низкая частота, высокая интенсивность	Резонансы в полостях тела, вызывающие нарушения в органах, размывание зрения, тошноту – от временного неудобства до смерти (личный состав). Появление трещин и усталость в металлах, тепловое повреждение и расслоение композитов, повреждение стекол в домах, локальные землетрясения (техника).		[21]
Инфразвук от систем очень больших громкоговорителей и очень мощных не существующих до сих пор усилителей, требующих разработки охлаждения и новых материалов	Дискомфорт, потеря ориентации, тошнота, рвота	Освобождение заложников, борьба с беспорядками и толпой, психологические операции	[13]
Акустическое пучковое оружие высокой мощности и очень низкой частоты, разработанное вместе с SARA при участии LANL и ARDEC, фазированная решетка позволяет уменьшить размеры до 1 кубометра (для небольшого автомобиля), в будущем может стать еще меньше	Дискомфорт, как рядом с большой сиреной (при определенных частотах и интенсивностях)	Защита американских учреждений за границей (например, посольств)	[14]
Акустическая пуля очень низкой частоты, излучаемая антеннами, исследованная в ARDEC		Наступательные возможности против личного состава в бункерах или на машинах	[15]
Акустические пули большой мощности и очень низкой частоты от антенны размером в 1 – 2 метра	Различные эффекты при разных уровнях, от дискомфорта до смерти		[16]
Высокочастотная недифрагирующая (т.е., непроникающая) акустическая пуля, создающая плазму перед объектом	Травма от удара тупым предметом		[14]

[21] Lewer/Schofield (ссылка 2), 8 ff.

Источник звука	Воздействие	Цели	Ссылка
Акустический импульс с частотой около 10 Гц на расстояниях до сотен метров, разработанный в России	Регулируемое от несмертельного до смертельного исхода		[22]
«Разностная зона» от пересечения двух не слышимых поодиночке пучков, разработанная в России			[22]
Аббревиатуры: ARDEC: U.S. Army Armament Research, Development and Engineering Center, Picatinny Arsenal NJ, U.S., LANL: Los Alamos National Laboratory, Los Alamos NM, U.S., SARA: Scientific Applications and Research, Huntington Beach CA, U.S.			

Некоторые исторические аспекты акустического оружия

В то время как звук низкой частоты часто использовался в вооруженных силах для обнаружения и локализации артиллерии, ничего не известно о его использовании в армии в качестве оружия. В двух обзорных статьях по инфразвуку упоминается о существующих указаниях на то, что Великобритания и Япония исследовали эту возможность, и показали, что для поражающего *смертельного* действия на заметном расстоянии требуются источники нереально большой мощности[23].

По отношению к несмертельному воздействию низкочастотного звука, уже в книге 1969 года по борьбе с беспорядками упоминалось, что теория применения звука как оружия обсуждалась во многих научных статьях (что, однако, автор настоящей статьи подтвердить не может), что были испытаны сверзвуковые и субзвуковые устройства для борьбы с беспорядками, и что оказалось, что такие устройства были слишком дорогими, слишком сложными, и слишком ненаправленными[24]. Об единственном подробно обсуждавшемся устройстве («Ужастике» или «Разгоняющем толпу») говорилось, что оно излучает пронзительный пульсирующий звук с помощью усилителя в 350 Вт, создающего уровень в 120 дБ на расстоянии в 10 м[25].

В 1971 году в коротком обзоре Британского королевского военного научного колледжа отмечалось уменьшение сопротивления при допросах, увеличение усталости вражеских сил, создание инфразвукового барьера и быстрое разрушение строений противника[26]. Несколько позже журнал «Нью Сайентист» в контексте сообщений об оружии, применяемом против протестующих в Северной Ирландии, написал об успешных испытаниях «вопящего ящика», устройства, про которое сообщалось, что оно излучает две близкие к ультразвуку частоты (например, 16,000 и 16,002 кГц), при сложении в ухе дающие биения с

[22] М.Т. (ссылка 5).

[23] N. Broner, "The Effects of Low Frequency Noise on People - A Review," *Journal of Sound and Vibration* 58, no. 4 (1993): 483-500; O. Backteman, J. Kohler, L. Sjoberg, "Infrasound - Tutorial and Review: Part 4," *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 3, no. 2 (1984): 96-113. Broner цитирует: J. F. J. Johnston, *Infrasound - a Short Survey* (Royal Military College of Science, England, 1971). Backteman et al. практически без изменений переписали соответствующий абзац из работы Broner, удалив два предложения и две ссылки и не указали на источник.

[24] R. Applegate, *Riot Control - Material and Techniques* (Harrisburg PA: Stackpole, 1969): 273.

[25] Applegate (ссылка 24). В 1973 году правительство Англии закупило 13 таких систем для применения в Северной Ирландии, но похоже, что там они их не использовали. См. Ackroyd et al., (ссылка 18), 223 – 224.

[26] Johnston (ссылка 23), цитировано в Broner (ссылка 23). О применении белого шума против заключенных см также: Lamsden (ссылка 13) и приведенную там литературу.

низкой частотой (в данном случае 2 Гц), которые, как говорилось, являются невыносимыми[27]. Министерство обороны опровергло наличие такого устройства[28]. В последующей книге сообщалось, что оно никогда не было полностью закончено[29]. Обсуждение такой возможности проводится ниже, в разделе 5.1.2.

В то же самое время появилась серия статей, в которых утверждалось, что эффекты инфразвука, такие, как головокружение и тошнота, проявляются при уровнях в 95 – 115 дБ, что, однако, не было подтверждено другими экспериментаторами[30].

Силы США применяли громкую музыку для того, чтобы выгнать М. Норьегу из его убежища в Панаме в 1989 году[31]. Однако такое применение звука больше основано на раздражении, чем на физических повреждениях, и в дальнейшем оно рассматриваться не будет.

Реальные разработки

Центр исследования, разработки и обслуживания вооружений Армии США (ARDEC) в арсенале Пикатинни, штат Нью-Джерси, несет ответственность за усилия армии в выполнении программы вооружений с низким побочным ущербом[32]. Один из проектов в области низкочастотной акустики представлял собой пульсатор, питаемый двигателем внутреннего сгорания или взрывом, загоняющий газ в трубы, чтобы создать мощный пучок, применяемый против небольших замкнутых объемов, а другой имел дело с недифрагирующими акустическими «пулями», излучаемыми антенной диаметром в 1 – 2 метра с помощью высокочастотного звука. Оба проекта выполнялись Ассоциацией научных применений и исследований (SARA) в Хантингтон-Бич, штат Калифорния[33]. Похоже, что аналогичные проекты проводились и в России: в Центре испытания устройств с несмертельными эффектами в Москве давним американским сторонникам НСО Дж. и С. Моррис, как утверждалось, показали устройство, направляющее акустический импульс размером с бейсбольный мяч с частотой около 10 Гц на сотни метров, мощность которого может регулироваться вплоть до смертельной. Другим принципом был «разностный» тон, образующийся при пересечении двух не слышимых поодиночке пучков[34]. Обсуждение акустических пуль и генерация слышимого звука или инфразвука из двух ультразвуковых полей обсуждается ниже в разделах 5.1.3 и 5.1.2. Так же, как и в проектах США, надежная опубликованная информация отсутствует.

Наиболее конкретная информация, доступная в настоящее время, по-видимому, содержится на нескольких первых страницах отчета SARA за 1996 год, как сообщалось в не-

---

[27] "Army tests ..." (ссылка 18); Ackroyd et al. (ссылка 18), 224-225. См. также: Rodwell (ссылка 18).

[28] На последующей пресс-конференции британская армия представила вместо этого систему усилителя и громкоговорителя мощностью 350 Вт (см. ссылку 24), 13 единиц которой было закуплено, но «забыло» пригласить репортера *New Scientist*, который написал статью о «вопящем ящике», см. R. Rodwell, "How dangerous is the Army's squawk box?," *New Scientist* (27 September 1973): 730.

[29] Ackroyd et al., (ссылка 18), 224 – 225.

[30] M. Bryan, W. Tempest, "Does infrasound make drivers drunk?," *New Scientist* (16 March 1972): 584-586; R. Brown, "What levels of infrasound are safe?," *New Scientist* (8 Nov 1973): 414-415; H. E. von Gierke, D. E. Parker, "Infrasound," ch. 14 in: W. D. Keidel, W. D. Neff (eds.), "Auditory System - Clinical and Special Topics," *Handbook of Sensory Physiology,* vol. V/3 (Berlin etc.: Springer, 1976): section VII.

[31] Starr (ссылка 9).

[32] Tapscott/Atwal (ссылка 14). См. также: http://www. pica.army.mil/pica/products/tbiwc.html.

[33] Starr (ссылка 9). См. также: http://www.sara.com/docu ments/future.htm. Похожая информация представлена в Tapscott/Atwal (ссылка 14); там утверждается, что Лос-Аламосская национальная лаборатория (ЛАНЛ) работает с акустическими пучками, но Starr упоминает ЛАНЛ только в связи с оптическим оружием и микроволновыми снарядами большой мощности. В брошюре ЛАНЛ упоминается только о двух последних темах, но не об акустическом оружии: "Special Technologies for National Security" (Los Alamos NM: Los Alamos National Laboratory, April 1993).

[34] M.T. (ссылка 5).

вреждений. В последующих частях особое внимание будет уделено низким частотам, поскольку их влияние менее известно, чем в звуковом диапазоне, и поскольку они упоминаются во многих публикациях по акустическому оружию. Высокочастотный звук и ультразвук будут рассматриваться вкратце. Особый подраздел будет посвящен ударным волнам, например, от взрывов.

В табл. 9 в конце этого раздела будет приведена упрощенная сводка различных эффектов в разных диапазонах частот.

Общие сведения об ухе[48]

Слух и нарушения слуха. В человеческом ухе (см. рис. 1) звуковые волны, входящие в ушной канал, заставляют колебаться барабанную перепонку. Это движение передается тремя косточками к овальному окну в начале лабиринта. Образующаяся волна давления, распространяющаяся в перилимфе улитки, изгибает базилярную перепонку, которая продольно разделяет улитку на лестницу преддверия и на барабанную лестницу; эти два канала соединяются на конце улитки, и последний канал возвращается назад к круглому окну среднего уха. На базилярной перепонке расположен орган Корти, волосатые клетки которого определяют деформацию и передают информацию через клетки ганглия в мозг. Евстахиевы трубы соединяют среднее ухо с полостями носа. С улиткой соединены полости и три полукруглых канала вестибулярного аппарата, которые определяют движение головы и помогают поддерживать равновесие.

Среднее ухо содержит механизмы, которые могут ослаблять уровень вибраций, связанных с внутренним ухом, определяя этим пределы слуха и уменьшая повреждения от сильного звука. На очень низких частотах выравнивание давлений может быть обеспечено евстахиевой трубой. Ушной рефлекс, сокращающий мускулы среднего уха (барабанный мускул и стременной мускул) примерно через 0,2 сек после появления сильного звука, ослабляет трансмиссию через косточки. Из-за механических свойств косточек частоты выше 20 кГц через них не передаются.

После воздействия сильного звука слуховая система обычно становится менее чувствительной; иначе говоря, пороги слышимости увеличиваются. Восстановление будет возможно, если экспозиция не превышает зависящих от частоты пределов уровня и длительности, и если период отдыха достаточно велик. Их обычно называют временными сдвигами порогов (ВСП) и измеряют через 2 минуты после окончания шума. До уровня ВСП примерно в 40 дБ восстановление спокойно происходит примерно в течение до 16 часов. После определенного предела восстановление будет неполным и остаются постоянные сдвиги порога (ПСП), т.е. хроническая потеря слуха. Из-за того, что так называемая «потеря слуха из-за шума» в некоторой степени накапливается, критерии экспозиции, помимо спектрального состава и уровня, включают длительность и время восстановления[49].

---

[48] F. G. Hirsch, "Effects of Overpressure on the Ear - A Review," *Annals of the New York Academy of Sciences* 152(Art. 1) (1968): 147-162; W. D. Keidel, W. D. Neff (eds.), "Auditory System - Anatomy, Physiology (Ear)," in *Handbook of Sensory Physiology,* vol. V/1 (Berlin etc.: Springer, 1974); Karl D. Kryter, *The Effects of Noise on Man* (New York etc.: Academic 1970; second edition 1985), ch. 1; v. Gierke/Parker (note 30); W. Melnick, "Hearing Loss from Noise Exposure," in C. M. Harris (ed.), *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control* (New York etc.: McGraw-Hill, 1991) ch. 18; W. D. Ward, "Noise-Induced Hearing Damage," in M. M. Paparella et al. (eds.), *Otolaryngology* vol. II (3rd edition Philadelphia etc.: Saunders 1991) ch. 45; B. Berglund, P. Hassmen, "Sources and effects of low-frequency noise," *Journal of the Acoustical Society of America* 99(5) (May 1996): 2985-3002.

[49] Отметим, что PTS накапливается в течение долгого времени, а TTS возникает ежедневно.

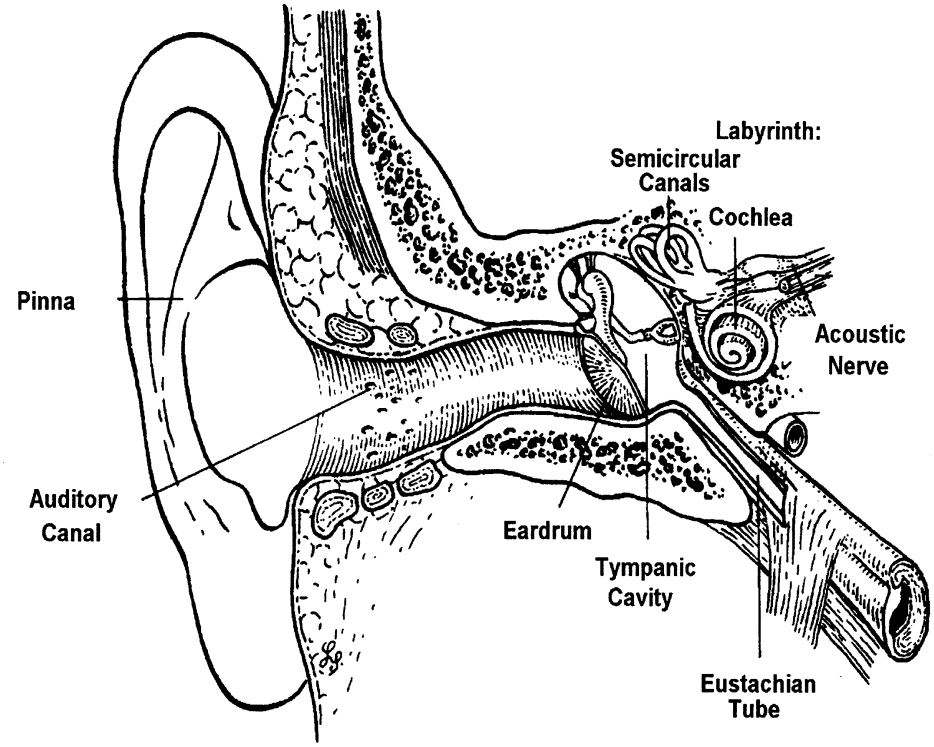

Рисунок 1

Человеческое ухо состоит из трех основных частей: внутреннего, среднего и внешнего уха. Звуковые волны отражаются ушной раковиной и распространяются по слуховому каналу, вызывая вибрации барабанной перепонки. Три косточки среднего уха (молоточек, наковальня и стремя) передают это движение – усиливая давление – к овальному окну на входе лабиринта и к внутренней перилимфе. Образующаяся волна давления проходит внутрь улитки, изгибая базилярную перепонку, которая продольно разделяет улитку и несет на себе чувствительные волосатые клетки. Их возбуждение передается в мозг по слуховому нерву. Выравнивание давления в среднем ухе может обеспечиваться евстахиевой трубой. Мышцы среднего уха (не показаны) могут ослаблять трансмиссию по цепочке косточек. Вторая часть лабиринта представляет собой вестибулярный аппарат с полостями и полукруглыми каналами для определения движения. Рисунок взят из работы[50] и исправлен с разрешения авторов и издателя; исходное авторское право принадлежит Шпрингер-Ферлаг. Подписи к рисунку (слева направо против часовой стрелки): ушная раковина; слуховой канал; барабанная перепонка; барабанная полость; евстахиева труба; слуховой нерв; улитка; лабиринт; полукруглые каналы.

Если ВСП могут быть измерены в экспериментах на людях, для ПСП приходится опираться на данные о пациентах, пострадавших в несчастных случаях, на производстве и т.п. Другой метод основан на экспериментах с животными, результаты которых, конечно, не могут быть непосредственно применены к людям. В качестве подопытных животных обычно используют шиншилл, морских свинок или кошек, которые, однако, считаются более чувствительными, чем люди; использовались также собаки и обезьяны, а для ударных волн – овцы.

На базе данных по ВСП можно предсказать, какой шум (большего уровня или длительности) вызовет большие ПСП. Существуют сложные схемы качественной оценки ПСП от шума по ожидаемым ВСП, согласно которым ПСП от ежедневного шума в течение 20 лет примерно равен ВСП после 8 часов. Считается, что ПСП возникает в результате процессов механического и метаболи-ческого повреждения чувствительных волосатых клеток на базилярной перепонке улитки. ПСП, как и ВСП, сильно зависит от субъекта. Обычно они раньше и сильнее проявляются на частоте 4 кГц, и распространяются к большим и меньшим часто-

[50] H.-G. Boenninghaus mit T. Lenarz, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde fur Studierende der Medizin, 10. AufL, Berlin etc.: Springer, 1996.