

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ

План лекции:

1. Влияние шума на организм человека
2. Физические характеристики шума
3. Классификация шумов
4. Нормирование шумов
5. Акустический расчет помещений
6. Инфразвук и ультразвук

1. Влияние шума на организм человека

Шумом принято называть нежелательное для восприятия органами слуха человека беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности.

Источниками шума являются все тела, находящиеся в состоянии колебаний (воздух, вода, металл и т.п.).

Влияние шума на человека пока еще недостаточно полно изучено. Это объясняется сложностью выделения влияния шума из комплекса факторов внешней среды, воздействующих на человека, и отсутствием четких критериев его оценки. Реакция организма на шум зависит от многих факторов. Некоторые люди терпимы к нему, у других он вызывает неудовольствие, у третьих - нарушает самочувствие, сон, нормальную трудовую деятельность. Причиной различного восприятия шума может быть возраст, состояние здоровья, характер деятельности человека, его настроение.

Уровень шума и фактор времени имеют решающее значение. Степень раздражающего воздействия зависит и от того, на сколько шум превышает привычный окружающий фон, какова заключенная в нем информация.

Влияние производственного шума на организм человека также может сопровождаться развитием профессиональных заболеваний. Длительное воздействие шума на человека может привести к частичной, а иногда значительной потере слуха - профессиональной тугоухости и оказывать глубокое воздействие на весь организм человека. Уже при шуме 130 дБ человек испытывает болевые ощущения. Шум в 150 дБ для человека, непереносим, а в 190 дБ вырывает заклепки из металлических конструкций. Шум, обладая кумулятивными качествами, накапливаясь в организме, оказывает вредное воздействие в первую очередь на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы. Шум-источник и причина многих заболеваний и функциональных расстройств. Как показали результаты медико-биологических исследований, каждый децибел шума сверх допустимой нормы снижает производительность труда на один процент, увеличивает риск потери слуха на полтора процента и на полпроцента - риск сердечно-сосудистых расстройств.

Частичная или полная потеря слуха - не редкое профессиональное заболевание во многих промышленно развитых странах. Неблагоприятное воздействие акустических колебаний приводит не только к ухудшению слуха. От избыточного шума в организме снижается иммунный барьер и частота, заболеваний, причем самых различных - от простудных до гинекологических - увеличивается. Исследования показывают, что шумных предприятиях уровень заболеваемости выше среднего на 20%. Под влиянием шума повышается внутричерепное и кровяное давление, сердце начинает хуже сокращаться, нарушаются ритм дыхания и сон, нарушается работа эндокринной системы. Шум является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания,

остроты зрения, чувствительности к предупредительным сигналам. По мнению австрийского ученого Гриффита шум является причиной преждевременного старения в 30 случаях из 100, он сокращает жизнь человека в шумных городах на 8-12 лет. Под действием систематического шума производительность труда в ряде случаев снижается до 66%, а число ошибок в расчетных работах увеличивается более чем на 50%.

2. Физические характеристики шума

В акустике под звуком понимают механические колебания в сплошной среде: твердой, жидкой или газообразной. Звуковые колебания охватывают диапазон частот от 0 до бесконечности. В зависимости от частоты звуковые колебания подразделяются на инфразвуковые (частота ниже 16 Гц), акустические (слышимые), (частота от 16 Гц до 20 кГц), ультразвуковые (частота выше 20 кГц).

Шумом называют любой нежелательный звук или совокупность таких звуков. Звук это распространяющийся в упругой среде колебательный процесс в виде чередующихся волн сгущения и разрежения частиц этой среды. Источником звука может являться любое колеблющееся тело. Колеблющееся тело отклоняется от своего положения равновесия попеременно в противоположные стороны. При каждом отклонении оно сжимает одной своей стороной прилегающий к нему воздух, а другой стороной разрежает. С одной его стороны давление воздуха становится чуть больше атмосферного, и настолько же оно уменьшается с противоположной стороны. Разница между давлением в слое сжатия или разрежения и обычным атмосферным давлением называется акустическим или звуковым давлением P . Звуковое давление измеряется в Паскалях ($1\text{Па} = 1\text{Н/м}^2$). Ухо человека ощущает звуковое давление от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^2$ (Па) Н/м^2 . Чем больше давление звука, тем сильнее раздражение и ощущение громкости звука.

$$P = F/S, \quad \text{Н/м}^2, \text{ Па}$$

F – нормальная сила, с которой звуковая волна действует на поверхность, Н
 S – площадь поверхности, на которую падает звуковая волна, м^2

При распространении звуковой волны происходит перенос энергии. (Звуковые волн являются носителями энергии) Средний поток энергии в единицу времени, отнесенный к единице поверхности, нормальной к направлению распространения волны, называется интенсивностью звука в данной точке I . (Вт/м^2).

$$I = \Phi/S, \quad \text{Вт/м}^2$$

Ухо человека чувствительно не к интенсивности, а к звуковому давлению P . Интенсивность I и звуковое давление P связаны между собой следующим соотношением.

$$I = P^2 / \rho c,$$

где ρc – акустическая плотность среды, c – скорость распространения звука.

Скорость распространения звуковых волн зависит от упругих свойств среды, температуры и плотности среды.

$$c = \lambda * f$$

Скорость распространения звуковой волны по разным средам различна и для воздуха при $t=20^\circ\text{C}$ $c=334\text{м/с}$, для стали $c=5000\text{м/с}$, для бетона $c=4000\text{ м/с}$.

Т.к. звук волна представляет собой колебательный процесс, то он характеризуется такими понятиями как период колебания T (время, в течение которого совершается 1

полное колебание), частота колебаний (число полных колебаний за 1 с), амплитуда колебаний (наибольшее отклонение от точки устойчивого равновесия)

Максимальные и минимальные значения звуковых давлений и интенсивностей, воспринимаемые человеком как звук, называется пороговыми.

Звуки малой интенсивности еле слышимые, называются порогом слышимости. Порогу слышимости на частоте 1000 Гц соответствует интенсивность $I_0 = 10^{-12}$ Вт / м² и звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Максимальные значения (порог болевого ощущения) соответствуют звукам, которые вызывают болевые ощущения в органах слуха. Энергия звука на грани болевого ощущения в 10^{14} раз превышает энергию едва слышимого (порога слышимости) звука той же частоты. Такой огромный диапазон силы звука (от порога слышимости к болевому порогу) доступен благодаря способности человеческого уха реагировать не на абсолютный прирост силы звука, а на относительное изменение этой величины. Поэтому для уменьшения шкалы измерений были введены логарифмические величины – уровни интенсивности и звукового давления.

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ}$$

или

$$L = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБ}$$

где L - уровень силы (интенсивности звука), дБ (децибел)

I - интенсивность слышимого звука, Вт/м²

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² - интенсивность звука на пороге слышимости, Вт/м²

P - звуковое давление слышимого звука, Па

P_0 - звуковое давление на пороге слышимости, Па (равно $2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Уровень силы (интенсивности) звука - это логарифм отношений величин интенсивности отношений величин звука или звукового давления слышимого звука к значениям, соответствующим порогу слышимости при эталонной частоте в 1000 Гц.

Величину уровня интенсивности используют в акустических расчетах, а уровня звукового давления - для измерения шума и оценки его воздействия на человека, поскольку орган слуха чувствителен не к интенсивности а к среднеквадратичному давлению.

Благодаря звуковому давлению мы и можем слышать звук. Оно ничтожно. Мы легко улавливаем чуть слышный шорох, хотя его звуковое давление на барабанную перепонку уха равно всего лишь $3 \cdot 10^{-5}$ Па, т.е. в $3 \cdot 10^{10}$ раз меньше атмосферного давления. Такое давление соответствует нагрузке примерно трем десятиmillionным грамма на 1 см². Наше ухо гораздо чувствительнее, чем самые точнейшие химические весы.

Такая чувствительность уха сама по себе загадочна. Физиологи рассчитали, что под воздействием самого слабого звука барабанная перепонка прогибается на расстояние меньше, чем размеры атома. Науке еще не вполне ясно, как осуществляется в нашем ухе передача столь слабых звуков.

Еще одно замечательное свойство нашего уха – способность воспринимать звуки, интенсивность которых различается в 10^{13} раз. Измерительная техника не знает такого прибора, которым можно было бы определять величины, различающиеся в 10 триллионов раз. На весах с таким диапазоном чувствительности можно было бы взвесить и камень весом в 1 кг и небольшую планету.

Т.к., шум, как правило, является совокупностью звуков различной частоты, то для удобства нормирования осуществляют разложение шума на составляющие его тона

(звуки примерно одной частоты). Такая операция называется спектральным анализом, а графическое изображение зависимости уровней звукового давления от частоты называется частотным спектром шума. Спектры получают, используя анализаторы шума – набор электрических фильтров, которые пропускают сигнал в определенной полосе частот.

Пример построения спектра шума

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

f, Гц

Для оценки шума используют звуковой диапазон частот от 45 до 11000 Гц, включающий 8 октавных полос со среднегеометрическими частотами октавных полос $f_{сг}$ 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Октавная полоса – полоса частот, между граничными значениями которых $f_{верх}$ и $f_{нижн}$ выполняется соотношение $f_{верх}/f_{нижн}=2$, среднегеометрическая частота

$$f_{сг} = \sqrt{f_{нижн} * f_{верх}} \quad (63 = \sqrt{45 * 90}).$$

При ориентировочной оценке за характеристику постоянного шума допускается использовать общий уровень шума допускается использовать общий уровень звука дБА, измеряемый по шкале А шумомера

$$L_a = 20 \lg \frac{P_a}{P_0},$$

где P_a - среднеквадратическое значение звукового давления с учетом коррекции А шумомера.

Характеристикой непостоянного шума является интегральный по времени критерий - эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА. Определяется он в соответствии с формулой

$$L_{аэжв} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P_a(t)}{P_0} \right)^2 dt$$

где T - время осреднения.

Допускается в качестве характеристики непостоянного шума использовать дозу шума или относительную дозу

$$D = \int_0^T P_a^2(t) dt, \text{ Па}^2 \cdot \text{час}$$

Доза учитывает акустическую энергию воздействия на человека за определенный период времени. Относительная доза $D_{отн}$ определяется зависимостью

$$D_{отн} = \frac{D}{D_{доп}} \cdot 100\%$$

где $D_{доп} = P_{а доп}^2 \cdot T_{р.д.}$

здесь P_a - допустимый уровень звука, $T_{р.д.}$ - время рабочей смены.

Соотношение между эквивалентным уровнем звука и относительной дозой шума (при допустимом уровне звука 85 дБА) в зависимости от времени действия шума приведено в таблице:

Относительная доза, %	Эквивалентные уровни звука, дБа						
	Время действия						
	8ч	4ч	2ч	1ч	30 мин	15 мин	7 мин
3.2	70	73	76	79	82	85	88
100	85	88	91	94	97	100	103
3200	100	103	106	109	112	115	118

Характеристики источников шума

Любой источник шума характеризуется:
звуковой мощностью P , т.е. общим количеством звуковой энергии, излучаемой им в единицу времени[Вт].

$$P = \phi J_n ds$$

где J_n - нормальная к излучающей поверхности составляющая интенсивности звука, которая связана со звуковым давлением следующей зависимостью

$$J = \frac{P^2}{\rho c} \quad J = \frac{P^2}{\rho c}$$

где ρ - плотность (воздуха) среды распространения, c - скорость распространения звука в данной среде.

В паспорте на устройство обычно приводится не сама звуковая мощность, а ее уровни, в октавных полосах частот.

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

где $P_0 = 10^{-12}$ Вт - пороговое значение звуковой мощности.

Второй характеристикой источника шума является **направленность излучения**, которая характеризуется фактором направленности ϕ - фактор направленности показывающий отношение интенсивности звука, создаваемого направленным источником в данной точке I , к интенсивности I_{cp} , которую бы в этой же точке ненаправленного источника, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук в среду (во все стороны одинаково)

$$\phi = \frac{J_n}{J_{cp}} = \frac{P^2}{P_{cp}^2}$$

где J_n - интенсивность в данной точке.

В расчетных зависимостях часто используют **показатель направленности G** , который определяется зависимостью:

$$G = 10 \lg \phi = 10 \lg \frac{J}{J_{cp}} = 20 \lg \frac{P}{P_{cp}} = L - L_{cp}$$

Зная уровень звуковой мощности источника шума и его фактор направленности, можно определить ожидаемый уровень звука, генерируемый данным источником, в любой интересующей точке акустического пространства.

3. Классификация шумов

Шумы принято классифицировать в зависимости от источника возникновения, спектрального состава, характера спектра и временным характеристикам.

А) По источнику возникновения шумы подразделяются на: механические, аэродинамические, гидравлические, электромагнитные.

Б) В зависимости от спектрального состава шумы бывают низкочастотные: максимум звукового давления в диапазоне частот ниже 300-400 Гц, среднечастотные 300(400)-800(1000) Гц и высокочастотные: свыше 800(1000) Гц.

В) В зависимости от характера спектра шумы бывают **тональными**, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона, и **широкополосными** – с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

Г) По временным характеристикам шумы подразделяют на **постоянные**, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более, чем на 5 дБА, и **непостоянные**, для которых это изменение за 8-часовой рабочий день более 5 дБА.

В свою очередь, непостоянные шумы делят на **колеблющиеся** во времени (уровень звука непрерывно меняется), **прерывистые** (уровень звука ступенчато изменяется на 5 дБА и более не чаще, чем через 1 сек. и более) и **импульсные** (состоящие из нескольких звуковых сигналов, длительностью менее 1 сек. И разностью в уровнях звука 7 дБА).

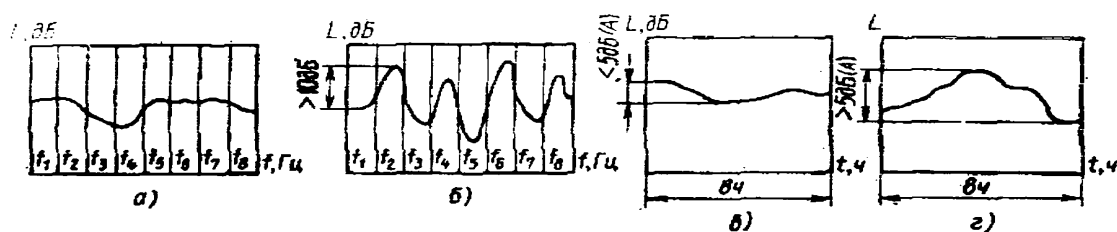


Рис1.1 Спектры шума

- а.) широкополосный
- б.) тональный
- в.) постоянный
- г.) непостоянный

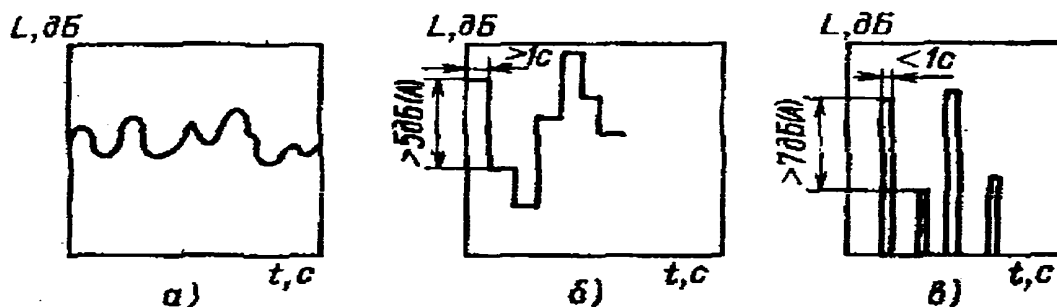


рис. 1.2 Спектры непостоянного шума

- а.) колеблющийся
- б.) прерывистый
- в.) импульсный

Рис.1. Спектры шумов в соответствии, с указанной классификацией приведены на

4. Нормирование шумов

Для защиты человека от неблагоприятного воздействия шума необходимо регламентировать его интенсивность, спектральный состав, время воздействия. Эту цель преследует санитарно-гигиеническое нормирование.

Нормирование допустимых уровней шума производится для различных мест пребывания населения (производство, дом, места отдыха) и основывается на ряде документов:

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности,

ГОСТ 12.1.036-81 ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях.

Санитарные нормы допустимого уровня шума на промышленных предприятиях и в жилых зданиях существенно различны, т.к. в цехе рабочие подвергаются воздействию шума в течение одной смены - 8 часов, а население крупных городов - почти круглосуточно. Кроме этого, необходимо учитывать во втором случае присутствие наиболее ранимой части населения - детей, пожилых, больных. Допустимым считается уровень шума, который не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не снижает его работоспособность, не влияет на его самочувствие и настроение.

Санитарные нормы допустимого шума в жилых помещениях разработаны Московским НИИ гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана при участии НИИ строительной физики. Нормы устанавливают параметры шума для различных мест и условий пребывания людей (активный отдых, сон, учебный процесс, речевое общение, умственная работа, восстановление здоровья и т.д.).

В нормативные показатели исходя из характера шума и места расположения объектов можно вносить поправки, колеблющиеся от -5 до +10 дБА. Нормативные уровни с учетом соответствующих поправок называются допустимыми уровнями. С ними и сопоставляются фактические уровни звука в конкретной ситуации.

Нормируемыми параметрами для постоянных шумов являются допустимые уровни звукового давления в 8 октавных полосах частот (L , дБ) и уровни звука (L_a , дБА). Для непостоянных шумов - эквивалентные и максимальные уровни звука, а также дозы шума.

Допустимые уровни постоянного шума на рабочих местах в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 приводятся в виде предельных спектров (ПС) уровней звукового давления или допустимых уровней звука в зависимости от вида трудовой деятельности или рабочего места.

Для непостоянных шумов на производстве максимально допустимыми считаются эквивалентный уровень шума $L_{a \text{ экв}} = 80$ дБА или доза $D = 1 \text{ Па}^2 \cdot \text{час}$.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления в восьми октавных полосах.

Для ориентировочной оценки постоянного шума на рабочих местах допускается принимать уровень звука в дБА, определяемый по шкале А шумомера, учитывающей субъективные особенности человека при восприятии звуков различной природы и частоты.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный по энергии уровень постоянного звука, оказывающий на человека такое же воздействие, как и непостоянный, $L_{A \text{ экв}}$ (дБА). Этот уровень измеряется специальными интегрирующими шумомерами или рассчитывается по формуле:

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg 1/100 \left(\sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1 L_i} \right)$$

Для тонального и импульсного шума допустимые уровни необходимо принимать на 5 дБ меньше значений, указанных в ГОСТе.

При проектировании новых предприятий и цехов необходимо знать ожидаемые уровни звукового давления, которые будут в расчетных точках на рабочих местах с тем, чтобы еще на стадии проектирования принять меры к тому, чтобы этот шум не превышал допустимого. Для этого проводится акустический расчет.

5. Акустический расчет помещений

Задачами акустического расчета являются:

- определение уровня звукового давления в расчетной точке, когда известен источник шума и его шумовые характеристики,
- расчет необходимого снижения шума.
- разработка мероприятий по снижению шума до допустимых величин,

Уровень звукового давления в помещении определяется по формуле

$$L = L_p + 10 \lg(\Phi / S + 4 / B), \text{ дБ}$$

где L_p - уровень звуковой мощности источника, дБ, определяемый по таблице 7;

Φ - фактор направленности;

$S = 2\pi r^2$ - площадь поверхности, на которую распределяется излучаемая энергия, м²;

r - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

B - постоянная помещения, характеризующая звукопоглощающие качества помещения;

Расчет производится в каждой из восьми октавных полос.

Требуемое снижение шума определяется для каждой октавной полосы по формуле:

$$\Delta L = L - L_{\text{дон}}, \text{ дБ}$$

где $L_{\text{дон}}$ - допустимые нормативные уровни звукового давления, дБ, определяются в соответствии с видом работ по ГОСТу.

Наиболее эффективное снижение шума можно достичь путем установки звукоизолирующих преград в виде стен, перегородок, кожухов и т.п. Сущность звукоизоляции ограждения состоит в том. Что падающая на него звуковая энергия отражается в гораздо большей степени, чем проникает за ограждение.

Ограждения бывают однослойные и многослойные.

Звукоизоляция однородной перегородки определяется по формуле:

$$R = 20 \lg(Gf) - 47,5, \text{ дБ}$$

где G - поверхностная плотность материала кожуха, кг/м², f - частота, Гц.

Из формулы следуют два важных вывода:

- звукоизоляция ограждений тем выше, чем они тяжелее, она меняется по так называемому закону массы; так, увеличение массы в 2 раза приводит к повышению звукоизоляции на 6 дБ;

- звукоизоляция одного и того же ограждения возрастает с увеличением частоты. Т.е., на высоких частотах эффект от установки ограждения будет выше, чем на низких частотах.

Для защиты от шума наиболее шумные машины и механизмы закрывают кожухами. Кожухи изготавливаются обычно из дерева, металла или пластмассы. Внутреннюю поверхность кожуха обязательно облицовывают звукопоглощающим материалом. С наружной стороны на кожух иногда наносят слой вибродемпфирующего материала.

Эффективность установки кожуха определяется по формуле:

$$\Delta L_k = R + 10 \lg \alpha, \text{ дБ}$$

где α - коэффициент звукопоглощения материала, нанесенного на внутреннюю поверхность кожуха, R - звукоизоляция стенок кожуха, определяемая по предыдущей формуле.

Биологическое действие шума зависит от следующих факторов:

- интенсивности,
- длительности воздействия,
- частотного спектра (наиболее опасны высокие частоты),
- временных характеристик (импульсные шумы наиболее опасны).

Шум, даже когда он невелик, создает значительную нагрузку на нервную систему человека, особенно это характерно для людей, занятых умственной деятельностью. Слабый шум различно влияет на людей. Причинами этого могут быть возраст, состояние здоровья, вид трудовой деятельности, состояние человека в данный момент. Степень вредности шума также зависит от того, насколько он отличается от привычного шума. Неприятное воздействие шума зависит и от индивидуального отношения к нему. Например, шум, производимый самим человеком, не беспокоит его, в то время как небольшой посторонний шум может вызвать сильный раздражающий эффект.

Известно, что такие серьезные заболевания, как гипертоническая и язвенная болезни, неврозы, в ряде случаев желудочно-кишечные и кожные заболевания, связаны с перенапряжением нервной системы в процессе труда и отдыха. Отсутствие необходимой тишины, особенно в ночное время, приводит к преждевременной усталости, а часто и к заболеваниям.

Длительное воздействие интенсивного шума вызывает общее утомление, что может способствовать возникновению травматизма, может привести к частичной или полной потере слуха, оказывает неблагоприятное воздействие на функциональное состояние организма, вызывает патологии сердечно-сосудистой и нервной систем.

6. Инфразвук и ультразвук.

Мощным источником инфразвука в природе являются ураганы, штормы, землетрясения, грозы и т.п. Магнитные бури сопровождаются акустической инфразвуковой бурей. В производственной сфере инфразвук испускают крупногабаритные машины и механизмы, он возникает при перемещении поверхностей больших размеров, мощных потоков жидкостей и газов, вращательном движении больших масс.

Люди хуже всего себя чувствуют при воздействии инфразвука частотой 6-9 Гц. Объясняется это тем, что внутренние органы человека имеют собственные частоты колебаний порядка 6...9 Гц. При облучении инфразвуком внутренние органы могут прийти в колебание: между сердцем, легкими и желудком возникает трение, ведущее к сильному раздражению и нарушению их нормальной жизнедеятельности. То есть возникает явление резонанса грудной клетки и брюшной полости.

Инфразвуки малой мощности, действуют на внутреннее ухо, вызывают недомогание типа морской болезни, нервную усталость. Воздействие ультразвука малой мощности на человека вызывает главным образом тепловой эффект. При средних мощностях наблюдается нарушение работы органов пищеварения и мозга с самыми различными последствиями; параличами, обмороками, общей слабостью и т.п. Может быть вызвана слепота. Большие мощности инфразвука особенно опасны потому, что вызывая резонанс внутренних органов, могут вызвать их разрушение, торможение кровообращения, даже остановку сердца. При средних и больших интенсивностях его воздействие может оказаться парализующим и даже смертельным.

Инфразвук оказывает неблагоприятное воздействие на психоэмоциональную сферу, сердечно-сосудистую, эндокринную системы, вестибулярный аппарат. Пребывание в поле ультразвукового генератора вызывает слабость, усталость, головные боли и боли в ушах, нарушение сна. При воздействии ультразвука могут наблюдаться разрушение нервной системы, понижение кровяного давления и т.д. Кроме того, следует иметь в виду, что при соприкосновении работающих с предметами и вещами, в которых возбуждены ультразвуковые колебания (инструменты, обрабатывае-

мые детали, жидкости), происходит контактное облучение. При длительном контакте с такими предметами и веществами может появиться снижение чувствительности кистей рук и чувство онемения в пальцах. Эти явления нестойки и, как правило, исчезают при прекращении работы на ультразвуковом оборудовании.

Источники ультразвука – ультразвуковые приборы и аппараты промышленного, медицинского и бытового назначения, и, кроме того, оборудование, при эксплуатации которого, возникают ультразвуковые колебания как сопутствующий фактор.

Высокочастотный ультразвук вследствие малой длины волны практически не распространяется в воздухе и оказывает воздействие на работающих только при контакте источника ультразвука с поверхностью тела. Изменения, вызванные им, более выражены в зоне контакта, и проявляются в вегетативно-сосудистых нарушениях и изменениях опорно-двигательного аппарата **верхних конечностей**.

При систематическом воздействии интенсивного низкочастотного ультразвука отмечаются функциональные изменения нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов.