

Министерство образования и науки РФ

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

АКУСТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ “ЛЭТИ”
2004

УДК 331.432:534.831

ББК 22.32н

А 443

Авторы: В. А. Буканин, В. Н. Павлов, С. В. Петухова, А. О. Трусов.

А 443 Акустическая безопасность: Учеб. пособие / Под ред. В. Н. Павлова.
СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2004. 84 с.

ISBN 5–7629–0583–7

Рассматриваются акустические и виброакустические опасные и вредные факторы среды обитания человека как в производственных условиях, так и в обычной жизни и деятельности. Даётся характеристика инфразвука, вибрации, шума и ультразвука, приводятся сведения об источниках их возникновения, воздействии на организм и возможных отрицательных последствиях, в результате которых могут возникать как специфические заболевания – шумовая и вибрационная болезни, так и некоторые неспецифические проявления, не связанные с указанными болезнями. Рассматриваются критерии нормирования и основные нормативные требования по ограничению воздействия этих факторов на человека, регламентированные государственными стандартами, санитарными нормами и гигиеническими нормативами. Приводятся принципы снижения шума, ультразвука и инфразвука и практические рекомендации по расчёту параметров уменьшения акустических воздействий и защите в источнике образования, на пути распространения и в самом приёмнике.

Предназначено для студентов всех специальностей СПбГЭТУ “ЛЭТИ”.

УДК 331.432:534.831

ББК 22.32н

Рецензенты: кафедра безопасности жизнедеятельности СПбГТУ;
д-р техн. наук О. Н. Русак (СПбЛТА).

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

ISBN 5–7629–0583–7

© СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2004

ВВЕДЕНИЕ

На человека воздействует большое число разнообразных по природе опасных и вредных физических факторов среды обитания, особое место среди которых занимают виброакустические факторы (шум и вибрация). Шум воспринимается с помощью органов слуха через ушные раковины или кости черепной коробки. Вибрация, воспринимаемая кожей человека или опорными поверхностями, передаётся через них и кости всему телу человека. При больших уровнях звука человек может получить акустическую травму, т. е. повреждение органов слуха, вызванное действием звуков чрезмерной силы. Акустическая травма может стать причиной понижения слуха и даже глухоты. Одновременное действие звука и вибрации может привести к виброакустической травме – как к повреждению органов слуха, так и к патологическим изменениям в тканях и органах.

Согласно мнению ряда учёных, занимающихся проблемами безопасности жизни и деятельности, в России 40 % рабочих мест не соответствуют гигиеническим нормам по шуму, а заболевания, связанные с виброакустическими факторами (шумовая болезнь и другие болезни органов слуха, а также вибрационная болезнь), составляют, соответственно, 12 и 25...26 % от всех профессиональных болезней.

Во многих случаях вибрация природных или технических систем вызывает шум, поэтому чаще всего эти вредные или опасные факторы, а также защита от них рассматриваются совместно. Сократив вибрацию в источнике или на пути распространения, можно значительно уменьшить и шум. Вопросами акустической или виброакустической безопасности занимаются многие коллективы исследователей и конструкторов при разработке новой техники или усовершенствовании уже имеющейся, технологии производственных процессов и эксплуатационные службы. Тем не менее, знать основы акустической и виброакустической безопасности полезно всем, не зависимо от того, какой деятельностью человек занимается.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Инфразвук – звуковые колебания и волны с частотами, лежащими ниже полосы слышимых (акустических) частот – 16...20 Гц.

Ультразвук – звуковые колебания и волны с частотами, лежащими выше полосы слышимых (акустических) частот – 20 000 Гц.

Слышимый диапазон звука лежит в пределах 16...20 000 Гц. В соответствии с установившейся в настоящее время терминологией *шумом* называют всякий *мешающий, нежелательный звук*. Звук как физическое явление представляет собой волновое движение упругой среды; как физиологическое явление он определяется ощущением, воспринимаемым органом слуха при воздействии звуковых волн, слышимых человеком.

Вибрация, или структурный звук, – это периодическое изменение хотя бы одной координатной точки или системы, возникающее в упругих телах или телах, находящихся под действием переменного физического поля. В результате этого воздействия возникают механические колебания (колебательные движения), передающиеся человеку через всё тело или его конечности непосредственно или через упругую среду, например воздух, в виде шума.

Характеристики вибрации, инфразвука, ультразвука и шума

В качестве основных величин, участвующих в измерении и нормировании шума, а также в расчётах по шумоглушению, принимаются *звуковое давление* p , выражаемое в паскалях (Па) или ньютонах на квадратный метр ($\text{Н}/\text{м}^2$), $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$ и его *уровень* L , выражаемый в децибелах (дБ). *Звуковое давление* – переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний. Звуковое давление p – это разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля. Так, например, в воздухе на атмосферное давление, составляющее примерно 10^5 Па , накладывается звуковое давление источников звука или шума.

Уровнем звукового давления L называется величина, определяемая выражением

$$L = 20 \lg \frac{p_{\text{ср}}}{p_0},$$

где $p_{\text{ср}}$ – среднеквадратическое значение звукового давления в точке измерения, $p_0=2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ – пороговое значение звукового давления.

Ухо человека воспринимает среднеквадратическое звуковое давление на интервале $\tau = 30 \dots 40 \text{ мс}$ (период осреднения):

$$p_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} p^2(t) dt},$$

где t – текущее время; $p(t)$ – текущее значение переменного звукового давления.

Децibel – единица измерения (десятая часть бела), названная в честь знаменитого изобретателя телефона Белла.

Пороговое значение звукового давления – это условно выбранное и принятное по международному соглашению значение звукового давления едва слышимого молодым человеком звука на частоте 1000 Гц. При данных условиях значение звукового давления будет соответствовать 0 дБ.

Акустическая мощность P , Вт, – характеристика источника шума, не зависящая от места расположения точки измерения, направленности излучения и условий распространения звуковых волн и определяющая полную

энергию W , излучаемую источником в окружающее пространство за единицу времени. Существует определённое соотношение между уровнем звуковой мощности, интенсивностью звука и уровнем звукового давления. Рассмотрим случай, когда машина со всех сторон окружена некоторой замкнутой поверхностью. Предположив, что направление распространения волн в любой точке на поверхности перпендикулярно к этой поверхности и что звуковая волна может рассматриваться как плоская либо сферическая, полную звуковую мощность, излучаемую машиной, найдём по выражению

$$P = \int_S I_i dS = \int_S \frac{p_i^2}{\rho c} dS_i,$$

где I – интенсивность звука, $\text{Вт}/\text{м}^2$; S – площадь всей поверхности, м^2 ; p_i – звуковое давление на i -й элементарной площадке dS_i ; ρ – удельная плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – скорость звука (в воздухе примерно $340 \text{ м}/\text{с}$).

Если уровень звукового давления выражать через интенсивность или звуковую мощность, то L определяется выражениями

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ или } L = 10 \lg \frac{P}{P_0},$$

где $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт}/\text{м}^2$ и $P_0 = 10^{-12} \text{ Вт}$ – пороговые значения интенсивности и звуковой мощности, соответственно.

Параметры инфразвука и ультразвука, передающихся воздушным путём, не отличаются от параметров шума.

Колебательные перемещения объекта при вибрации включают в себя попеременно скорость в одном, а затем в обратном направлении. Такое изменение скорости означает, что объект находится в постоянном ускорении сначала в одном, а затем в обратном направлении. Вибрация может характеризоваться *амплитудными значениями перемещения d , скорости v и ускорения a* . Для ускорения синусоидального движения, значение виброускорения может рассчитываться исходя из частоты f , Гц, и смещения d , м: $a = d(2\pi f)^2$. Данное выражение может использоваться для преобразования измерений ускорения в смещения, но оно является точным только тогда, когда колебания происходят с одинаковой частотой.

Частота вибрации влияет на степень передачи вибрации телу (например, поверхности стула или ручке вибрационного инструмента), степень передачи через тело (например, от стула голове), а также последствия вибрации для организма. Отношение между смещением и ускорением движения также зависит от частоты колебаний: смещение на один миллиметр соответствует очень низкому ускорению при низких частотах, а не очень высокому ускорению при высоких частотах; смещение при вибрации, заметное человеческому глазу, не даёт возможности выявить ускорение вибрации.

Параметрами вибрации являются средние квадратические значения *виброскорости* v и *виброускорения* a или их *логарифмические уровни* L_v , L_a , дБ, определяемые соотношениями

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}, \quad L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0},$$

где v – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ – опорное значение виброскорости, м/с; a – среднее квадратическое значение виброускорения, м/с²; $a_0 = 10^{-6}$ – опорное значение виброускорения, м/с².

Параметрами контактного ультразвука являются пиковые значения виброскорости v или её логарифмические уровни L_v , определяемые по формуле

$$L_v = 20 \lg v/v_0,$$

где v – пиковое значение виброскорости, м/с; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с – опорное значение виброскорости.

ШУМ

Классификация шума и воздействие его на человека

Если первоначально считалось, что следствием воздействия интенсивного шума является только ухудшение слуха, то теперь в результате более глубоких исследований установлено, что слух является лишь “воротами”, через которые шум проникает в организм. При этом повышается кровяное и внутричерепное давление, нарушается острота зрения, у работающих на шумных производствах наблюдается высокий процент нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. В медицинской литературе существует специальный термин “шумовая болезнь”. Кроме того, при действии интенсивного шума у человека ослабляется внимание, замедляется скорость психических реакций, что способствует росту брака и уменьшению производительности труда.

Даже в отношении воздействия на человека шума малой интенсивности, не вызывающего шумовой болезни, в последнее время появилась концепция обременительности шума.

Особенности слухового восприятия шума

Человеческое ухо как приёмник звука с широкими частотными и динамическими диапазонами является сложно устроенным органом равновесия, воспринимающим положения тела (головы) при его перемещении в пространстве, и органом слуха. Оно состоит из трёх частей: a – наружного, b –

среднего, *в* – внутреннего уха; наружное ухо расположено снаружи черепа, в то время как среднее и внутреннее ухо находятся в височной части черепа (рис. 1).

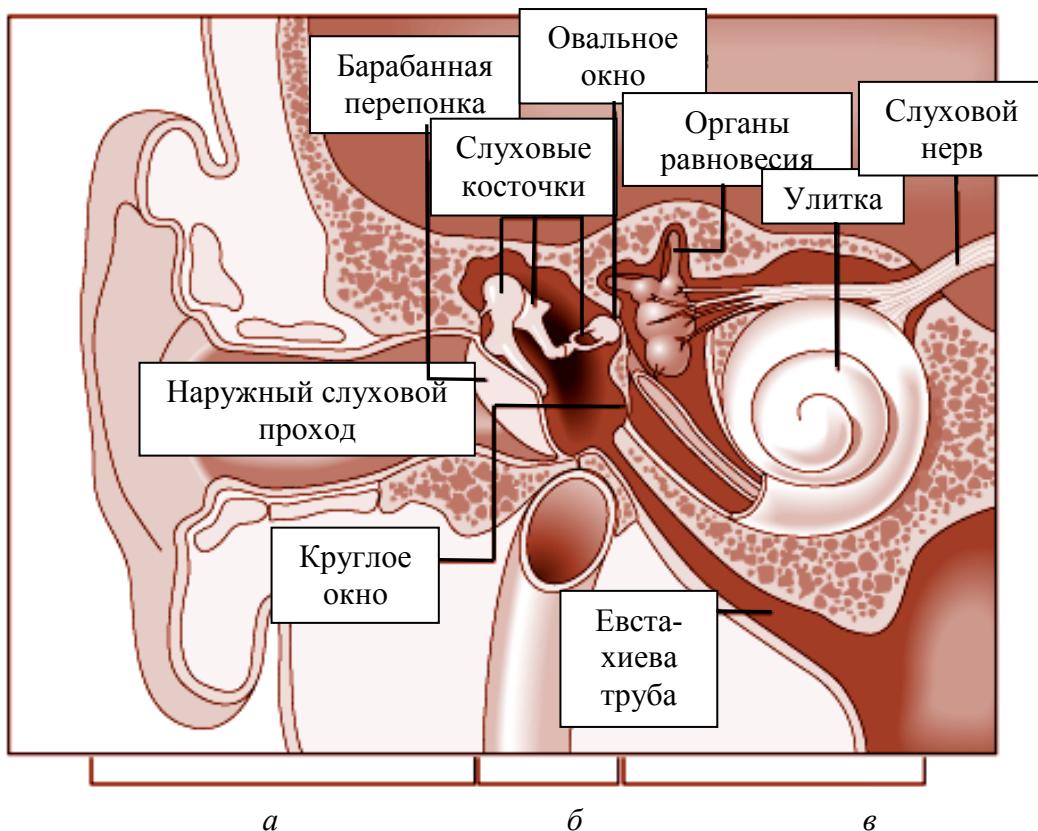


Рис. 1. Схематическое изображение уха

Наружное ухо отделяется от среднего барабанной перепонкой, которая представляет собой тонкую, прозрачную пластинку, покрытую снаружи эпидермисом (кожным слоем), а изнутри – слизистой оболочкой. Среднее ухо включает выстланную слизистой оболочкой и заполненную воздухом барабанную полость и слуховую (евстахиеву) трубу, которые поддерживают равновесное давление по обеим сторонам барабанной перепонки. Это объясняет, например, каким образом глотание способствует выравниванию давления и восстановлению потери остроты слуха, вызванной резким изменением барометрического давления (например, в самолетах, заходящих на посадку, либо в кабине быстро движущегося лифта). В барабанной полости располагаются три слуховые косточки – молоточек, наковальня и стремя. Регулируют движения косточек две мышцы, прикрепляющиеся к слуховым косточкам: мышца, напрягающая барабанную перепонку, и стременная мышца, а также миниатюрные суставы. Косточки, соединяясь между собой, образуют цепочку от барабанной перепонки до преддверия, открывающегося во внутреннее

ухо. Посредством этой подвижной цепочки колебания барабанной перепонки, возникшие от воздействия звуковой волны, передаются в окно преддверия. Внутреннее ухо содержит сенсорный аппарат. Оно состоит из костного лабиринта и вставленного в него перепончатого лабиринта, представляющего собой ряд полостей (мешочеков), соединённых друг с другом при помощи тонких протоков, формирующих замкнутую систему, заполненную эндолимфой (обогащённой калием жидкостью). Перепончатый лабиринт отделён от костного перилимфатическим пространством, наполненным перилимфой (жидкостью, обогащённой натрием).

Костный лабиринт состоит из двух частей, разделённых преддверием. Спереди от преддверия находится часть, известная под названием “улитка”, которая фактически является органом слуха (рис. 2). Она имеет спиралевидную форму, напоминающую раковину улитки и расположенную острым концом вперёд. Внутри перепончатого лабиринта улитки (улиткового протока), на спиральной мемbrane, располагается слуховой спиральный орган – кортиев орган, ответственный за преобразование акустических сигналов.

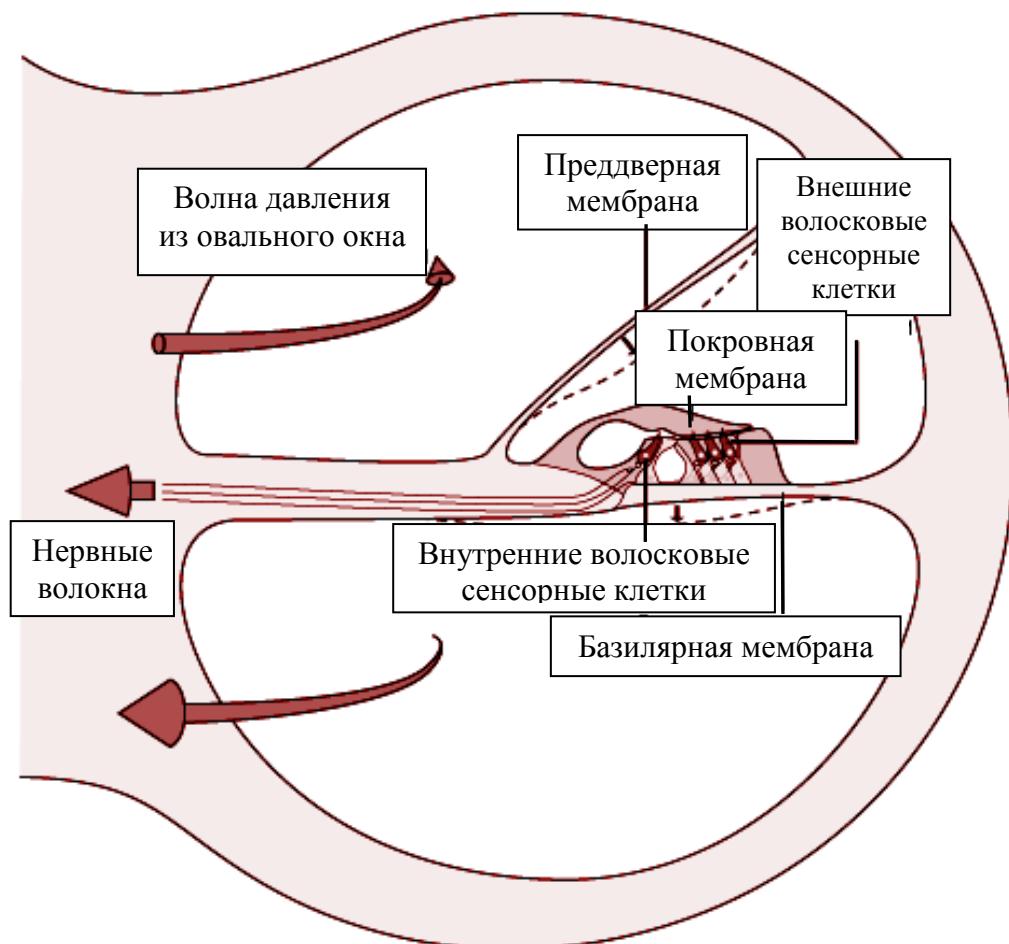


Рис. 2. Поперечный срез петли улитки ($d \approx 1.5$ мм)

В основе кортиева органа лежит базилярная пластинка, которая содержит тонкие коллагеновые волокна, выполняющие роль струн-резонаторов. На базилярной пластинке расположены поддерживающие (опорные) и рецепторные волосковые (сенсорные) клетки, воспринимающие механические колебания перилимфы, находящейся в лестнице преддверия и в барабанной лестнице. Вся слуховая информация преобразуется при помощи 15 000 рецепторных волосковых (сенсорных) клеток кортиева органа, которые включают так называемые внутренние волосковые сенсорные клетки количеством 3 500 единиц, являющиеся наиболее важными, так как они формируют синапсы с 90 % из 30 000 основных слуховых нейронов.

Внутренние и внешние волосковые сенсорные клетки отделены друг от друга обильным слоем поддерживающих клеток. Пересекая необычно тонкую оболочку, реснички волосковых клеток внедряются в покровную перепонку, свободный конец которой расположен над клетками. Верхняя поверхность улиткового протока сформирована оболочкой Реисснера.

Корковый центр слуха находится в коре верхней височной извилины. Здесь производится высший анализ нервных импульсов, поступающих из звукоспринимающего аппарата.

Ухо состоит из проводника звука (наружное и среднее ухо) и звукового рецептора (внутреннее ухо). Колебания барабанной перепонки, возникшие в результате воздействия на неё звуковой волны, при помощи подвижной в суставах цепочки из трёх слуховых косточек – молоточка, наковальни и стремени передаются в окно преддверия, в котором основание стремени подвижно закреплено. Поверхностная часть барабанной перепонки почти в 16 раз больше поверхностной части основания стремени, и это в комбинации с рычажным механизмом косточек вызывает 22-кратное усиление звукового давления. В среднем ухе показатель скорости передачи звуковой волны располагается оптимально в пределах от 1000 до 2000 Гц. Движения основания стремени в окне преддверия вызывают колебания перилимфы и передаются базилярной пластинке, распространяясь от лестницы преддверия в сторону купола улитки, а затем через отверстие улитки – на перилимфу в барабанной лестнице, закрытой в основании улитки вторичной барабанной перепонкой, которая достаточно эластична. Так как перилимфа практически несжимаема, каждое движение основания стремени внутрь вызывает эквивалентное перемещение этой перепонки наружу, в направлении среднего уха.

При воздействии высоких уровней звука, стременная мышца сокращается, защищая, таким образом, внутреннее ухо (рефлекс затухания), и совместно с другими мышцами среднего уха также расширяет динамический диапазон уха, улучшая локализацию звука, снижая резонанс в среднем ухе, контролируя давление воздуха в среднем ухе и давление жидкости во внутреннем ухе.

Скорость, с которой звуковые волны проходят через ухо, зависит от упругости базилярной пластиинки. При увеличении упругости, скорость распространения волны от основания улитки до её верхушки падает. Передача энергии вибрации на мембрану Реисснера и базилярную пластиинку зависит от частоты волны. На высоких частотах амплитуда волны наиболее высока у основания улитки, в то время как для более низких частот она имеет максимальное значение у верхушки. Таким образом, точка наибольшего механического возбуждения в улитке зависит от частоты волны. Этот феномен лежит в основе способности различения частот. Движение базилярной мембранны стимулирует усиление движения стереоресничек волосковых клеток и вызывает ряд механических, электрических и биохимических явлений, ответственных за процесс механическо-сенсорного преобразования и начальную обработку акустического сигнала. Усиление движения стереоресничек открывает ионные каналы в клеточных мембранных, изменяя их проницаемость и позволяя ионам калия проникать в клетки. Этот приток ионов вызывает деполяризацию и генерирует биопотенциал. В результате деполяризации медиаторы, выделенные в синапсах внутренних волосковых клеток, вызывают нейронные импульсы, которые перемещаются по центростремительным волокнам улитковой части преддверно-улиткового нерва в направлении к высшим центрам. Интенсивность слухового возбуждения зависит от количества биопотенциалов в единицу времени и от количества стимулированных клеток, в то время как воспринимаемая частота звука зависит от специфических активированных популяций нервных волокон. Имеется определённое пространственное соответствие между частотой звукового стимула и стимулированной частью коры головного мозга.

Внутренние волосковые клетки являются механическими рецепторами, которые преобразуют сигналы, произведенные в ответ на акустическое воздействие, в электрические потенциалы, направляемые центральной нервной системе. Однако они не отвечают за пороговую чувствительность уха и его частотную избирательность. С другой стороны, внешние волосковые клетки не посыпают в мозг никаких акустических сигналов. Их функция, скорее, состоит в том, чтобы выборочно усиливать механическую акустическую вибрацию на оклопороговых уровнях на коэффициент, значением приблизительно в 100 (т. е. 40 дБ), и таким образом облегчать стимуляцию внутренних волосковых клеток. Считается, что это усиление осуществляется посредством микромеханического соединения с покровной мемброй. Внешние волосковые клетки способны производить больше энергии, чем та, что получена ими от внешних стимулов, и, активно сокращаясь при очень высоких частотах, могут функционировать в качестве улитковых усилителей.

Взаимное влияние внешних и внутренних волосковых клеток во внутреннем ухе создает контур обратной связи, который позволяет контролировать слуховую рецепцию, в особенности пороговую чувствительность и частотную избирательность. Центробежные волокна улитковой части пред-

дверно-улиткового нерва, таким образом, позволяют избежать повреждений улитки, вызываемых интенсивным акустическим воздействием. Внешние волосковые клетки могут сокращаться также при интенсивном воздействии. Рефлекс затухания в среднем ухе активируется, прежде всего, при низких частотах, а рефлекс сжатия во внутреннем ухе – при высоких частотах, и таким образом данные рефлексы дополняют друг друга.

Звуковые волны могут передаваться через черепную коробку. Здесь возможны два механизма передачи. В первом случае волны сжатия, воздействуя на кости черепа, заставляют практически несжимаемую перилимфу деформировать круглое или овальное окно. Поскольку эти окна различаются по упругости, смещение эндолимфы вызывает смещение базилярной мембранны. Второй механизм основан на том факте, что смещение костей стимулирует лишь смещение в лестнице преддверия. В этом механизме перемещение базилярной мембранны вызвано поступательным движением, производимым инерцией.

Костная проводимость обычно на 30...50 дБ ниже, чем проводимость воздуха, что можно легко заметить, когда оба уха закрыты. Однако это является верным лишь для воздействия непосредственно через воздух, прямое воздействие через кости ослабляется другим образом.

К сожалению, шум очень часто воспринимается как “неизбежное зло”, как неотъемлемая часть производственного процесса. Вредные шумы не являются причиной кровотечений, не ведут к переломам, не вызывают повреждения тканей, поэтому у рабочих, перетерпевших шумовое воздействие первые несколько дней или недель, очень часто возникает ощущение “привыкания” к шуму. В большинстве же случаев происходит следующее: у человека наблюдается временная потеря слуха, которая притупляет его способность слышать во время рабочего дня, но эта способность восстанавливается за ночь. Таким образом, развитие потери слуха таит в себе следующую опасность: человек теряет слух постепенно и, в большинстве своём, незаметно в течение месяцев и лет, пока ослабление слуха не достигает критической отметки.

Потеря слуха – самое частое, и, пожалуй, наиболее серьёзное последствие воздействия шума, но не единственное. Есть и другие – звон в ушах, нарушение речи, замедленность восприятия условных сигналов, снижение работоспособности, раздражительность и слуховые галлюцинации.

Снижение слуха может проходить поэтапно пока оно не достигнет критической точки, так что человек не замечает этого. Первым признаком снижения слуха является то, что становится сложнее воспринимать устную речь, кажется, что люди говорят невнятно. Человек с ухудшением слуха просит собеседников повторить сказанное, часто раздражается. В кругу семьи или друзей он часто повторяет: “Не кричите на меня, я прекрасно все слышу, но не понимаю, о чём вы”. Постоянным предметом споров становится громкий звук работающего на полную мощность телевизора.

Потеря слуха (Presbycusis), которая естественным образом сопутствует процессу старения человека, усугубляется травмами органов слуха, полученными в результате шумового воздействия. В конечном счёте, слух может ухудшиться настолько, что это приведёт к затруднениям в общении с родными и друзьями, повлечёт за собой частичную изоляцию. В некоторых случаях решить проблему помогает слуховой аппарат, но и он не в состоянии восстановить естественную остроту слуха в той же степени, как очки возвращают остроту зрения.

Вызванная шумовым воздействием потеря слуха обычно рассматривается как профессиональное заболевание, а не травма, поскольку развивается постепенно. В редких случаях работник может испытать внезапную и необратимую потерю слуха в ходе события, сопровождаемого чрезвычайно громким звуком типа взрыва, или в ходе процесса, связанного с чрезмерным шумом, типа работы кузнецкого молота. Возникшая при таких обстоятельствах потеря слуха квалифицируется иногда какувчье, и для её обозначения используется термин “акустическая травма”. Более распространённым, однако, является постепенное ухудшение слуха, развивающееся на протяжении многих лет. Степень его зависит от уровня шумового воздействия, его продолжительности и восприимчивости к нему каждого конкретного работника. К сожалению, не существует средств лечения профессиональных травм слухового аппарата; возможно только их предотвращение.

Последствия шумового воздействия на слуховой аппарат человека подробно описаны в специальной литературе, и среди ученых практически не существует разногласий по вопросу о том, насколько значительным должно быть постоянное шумовое воздействие, чтобы оно могло привести к той или иной степени потери слуха (ISO 1990). Не подвергается сомнению и тот факт, что потеря слуха может быть вызвана непостоянным шумом. Но чередование периодов шума с периодами тишины даёт внутреннему уху возможность опправиться от временной потери слуха и поэтому является несколько менее опасным, чем постоянный шум. Импульсный шум, типа звуков орудийного огня или штамповки металла, также вреден для слухового аппарата. Имеются даже некоторые доказательства того, что импульсный шум создаёт большую опасность для слухового аппарата, нежели другие типы шумов, однако это не всегда так. Степень повреждения слухового аппарата зависит главным образом от уровня и продолжительности звукового импульса и может возрастать при наличии постоянного фонового шума. Имеются также подтверждения того, что высокочастотные источники импульсного шума являются более вредными, чем источники шума низкой частоты.

Вызванная шумовым воздействием потеря слуха поначалу часто бывает временной. В ходе шумного дня ухо устаёт, и работник испытывает ухудшение слуха, известное под названием “временный пороговый сдвиг”. Между окончанием одной и началом следующей рабочей смены ухо обычно в значительной степени компенсирует временный пороговый сдвиг, но, за-

частую, не полностью. В результате длящегося несколько дней, месяцев или лет шумового воздействия временный пороговый сдвиг может привести к необратимым последствиям, на которые начинают наслаждаться новые изменения.

Важно понять, что шум на рабочем месте – это не единственная причина потери слуха, и что потеря слуха может произойти по вине источников шума, находящихся вне рабочего места. Эти источники шума создают так называемый *социозвук*, и результаты их воздействия на слуховой аппарат невозможно отличить от профессиональной потери слуха. К социозвуковым источникам шума относятся деревообрабатывающие станки, циркулярные пилы, мотоциклы без глушителя, громкая музыка и огнестрельное оружие. Одним из примеров воздействия такого социозвука является резкое ухудшение слышимости некоторыми молодыми людьми, постоянно носящими магнитофон и слушающими музыку с помощью наушников.

Шум в ушах – явление, которое часто сопутствует как временной, так и постоянной потере слуха, вызванной шумовым воздействием, а также другим типам сенсорно-неврологической потери слуха. Иногда люди говорят, что их больше беспокоит шум в ушах, чем нарушение слуха. Шум в ушах – признак раздражения чувствительных клеток внутреннего уха. Зачастую он является предвестником потери слуха, вызванной шумовыми воздействиями, и должен рассматриваться как важный предупредительный сигнал.

Многие производственные операции могут осуществляться при минимальном общении между работниками. Однако существуют ситуации, например, в работе авиапилотов, машинистов поездов, командиров танковых экипажей, когда общение крайне необходимо. Некоторые из этих специалистов используют электронные системы, подавляющие шум и усиливающие уровень звучания речи. В настоящее время имеются сложные системы связи, некоторые из которых оснащены устройствами, подавляющими посторонние звуковые сигналы, с целью улучшения качества связи.

Во многих случаях рабочим приходится напрягать органы слуха, чтобы понять, несмотря на шумовой фон, смысл адресованного им сообщения, общаться с помощью условных знаков и переходить на крик, что иногда приводит к возникновению хрипоты, узелков на голосовых связках или других повреждений связок в результате их перенапряжения, для устранения которых потребуется медицинская помощь.

Из собственного опыта люди знают, что при уровне звука, превышающем 80 дБА, приходится говорить очень громко, а при уровне выше 85 дБА – переходить на крик. При шуме, значительно превышающем 95 дБА, для общения необходимо приблизиться друг к другу почти вплотную.

Шум может способствовать снижению безопасности труда. Имеются многочисленные примеры того, как одежда или руки рабочих затягивались механизмами станков, что приводило к серьёзнымувечьям, в то время как окружающие не слышали их криков о помощи.

Результаты исследований показали, что шум обычно практически не оказывается на выполнении однообразной, монотонной работы, а в некоторых случаях может даже приводить к увеличению её интенсивности, если шум характеризуется как низкий или умеренный. Высокий уровень звука может снижать интенсивность выполнения работ, особенно если речь идёт о выполнении сложной операции или нескольких операций одновременно. Непостоянный шум обычно представляет собой большую помеху в работе, чем постоянный, особенно если он возникает неожиданно и не поддаётся контролю.

Неслуховые последствия шумового воздействия. Как биологический раздражитель, шум может влиять на всю физиологическую систему. Он действует на организм подобно другим раздражителям, вызывая реакцию, которая, в конечном счёте, может привести к нарушениям, известным как “нервные расстройства”. Наиболее веские доказательства имеются по фактам влияния шума на функционирование сердечно-сосудистой системы типа повышения кровяного давления или изменения химического состава крови.

На рабочих местах в промышленном производстве можно идентифицировать следующие четыре ограничения или неблагоприятные ситуации, требующие конкретных мероприятий:

- риск несчастного случая из-за невозможности услышать сигналы тревоги;
- усилия, стресс и тревога как результат проблем со слухом и общением;
- препятствия для социальной интеграции;
- препятствия для служебного роста.

На рабочих местах в промышленном производстве часто используются акустические системы тревоги. Тогоухость, возникшая в результате производственных факторов, может значительно снизить способность работника услышать, узнать или установить местонахождение такой тревоги, особенно на шумных участках с высоким уровнем отражения. На рабочих местах, где используются акустические системы тревоги, люди, у которых имеются проблемы со слухом, должны полагаться и на другие источники информации при выполнении своей работы. Сюда может входить интенсивное визуальное наблюдение и тактичная помощь со стороны коллег по работе. Общение будь то по телефону или на совещаниях или с руководителями в шумных мастерских требует огромных усилий со стороны соответствующих работников и также весьма проблематично для людей, страдающих нарушениями слуховой функции, в условиях промышленного производства.

Физиопатология. Движение ресничек, обусловленное интенсивным акустическим воздействием, может превысить их механическое сопротивление и привести к механическому разрушению волосковых клеток. Поскольку количество клеток ограничено и они не способны к регенерации, любая по-

теря клетки должна рассматриваться в качестве постоянной, и, в том случае если воздействие разрушительного звука продолжается, прогрессирующей. В целом, конечным эффектом повреждения ресничек является дефицит слуха. Допуская очень грубое приближение, можно говорить о том, что разрушение внешних волосковых клеток приводит к повышению слухового порога до 40 дБ.

Шумовое воздействие является наиболее распространённым из всех вредных профессиональных воздействий и вторым по мощности фактором (ведущим является старение), вызывающим потерю слуха. И, наконец, нельзя забывать о вкладе, который вносит непрофессиональное шумовое воздействие типа домашних мастерских, чрезмерно усиленных музыкальных звуков (особенно производимых наушниками), применения огнестрельного оружия и т. д.

Шумовое повреждение острого характера. Прямое звуковое воздействие высокой интенсивности (например, при взрыве) предполагает повышение слухового порога, разрыв барабанной перепонки и травматическое повреждение среднего и внутреннего уха (смещение косточек, травмирование улитки или образование свищей). На ранних стадиях увеличение слухового порога носит название *слухового утомления* или *временного смещения порога*, которое имеет полностью обратимый характер, однако продолжается в течение некоторого времени после прекращения воздействия.

Краткосрочное утомление снимается менее чем за две минуты и приводит к максимальному сдвигу слухового порога для частоты воздействия. Долгосрочное утомление характеризуется восстановлением, продолжительностью более двух, но менее 16 ч, условным пределом, полученным в процессе исследований промышленных шумовых воздействий. Слуховое утомление является функцией интенсивности, продолжительности, частоты и непрерывности воздействия. Таким образом, полученные посредством интеграции интенсивности и продолжительности, прерывистые модели воздействия являются для данной дозы шума менее вредными, нежели непрерывные.

Постоянное смещение слухового порога. Воздействие высокоинтенсивного звука в течение нескольких лет может привести к постоянной потере слуха. Это называется *постоянным смещением слухового порога*. С точки зрения анатомии, оно характеризуется дегенерацией волосковых клеток, которая начинается с небольших гистологических изменений, но постепенно переходит в полное разрушение клетки. Потеря слуха, скорее всего, должна затрагивать частоты, по отношению к которым ухо является наиболее чувствительным, поскольку именно при этих частотах передача акустической энергии из внешней среды во внутреннее ухо является оптимальной. Это объясняет, почему потеря слуха при 4 000 Гц является первым признаком шумовой болезни.

Шум, действующий на человека от различных природных или техногенных источников, отличается по звуковому давлению на 9 порядков. Ди-

намический диапазон слухового восприятия человека от порога слышимости до болевого порога показан на рис. 3. Каждая точка кривой границы порога слышимости указывает звуковое давление, при котором звук данного значения и частоты воспринимается как едва слышимый. Верхняя кривая является границей болевого порога; точки, расположенные над этой кривой, соответствуют звукам, вызывающим болевое ощущение.

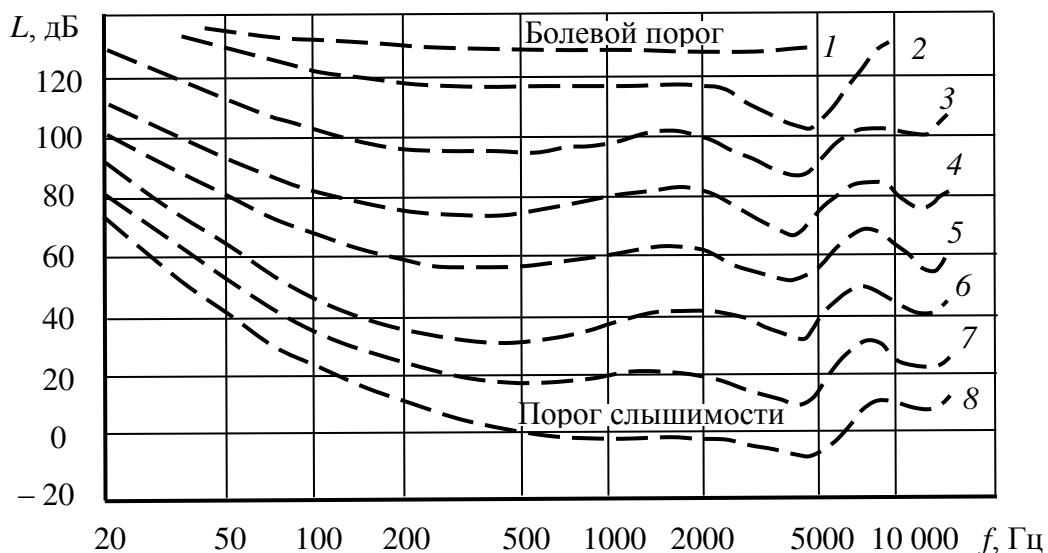


Рис. 3. Кривые равной громкости: 1 – болевого порога; 2–7 – уровней громкости, соответственно, 120, 100, 80, 60, 40 и 20 фон; 8 – слухового порога (порога слышимости)

На рис. 3 между границами болевого порога и порога слышимости построены кривые равной громкости, характеризующие неравномерность частотной характеристики чувствительности человеческого уха. Они построены следующим образом. Если к уху испытуемого с нормальным слухом подвесить звук определённой частоты, например 1 000 Гц, и с определённым уровнем звукового давления, например 40 дБ, а к другому уху – звук другой частоты, например 100 Гц, но с регулируемым уровнем, то человек может подобрать такой уровень второго звука, чтобы оба казались на слух равногромкими.

Уровень давления звука частотой 100 Гц измеряется и наносится на график. Аналогично получаются уровни звукового давления для других частот. Все полученные таким образом точки соединяются одной кривой и по числу децибел на частоте 1 000 Гц, например 40 дБ, кривая получает название кривой равной громкости в 40 фон. Таким образом, уровень громкости звука в фонах численно равен уровню звукового давления, выраженному в децибелах для чистого тона частотой 1 000 Гц, дающего то же субъективное ощущение громкости, что и данный звук.

Изменяя ступенями по 10 дБ уровень данного тона сравнения и определяя для каждого из них равногромкие звуки других частот, можно получить семейство кривых равной громкости.

Как следует из кривых равной громкости, восприятие звука зависит от его частоты, поэтому другим важным параметром шума является его *спектр*.

Спектром шума называется зависимость уровней звукового давления от частоты. Понятие спектрального состава шума источника, представление о разложении шума на спектральные составляющие широко используется в практике защиты от шума. Реальный спектр шума – сумма многих колебаний различных частот, каждая из составляющих которых имеет свою амплитуду. Это можно понять из рис. 4, где графически изображён пример сложного колебательного процесса.

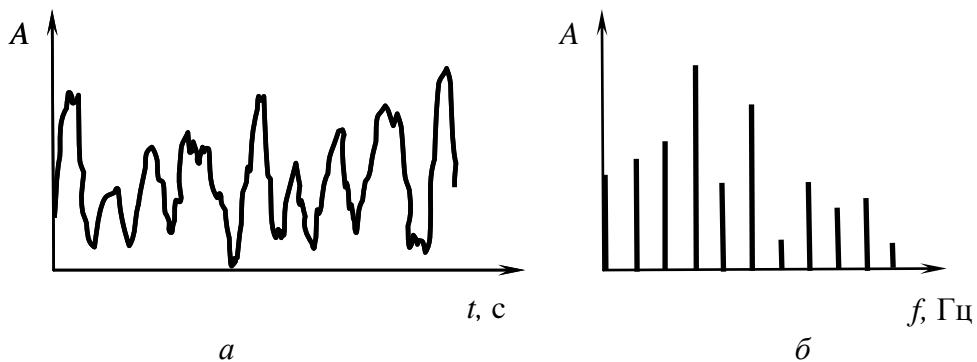


Рис. 4. Пример сложного колебательного процесса:
а – осциллограмма; б – спектрограмма

В практике шумоглушения применяют чаще всего спектральные характеристики в октавах и третьоктавах. *Октава* – это частотный интервал, в котором $f_{\text{в}} / f_{\text{н}} = 2$, где $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя граничные частоты соответственно. Определяющей для этих частотных интервалов является среднегеометрическая частота $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}}$. Для базовой частоты 1000 Гц октава начинается с 707 Гц и заканчивается частотой 1414 Гц. Для третьоктавы справедливо соотношение $f_{\text{в}} / f_{\text{н}} = \sqrt[3]{2}$. Таким образом, на графиках-спектрограммах ордината среднегеометрической частоты относится ко всей октаве или третьоктавы.

По положению максимума в спектре шум условно делят на *низкочастотный*, где основные составляющие в спектре сосредоточены на частотах до 300 Гц, *среднечастотный* (300...800 Гц) и *высокочастотный* (выше 800 Гц).

По характеру спектра шум делится:

- на *широкополосный* с непрерывным спектром шириной более одной октавы;

- *тональный*, в спектре которого имеются выраженные дискретные тона (устанавливается при измерениях в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ);
- *смешанный*, когда на сплошные участки накладываются отдельные дискретные составляющие.

По временным характеристикам шум подразделяется:

- на *постоянный* шум, уровень звука которого за выбранный отрезок времени (например, 8-часовой рабочий день) изменяется во времени не более чем на 5 дБА;
- *непостоянный* шум, уровень звука которого за выбранный отрезок времени изменяется более чем на 5 дБА.

Непостоянный шум, в свою очередь, подразделяется:

- на *колеблющийся* во времени, уровень звука которого непрерывно меняется во времени;
- *прерывистый*, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более, причём длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет более 1 с);
- *импульсный*, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый из которых длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные на импульсной характеристике шумомера, отличаются не менее чем на 7 дБА. Примером импульсного шума может служить процесс ударного забивания свай. Прерывистый шум возникает при некоторых процессах деревообработки (распиловке и др.).

Источники шума

По характеру источника или среды образования шум может быть механическим, аэродинамическим, гидродинамическим и электромагнитным.

Источником механического шума служат механические части и детали различных приспособлений и устройств, совершающие движение, трение, удары, вращение и т. д. При этом часть механической энергии превращается в тепловую энергию или другие её виды, в том числе и полезные, а частично в звуковую энергию, в данном случае не являющуюся полезной. Вибрирующие механические части заставляют колебаться частички воздуха, расположенного вблизи них, создавая давление и разрежение и тем самым звуковую волну в воздухе.

Аэродинамический шум создаётся ветряными потоками, потоками воздуха от вентиляторов, кондиционеров, выхлопных труб и других источников. Воздух своим напором может воздействовать на ухо непосредственно сам либо, попадая на различные твёрдые части или поверхности и отражаясь от

них, приходить в виде звуковой волны от вибрирующих частей этих поверхностей. Частота звука и звуковое давление сильно зависят от скорости ветра, вращения вентиляторов или давления выбрасываемых газов.

Источниками *гидродинамического шума* являются волны, дождь, движение воды по каналам, рекам (например, такие мощные водопады, как Ниагарский можно слышать за многие километры), фонтаны, перемещение жидкости по трубопроводам, перемешиваемый расплавленный металл в индукционных печах, раскалённая лава при извержении вулканов и т. д.

Электромагнитный шум возникает при взаимодействии тока, протекающего по проводникам электротехнических устройств, и магнитного поля, создаваемого током, либо за счёт магнитострикционных или других процессов в магнитопроводящих материалах. Вибрация проводников вызывает большой шум на промышленной (50 Гц) и средних частотах (от 500 до 8000 Гц), и эта проблема в настоящее время очень трудно решается для многих электротехнических и электротехнологических установок. Источником шума являются и высокочастотные ультразвуковые установки. Эти проблемы будут рассмотрены далее.

Различные устройства могут излучать комбинированный шум, например, электромеханический, магнитогидродинамический, электромагнитный и аэродинамический и т. д.

Критерии нормирования шума

В настоящее время шум рассматривается как один из видов загрязнения воздушной среды. При оценке шума существенное значение имеют такие понятия как его имиссия и эмиссия. *Имиссия* – это воздействие шума в зоне нахождения человека. Её оценка производится для сопоставления с допустимыми параметрами, определёнными санитарным нормированием. *Эмиссия* характеризует непосредственное излучение шума источником. Целью ограничения эмиссии служит техническое нормирование шума.

При нормировании шума рассматриваются критерии риска повреждения слуха. Термин *критерии риска повреждения* относится к риску ухудшения слуха от различных уровней звука. Ранее принятые решения допускали значительные объёмы потери слуха в качестве приемлемого риска. Наиболее распространённым определением являлся средний слуховой пороговый уровень (или “нижний барьер”), который составлял 25 дБ или более на аудиометрических частотах 500, 1000 и 2000 Гц. С тех пор определения “ухудшение слуха” или “потеря слуха” стали более жёсткими, при этом разные страны или консенсусные группы придерживаются различных определений. Если бы не существовало никакого риска потери слуха под воздействием шума даже у наиболее чувствительных представителей подверженного шумовому воздействию населения, допустимый уровень должен был бы опуститься до 75 дБ. И в самом деле, директивой ЕЭС устанавливает-

ся эквивалентный уровень (75 дБ), при котором риск является незначительным. В целом на этот счёт преобладает мнение, что приемлемой для рабочей силы, подверженной шумовому воздействию, является некоторая, но не слишком большая потеря слуха.

Определение критерии риска. Критерии потери слуха, вызванной шумом, могут быть представлены одним из двух способов: вызванный шумом необратимый пороговый сдвиг или процент риска. *Необратимый пороговый риск* – это степень необратимого порогового сдвига, характерная для населения, после вычитания значения порогового сдвига, который произошёл бы естественным путём по причинам, отличным от промышленного шума. Процент риска – это процент населения с ухудшением слуха, вызванного шумом, после вычитания подобного населения не подверженного воздействию шума на рабочем месте. Это понятие иногда называют *избыточным риском*.

Критерии оценки шумового воздействия. Выбор критерии оценки шумового воздействия зависит от цели, которую необходимо достичь, например, предотвратить потерю слуха или возникновение напряжения и усталости. Максимально допустимый средний ежедневный уровень шумового воздействия различается в разных странах и колеблется от 80 до 85...90 дБА.

Санитарное нормирование шума

Целью санитарного нормирования является установление таких предельно допустимых параметров шума на рабочих местах, при которых систематическое и длительное его воздействие не вызывает существенных заболеваний работающих.

Первые в мире нормы по шуму были разработаны в Ленинградском институте охраны труда в 1956 году. В начале 1960-х годов Международная организация по стандартизации (ISO) предложила подход к нормированию шума, исходя из критерия риска потери слуха. Эти рекомендации ISO стали базой для принятия норм по шуму во многих странах. ISO было предложено в качестве нормы использовать частотно-зависимые нормировочные кривые, которые отображают свойства слуха. Особенность слуха такова, что звук высокой частоты при одинаковом уровне воспринимается как более неприятный, чем низкочастотный. Таким образом, нормировочная кривая ограничивает в большей степени звук высоких частот, чем низких. Характер таких нормировочных кривых, называемых предельными спектрами (ПС), можно увидеть на рис. 5.

Предельные спектры представлены в октавных полосах частот и представляют собой эквидистантные кривые с шагом 5 дБ. Индекс ПС определяется предельно-допустимым уровнем звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Норма шума устанавливается в зависимости от характера работы. Например, ПС-75 соответствует нулевому риску потери слуха по стандарту ISO-1999-75, а ПС-85 соответствует кrite-

рию сохранения слуха в большинстве случаев. Разработчик норм выбирает ПС в зависимости от экономических соображений (чем более жёсткая норма, тем больше затрат на её соблюдение) и критерия риска повреждения слуха.

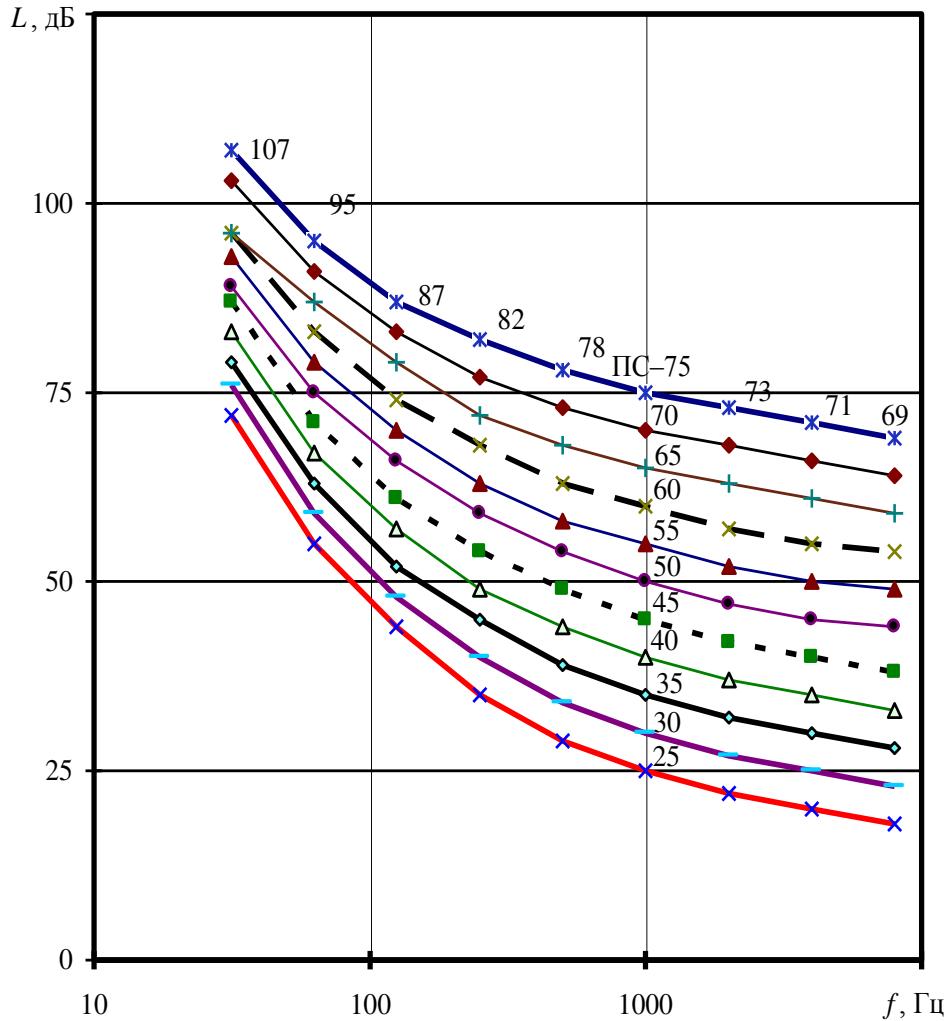


Рис. 5. Семейство нормировочных кривых шума (ПС), рекомендованных ISO

Допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука, дБА, измеренный на временной характеристике “медленно” шумометра, определяемый по формуле

$$L_A = 20 \lg \frac{p_A}{p_0},$$

где p_A – среднеквадратичное значение звукового давления с учётом коррекции “A” шумометра, Па.

С помощью коррекции “А” осуществляется следующее ослабление звуковых сигналов, примерно соответствующее частотной характеристике чувствительности человеческого уха, приведённое в табл. 1.

Таблица 1

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стандартная характеристика “А” шумометра, дБ	-40	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1

Исследования показали, что если широкополосный шум находится на верхнем пределе нормы, т. е. его огибающей является предельный спектр, то измерение его с помощью характеристики “А” даёт приблизительно уровень звука на 5 дБА больше, чем номер предельного спектра, и поэтому в нормах между ПС и интегральным показателем, дБА, существует простое соотношение

$$L_{A_{\text{нор}}} = \text{ПС} + 5,$$

где ПС – номер предельного спектра (например, ПС–75 соответствует интегральная норма $L_{A_{\text{нор}}} = 80$ дБА).

Использование при нормировании уровня звука позволяет значительно сократить объём измерений и упростить обработку результатов, так как отпадает необходимость в спектральном анализе шума. Существенным недостатком данного метода является то, что в случае превышения норм он не позволяет определить, в каких именно октавах шум превышает нормируемое значение и какова частотная характеристика требуемого шумоглушения.

Нормирование шума в России

Допустимые уровни звукового давления или уровня звука на рабочих местах определяются ГОСТ 12.1.003–83* “Шум. Общие требования безопасности” или санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562–96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”. В табл. 2 приводятся требования ГОСТ 12.1.003–83* по шуму в зависимости от выполняемой работы.

В нормативных документах можно встретить следующие термины.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука, $L_{A_{\text{экв}}}$, дБА, непостоянного шума – уровень звука постоянного широкополосного шума, который в течение определённого интервала времени имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум, определяемый по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt,$$

где $p_A(t)$ – текущее значение среднего квадратического звукового давления с учётом коррекции “А” шумометра, Па.

Таблица 2

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне- геометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эк- вивалентные уровни звука, дБА
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Предприятия, учреждения и организации											
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность: рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчётов, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приёма больных в здравпунктах.	86	71	61	54	49	45	42	40	38		50
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории: рабочие места в помещениях цехового управляемого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях.	93	79	70	63	58	55	52	50	49		60
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля, операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа: рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах.	96	83	74	68	63	60	57	55	54		65
4. Работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами: рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону; в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин.	103	91	83	77	73	70	68	66	64		75
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1–4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69		80

Окончание табл. 2

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Подвижной состав железнодорожного транспорта										
6. Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис.	99	95	87	82	78	75	73	71	69	85
7. Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8. Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных отделений рефрижераторных секций, вагонов электростанций, помещений для отдыха в багажных и почтовых отделениях.	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
9. Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов-ресторанов.	96	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Морские, речные, рыбопромысловые и другие суда										
10. Рабочая зона в помещениях энергетического отделения морских судов с постоянной вахтой (помещения, в которых установлена главная энергетическая установка, котлы, двигатели и механизмы, вырабатывающие энергию и обеспечивающие работу различных систем и устройств).	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
11. Рабочие зоны в центральных постах управления (ЦПУ) морских судов (звукозащищенные), помещениях, выделенных из энергетического отделения, в которых установлены контрольные приборы, средства индикации, органы управления главной энергетической установкой и вспомогательными механизмами.	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
12. Рабочие зоны в служебных помещениях морских судов (рулевые, штурманские, багермейстерские рубки, радиорубки и др.).	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
13. Производственно-технологические помещения на судах рыбной промышленности (помещения для переработки объектов промысла рыбы, морепродуктов и пр.).	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Тракторы, самоходные шасси, самоходные, прицепные и навесные сельскохозяйственные машины, строительно-дорожные, землеройно-транспортные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин										
14. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала автомобилей.	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
15. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей.	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
16. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
17. Рабочие места в кабинах и салонах самолётов и вертолётов.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Максимальный уровень звука $L_{A_{\max}}$, дБА – уровень звука, соответствующий максимальному показателю измерительного, прямопоказывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчёте, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1 % времени измерения при регистрации автоматическим устройством.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать:

- для широкополосного постоянного и непостоянного (кроме импульсного) шума – по табл. 2;
- для тонального и импульсного шума – на 5 дБ меньше значений, указанных в табл. 2.

Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с октавным уровнем звукового давления выше 135 дБ в любой октавной полосе.

Методика определения эквивалентного уровня звука $L_{A_{\text{экв}}}$ будет приведена далее в разд. “Обработка результатов”.

В СН 2.2.4/2.1.8.562–96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки” помимо допустимых параметров шума, имеющихся в ГОСТ 12.1.003–83*, содержатся также требования по шуму в помещениях жилых и общественных зданий и на территориях жилой застройки (табл. 3).

Как следует из допустимых параметров шума, приведённых в табл. 2 и 3, требования по шуму не могут быть заданы по общему уровню без указания частотного диапазона. Эти требования следует записывать либо с указанием рабочего места, например, шум должен соответствовать требованию при выполнении всех работ п. 5, при этом могут быть перечислены допустимые уровни во всех нормируемых октавных полосах частот и уровень звука в децибелах по шкале А. Например, шум должен соответствовать выполнению всех видов работ п. 5, т. е. не должен превышать ПС–75 или 80 дБА.

Таблица 3

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Время суток, ч	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука, $L_{A_{\max}}$, дБА
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Палаты больниц и санаториев, операционные больницы.	C 7 до 23 C 23 до 7	76 69	59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23 13	35 25	50 40
Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев.	–	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50

Окончание табл. 3

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Время суток, ч	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука, $L_{A_{max}}$, дБА
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек.	–	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах.	с 7 до 23	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	с 23 до 7	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий.	с 7 до 23 с 23 до 7	83 76	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50
Залы кафе, ресторанов, столовых.		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания.	–	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев.	с 7 до 23 с 23 до 7	83 76	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35	60 50
Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек.	с 7 до 23	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	с 23 до 7	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий.	с 7 до 23 с 23 до 7	93 86	79 71	70 61	63 54	59 49	55 45	53 42	51 40	49 39	60 50	75 65
Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений.	–	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Существует также ограничение по максимально допустимому уровню звука непостоянного шума, который не должен превышать значений 110 дБА для непрерывного шума при измерениях на временной характеристике “медленно” и 125 дБАI – для импульсного шума при измерениях на временной характеристике “импульс”.

Если при инструментальной оценке шум на рабочем месте превышает нормативные значения в каких-либо частотных диапазонах, требуется мероприятия по его снижению. На рис. 6 приведены результаты исследования уровня звукового давления на рабочих местах персонала, выполняющего работу с некоторыми распространёнными устройствами, создающими относительно сильный шум, например, индукционные нагреватели или ПЭВМ с матричным принтером.

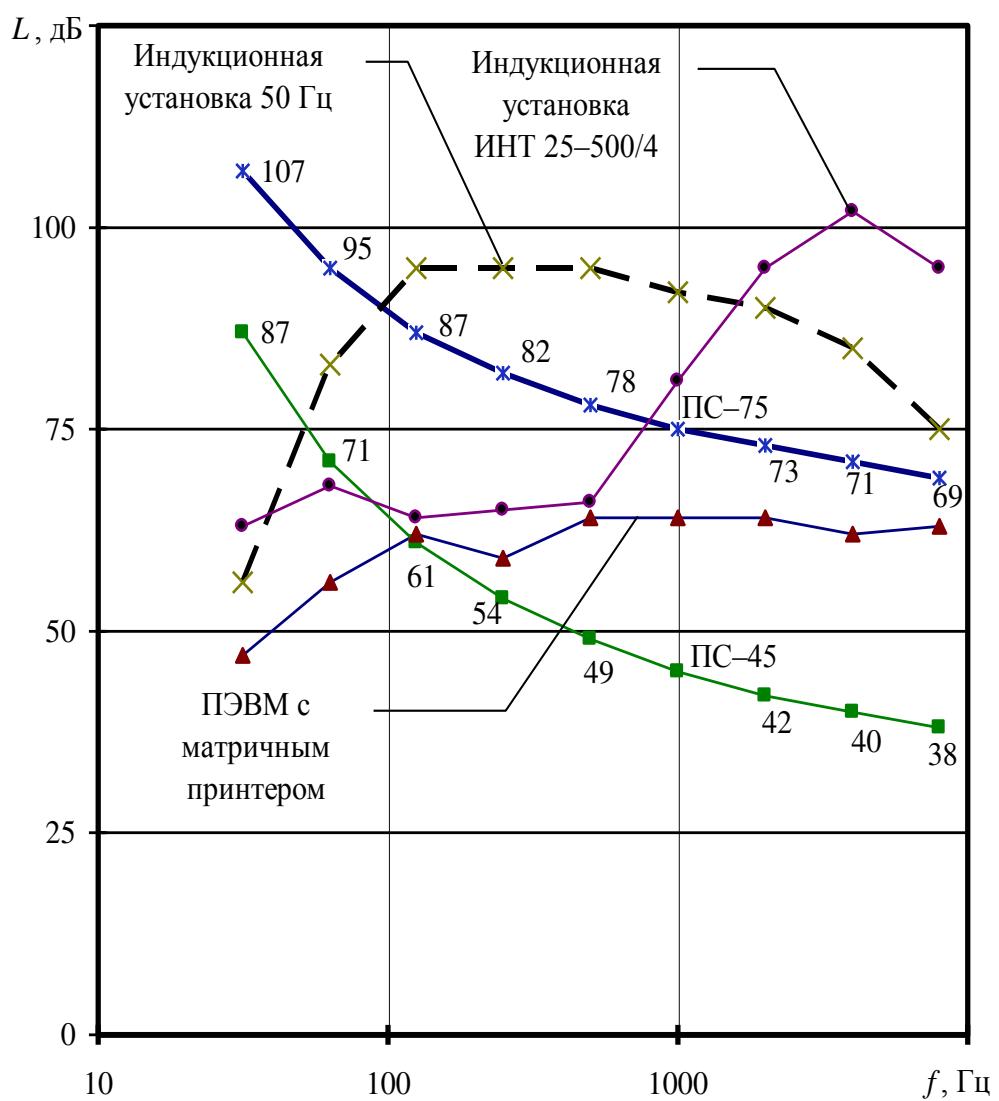


Рис. 6. Кривые уровня звукового давления на некоторых рабочих местах и предельные спектры для этих работ ПС-75 и ПС-45

Шум в индукционных установках создаётся вибрацией витков индуктора или нагреваемого изделия, снизить которую очень сложно. По сравнению с предельным спектром ПС-75 обе установки (ИНТ 25-500/4 для нагрева на частоте 4 кГц концов штанг глубинных насосов в овальном индукторе 380×380×80 мм и установка поперечного магнитного потока для нагрева алюминиевой полосы шириной 1200 мм частотой 50 Гц) имеют превышения, соответствующие частотам основной и удвоенной частоты источника питания. Уровни звукового давления ПЭВМ с матричным принтером превышают ПС-45 также в высокочастотной области звуковых частот, причём это превышение может достигать 20...30 дБ. Наиболее же острые проблемы в производственных условиях имеются на рабочих местах прессовых линий и обрезных автоматов, уровень звукового давления которых достигает 130...135 дБ в диапазоне частот 125...2000 Гц.

ИЗМЕРЕНИЕ ШУМА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В соответствии с требованиями международных стандартов выбор того или иного метода измерения уровня шума зависит от следующих целей измерения:

- определение вероятности повреждения органов слуха;
- определение потребности в использовании технических средств борьбы с шумом и подбор нужного их типа;
- определение “шумовой нагрузки” совместимой с характером выполняемых работ;
- определение фонового уровня, необходимого для обеспечения общего и техники безопасности.

Существуют два основных подхода к измерению параметров шума на рабочем месте:

1) измерение *шумового воздействия* на каждого работника или категорию работников. В этом случае предпочтительнее использование шумового дозиметра;

2) измерение шума на различных участках для создания шумовой карты и определения областей риска. В этом случае необходимо измерить шум в узлах сетки координат шумовой карты при помощи измерителя уровня звука.

Измерение шума на соответствие требованиям по предельным параметрам производится в соответствии с ГОСТ 12.1.050–86 “Методы измерения шума на рабочих местах”.

Измерительный тракт, как правило, состоит из шумомера и набора октавных фильтров, часто оба прибора совмещены в одном блоке. Структурная схема шумомера представлена на рис. 7. Шумомер включает микрофон 1, преобразующий звуковые колебания в электрические, которые усиливаются усилителем 2. Прибор должен работать в широком динамическом диапазоне.

Чтобы обеспечить достаточное усиление самых слабых сигналов и избежать перегрузки при прохождении наиболее интенсивных, шумомер снабжен аттенюатором 4.

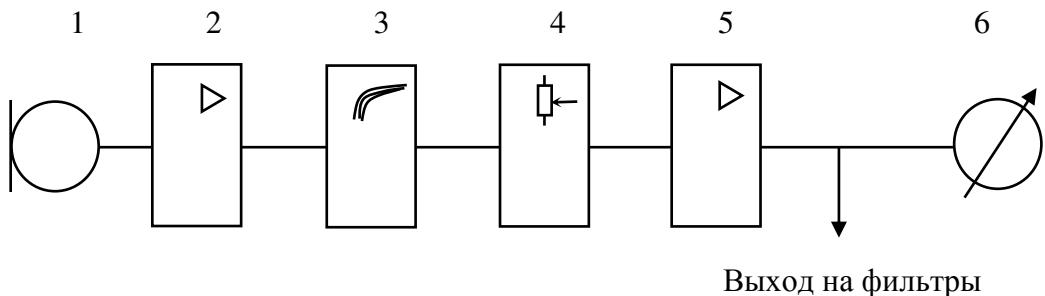


Рис. 7. Структурная схема шумомера:

1 – микрофон; 2 – предварительный усилитель; 3 – корректирующие цепи;
4 – аттенюатор; 5 – усилитель; 6 – показывающий прибор

Шумомер имеет четыре частотных характеристики – А, В, С и линейную, которые создаются корректирующими цепями 3 (рис. 7) частотных характеристик шумомера. Линейная характеристика используется при подключении к шумомеру набора фильтров для определения распределения уровней звуковых давлений по частотам. Характеристика А шумомера предназначена для измерений уровней звука по шкале “А” (дБА).

Достоинство измерения и нормирования шума в децибелах по шкале “А” – возможность сразу ответить на вопрос – “имеется или нет превышение в измеряемом шуме допустимых норм”, но не даёт возможности определить, в какой октаве имеет место превышение. Измерение и нормирование шума по предельному спектру обеспечивает такую возможность, однако требует больше времени для проведения измерений. Современная аппаратура, построенная на микропроцессорах, лишена этого недостатка.

Измерения шума должны производиться для контроля соответствия фактических уровней звука на рабочих местах допустимым уровням по действующим нормам.

Устанавливаются следующие измеряемые и рассчитываемые величины в зависимости от временных характеристик шума:

- уровень звука, дБА, и октавные уровни звукового давления, дБ, – для постоянного шума;
- эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука, дБА, – для колеблющегося во времени шума;
- эквивалентный уровень звука, дБА, и максимальный уровень звука, дБА_I, – для импульсного шума;
- эквивалентный и максимальный уровни, дБА, – для прерывистого шума.

Поскольку результаты должны характеризовать шумовое воздействие за время рабочего дня, устанавливается определённая продолжительность измерения непостоянного шума.

При проведении измерений микрофон следует располагать на высоте 1.5 м над уровнем пола или рабочей площадки (если работа выполняется стоя) или на высоте уха человека, подвергающегося воздействию шума (если работа выполняется сидя). Микрофон должен быть ориентирован в направлении максимального уровня шума и удалён не менее чем на 0.5 м от оператора, проводящего измерения.

Для оценки шума на постоянных рабочих местах измерения следует проводить в точках, соответствующих установленным постоянным местам. Для оценки шума на непостоянных рабочих местах измерения следует проводить в рабочей зоне в точке наиболее частого пребывания работающего.

Обработка результатов измерений

Шумоизмерительная аппаратура имеет шкалы, проградуированные в единицах уровней – децибелах. В процессе обработки результатов измерений, полученных с помощью этих приборов, возникает необходимость определения суммарного шума нескольких одновременно работающих источников по измеренным уровням каждого из них. На практике часто встречается необходимость определения среднего уровня звукового давления по результатам измерения в нескольких точках, к примеру, когда известен уровень звукового давления суммы двух источников и уровень одного из них, а требуется определить уровень неизвестного сигнала. С логарифмическими величинами нельзя производить обычные арифметические действия, например, непосредственно складывать. Сложение логарифмов чисел соответствует логарифму произведения, а не сумме этих чисел. Перемножение уровней вообще лишено физического смысла.

Существуют различные способы обработки результатов измерений, выраженных в децибелах. Далее приводится два способа: классический и nomографический (табличный).

Классический способ основан на использовании формулы, связывающей звуковое давление p , Н/м², с его уровнем L , дБ

$$p = 2 \cdot 10^{0.5 \cdot L - 5}.$$

Сложение источников с одинаковыми уровнями звука (или уровнями звукового давления) выполняется по формуле

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \lg n,$$

где $L_1 = L_2 = \dots = L_n$ – уровень звука (или уровень звукового давления) одного из источников, дБА (дБ); n – число источников.

Из формулы видно, что если складываются два источника с одинаковыми уровнями звука, то суммарный шум на 3 дБ выше любого из них, если 10 источников – на 10 дБ выше, а если 100 – на 20 дБ выше и т. д.

Пример. Студент, разговаривая с соседом, создаёт уровень звука 60 дБА. Каков суммарный уровень звука 100 студентов, находящихся в аудитории. *Ответ:* 80 дБА (при условии, что все студенты находятся в одной точке).

Если источники имеют различные уровни звука (или уровни звукового давления), то сложение их осуществляется по формуле

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right),$$

где L_i – уровни звука (или уровни звукового давления) i -го источника шума, дБА (дБ).

Для удобства расчётов можно использовать данные для сложения уровней звука (или уровней звукового давления) источников шума, представленные в табл. 4.

Таблица 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разность двух складываемых уровней звука (или уровней звукового давления)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Добавка (A) к большему из уровней звука (или уровней звукового давления)	3	2.5	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4

Если разница уровней звука (или уровней звукового давления) складываемых источников превышает 10 дБА (дБ), то меньший из них можно не учитывать.

Пример. В цехе работают три станка с разными уровнями звука: $L_1 = 100$ дБА, $L_2 = 94$ дБА, $L_3 = 80$ дБА. Определить суммарный уровень звука. $L_1 - L_2 = 100 - 94 = 6$ дБА. Из табл. 4 добавка (A) равна 1 дБА. Тогда суммарный уровень звука составит: $100 + 1 = 101$ дБА.

Операция сложения выполняется последовательно: сначала складываются два наименьших источника; их энергетическая сумма является новым условным источником, который складывается со следующим и т. д. Для закрепления знаний об операциях сложения, а также для практического использования выполним перевод измеренного спектра в соответствующий ему уровень звука. Заметим, что обратная операция невозможна.

Перевод уровней звукового давления в уровень звука

Пример. Выполнены измерения уровней звукового давления в октавах бытового прибора, для которого в паспорте указана нормативная характеристика уровня звука, например, 50 дБА. Для сопоставления с ней требуется перевести уровни звукового давления в октавах в уровень звука.

В табл. 5 приведены измеренная характеристика, а также стандартная характеристика фильтра “А” шумометра.

Таблица 5

Стандартные или вычисленные характеристики	Уровни звукового давления, дБ, и поправки в октавных полосах частот, Гц														
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000						
Измеренная характеристика бытового прибора	74	63	50	48	45	40	35	30	22						
Стандартная частотная характеристика “А” шумометра	-40	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1						
Спектр прибора с поправкой на фильтр “А”, дБА	34	37	34	39	42	40	36	31	21						
Результаты энергетического сложения, дБА	39	40		44		37		Не учитывают							
	43			45											
	47														

Из показаний прибора арифметически вычитаются значение фильтра “А”, а полученные значения новых уровней звукового давления последовательно складываются энергетически. В табл. 5 показаны последовательность перечисленных операций и окончательный результат. Уровень звука, создаваемого данным бытовым прибором в 47 дБА, соответствует норме – 50 дБА.

Вычитание уровней звукового давления и уровней звука

Задача вычитания уровней звукового давления и уровней звука также имеет большое практическое значение, особенно при разработке мероприятий по шумоглушению. Например, если звуковое поле складывается из нескольких источников, каким будет уровень звука (уровень звукового давления) при отключении одного из них. Такую операцию нетрудно выполнить, воспользовавшись данными, приведёнными в табл. 6.

Таблица 6

Разность двух вычитаемых источников, дБ (дБА)	10	6 – 9	5 – 4	3	2	1
Поправка к более высокому уровню ($-\Delta$), дБ (дБА)	0	1	2	3	5	7

Пример. Требуется определить уровень звука станка, находящегося в шумном цехе. Суммарный уровень звука станка и шумовой помехи равен 92 дБА. Помеха в этой точке при выключенном станке имеет уровень 85 дБА. Каков уровень звука станка? Разность суммарного уровня звука и уровня помех составляет 7 дБА. По табл. 6 определяем поправку, равную 1 дБА. Вычтя из суммарного уровня эту поправку, находим искомый уровень звука станка. Он равен 91 дБА.

Расчёт эквивалентного уровня звука

Практические расчёты эквивалентных уровней звука для работающих источников с непостоянным шумом выполняются в соответствии с ГОСТ 12.1.050–86.

Последовательность расчёта следующая:

1) определяются (расчётами или измерениями) значения уровня звука, которые обозначаются $L_{Ai} \dots (L_i)$;

2) по технологии работы источника определяется продолжительность работы на каждой ступени измерения шума, мин;

3) определяются поправки ΔL_{Ai} к значениям измеренных L_{Ai} в зависимости от продолжительности ступеней шума по табл. 7;

Таблица 7

Продолжительность ступени прерывистого шума, мин	480	420	360	300	240	180	120	60	30	15	66
Поправка ΔL_{Ai} , дБА (или ΔL_i , дБ)	0.0	0.6	1.2	2.0	3.0	4.2	6.0	10	12	15	19

4) вычисляется разность $L_{Ai} - \Delta L_{Ai}$ для каждой степени шума;

5) полученная разность энергетически суммируется, а сумма и будет эквивалентным уровнем звука (дБА), определяемым по формуле

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{Ai} - \Delta L_{Ai})},$$

где n – число ступеней прерывистого шума.

Определение дозы шума

При оценке шума допускается использовать дозу шума, так как установлена линейная зависимость – эффект по временному смещению порога слуха, что свидетельствует об адекватности оценки шума по энергии. Дозный подход позволяет оценивать кумуляцию (накопление) шумового воздействия за рабочую смену.

Доза шума D , Па²·ч, – интегральная величина, учитывающая акустическую энергию, действующую на человека, за определённый период T

$$D = \int_0^T p_A^2(t) dt,$$

где $p_A(t)$ – текущее значение среднеквадратического звукового давления с учётом коррекции А шумомера; T – продолжительность воздействия шума.

Относительная доза шума, %: $\Delta_{\text{отн}} = (\Delta/\Delta_{\text{доп}}) \cdot 100$, где $\Delta_{\text{доп}}$ – допустимая доза шума. Для $L_A = 80$ дБА и $T = 8$ ч: $\Delta_{\text{доп}} = 0.356^2 \cdot 8 = 1 \text{ Па}^2 \cdot \text{ч}$. Для допустимого уровня звука 80 дБА при $T = 8$ ч: $\Delta_{\text{отн}} = 100 \%$, при $T = 4$ ч: $\Delta_{\text{отн}} = 50 \%$.

Методы и средства защиты от шума

Вредные уровни звука легко выявить. В подавляющем большинстве случаев избыточный шум можно уменьшить, применяя уже существующие технологии, переконструируя оборудование, усовершенствуя производственный процесс или модифицируя шумные механизмы. Но очень часто не делается вообще ничего. Тому есть несколько причин. Во-первых, хотя некоторые решения по снижению уровня шума очень недороги, другие стоят недешево, особенно, когда целью является снижение вредного уровня шума до 80 дБА. Затраты на снижение шума в устройствах могут оцениваться от 2 % от стоимости самого устройства в первом случае до 10 % – в худшем случае. Во-вторых, иногда снизить шум от мощного оборудования можно только путём новых решений, которые не сразу могут изобрести конструкторы и проектировщики. Легче предложить использовать средства снижения шума на пути его распространения, проблемами которых занимаются в основном эксплуатационные службы, а не разработчики.

Все имеющиеся в распоряжении человечества методы и средства защиты от шума и вибраций можно классифицировать следующим образом.

По отношению к защищаемому объекту средства подразделяются на средства индивидуальной и коллективной защиты.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) от шума (средства защиты в самом приёмнике) используются персонально, их назначение – перекрыть основной канал проникновения звука в ухо человека и тем самым предупредить ухудшение или расстройство не только органов слуха, но также нервной и других подвергающихся вредному воздействию шума систем человека.

Средства коллективной защиты от шума предназначены и используются для его снижения на рабочих местах, в окружающей среде и в других местах пребывания человека.

По отношению к источнику шума все средства коллективной защиты можно подразделить на снижающие шум в источнике образования и снижающие шум по пути от источника шума к точке наблюдения или расчётной точке.

Для снижения шума в источнике образования необходимо проанализировать источники шумообразования. Начинать снижение шума следует от более интенсивных к менее интенсивным источникам. Уменьшить шум можно различными путями в зависимости от конструкции, режимов работы и т. д., например, за счёт снижения силового воздействия или уменьшения звукоизлучающей способности элементов источника.

Снижение силового воздействия достигается, к примеру, снижением скорости движения (вращения), уравновешиванием вращающихся частей, увеличением времени соударения деталей, уменьшением зазоров в сочленениях и соединениях, увеличением числа Рейнольдса и снижением скорости движущихся гидравлических потоков, снижением турбулентности и скорости движущихся струй и пр.

Уменьшение звукоизлучающей способности достигается нарушением синфазности колебаний излучающей поверхности, снижением площади излучения, уменьшением сопротивления излучающей поверхности, её вибродемпфированием, увеличением коэффициента потерь материала излучающей поверхности и пр.

Условно средства снижения шума на пути от источника до приёмника (точки наблюдения) можно разделить на несколько видов (рис. 8):

- средства ближней (по отношению к источнику) защиты (глушители шума, виброизоляторы);
- средства, устанавливаемые на пути распространения между источником шума и приёмником (акустические экраны, звукоизолирующие капоты, перегородки, звукоизолирующие укрытия);
- средства, снижающие шум в точке наблюдения (ТН) (звукозолирующие кабины, звукоизолированные дома и т. д.).

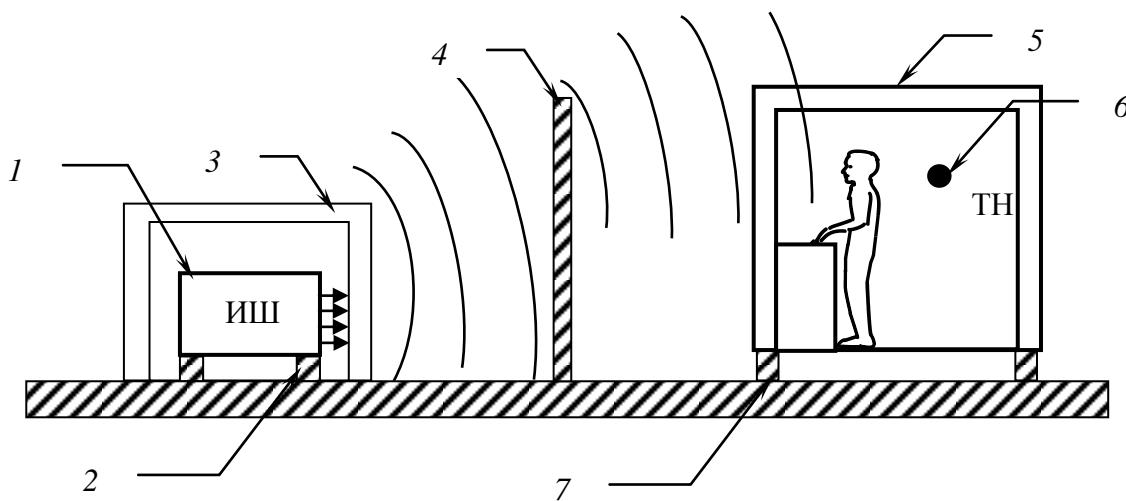


Рис. 8. Схема установки коллективных средств защиты от шума и вибрации на пути их распространения: 1 – источник шума; 2 – виброизоляторы источника (средство ближней защиты от звуковой вибрации); 3 – звукоизолирующий кожух, 4 – акустический экран; 5, 7 – звукоизолирующая кабина и её виброизоляторы соответственно (средства, снижающие шум в точке наблюдения); 6 – точка наблюдения

В зависимости от среды, в которой распространяется звук, средства делятся на снижающие передачу воздушного шума и структурного шума (звуковой вибрации).

Всё многообразие рассмотренных средств защиты от шума (кроме применяемых для снижения шума в источнике образования) основано на очень простых принципах: поглощении звука (звуковой вибрации), отражении или комбинации этих двух принципов.

В зависимости от принципа действия методы защиты от шума и звуковой вибрации делятся на следующие: звукоизоляция; звукопоглощение; вибропротекция; вибропоглощение; глушители шума.

Заметим, что данная классификация в определённой степени условна, так как, например, глушители являются средствами защиты от шума (например, реактивных струй и т. д.).

Звукоизоляция – метод защиты от воздушного шума, основанный на отражении звука от бесконечно плотной звукоизолирующей преграды (рис. 9, а).

Звукопоглощение – метод защиты от воздушного шума, основанный на поглощении звука при переходе звуковой энергии в тепловую в мягкой звукопоглащающей (волокнистой или пористой) конструкции (рис. 9, б).

Глушители шума – устройства, применяемые для снижения аэродинамического или гидродинамического шума за счёт отражения (реактивные) (рис. 9, в) или поглощения (абсорбционные) (рис. 9, г) звуковой энергии.

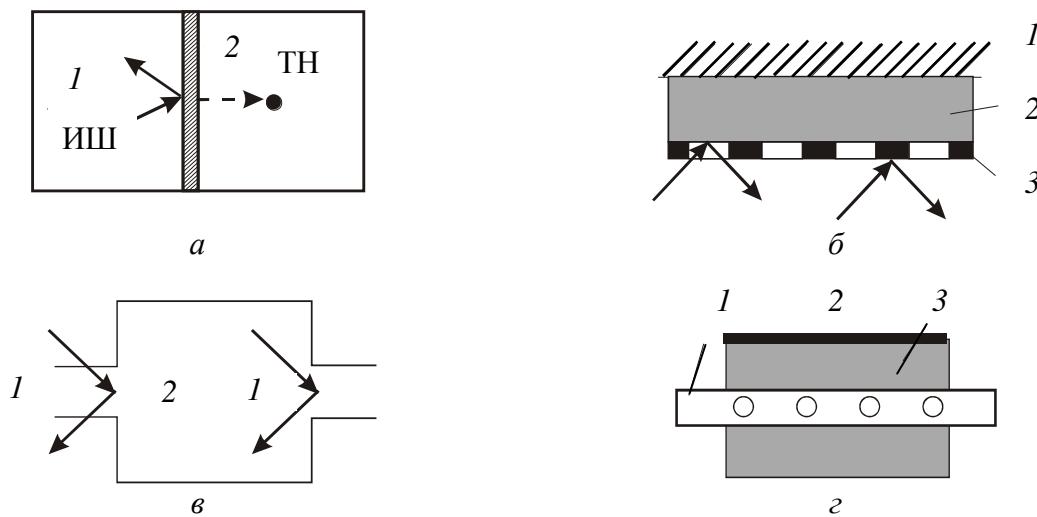


Рис. 9. Схемы: а – звукоизоляции (1 – источник шума; 2 – бесконечная плотная звукоизолирующая преграда); б – звукопоглощения (1 – твёрдая отражающая поверхность, 2 – звукопоглащающий материал; 3 – перфорированное покрытие); в – реактивного глушителя; г – абсорбционного глушителя (1 – патрубок, 2 – камера, звукопоглощение)

В зависимости от использования дополнительного источника энергии все средства защиты от шума делятся:

- на пассивные, в которых дополнительный источник энергии не используется;
- активные, в которых дополнительный источник энергии используется.

На рабочих местах, где не удается добиться снижения шума до допустимых уровней техническими средствами или где это нецелесообразно по технико-экономическим соображениям, следует применять средства индивидуальной защиты от шума.

Основное назначение СИЗ – ослабить звуки, воздействующие на слуховую мембрану наружного уха, а следовательно, и колебания чувствительных элементов внутреннего уха. Никто не знает, когда люди впервые обнаружили, что, закрывая ладонями или пальцами уши или отверстие слухового канала, можно эффективно уменьшить уровень нежелательного звука – шума, но этот известный на протяжении веков метод оказался единственным способом защиты от громкого звука. Наиболее эффективным решением проблемы защиты слуха в настоящее время является контроль уровня шума в слуховом канале. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и всей нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Их эффективность (звуковое заглушение), как правило, максимальна в области высоких частот, наиболее вредных и неприятных для человека.

Необходимо отметить, что звуковые колебания воспринимаются человеком не только непосредственно через орган слуха, но и через череп путём костной проводимости. Поэтому средства защиты только органа слуха не позволяют полностью устранить передачу звуковой энергии.

Эффект применения СИЗ особенно заметен у рабочих с малым стажем работы в шумных условиях, когда потеря слуха невелика. Однако и для лиц с нарушенным слухом применение СИЗ не только предотвращает дальнейшее ухудшение слуха, но может привести и к некоторому его улучшению. СИЗ способствует профилактике заболеваний, прямо или косвенно связанных с воздействием интенсивного шума (тугоухость, шумовая болезнь нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем и др.), а также улучшению работоспособности человека.

Некоторые виды СИЗ приведены на рис. 10.

Вкладыш являются простейшим типом СИЗ. Они изготавливаются нескольких типоразмеров из винила, силикона, составов на основе эластомеров, волокнистых материалов, воска, штапельного стекловолокна, упругих пеноматериалов с замкнутыми порами и других мягких эластичных материалов (резины). Существуют вкладыши из достаточно мягкого материала, форму которых можно изменять в зависимости от индивидуальных особенностей слухового канала. В отечественной практике наибольшее распространение

получили вкладыши “Беруши”, изготовленные из волокнистого материала. Противошумные вкладыши вставляют в наружный слуховой канал. Выпускают разнообразные модели вкладышей различной формы и размера, приемлемые для большинства людей.



Рис. 10. Характерные типы средств индивидуальной защиты от шума

Полувкладыши, также называемые колпачками, носят на наружном отверстии слухового канала. Использование полувкладышей аналогично пальцам, которые закрывают наружное отверстие слухового канала. Полувкладыши изготавливают одного размера, который рассчитан на использование большинством людей. Это средство защиты удерживается на ухе с помощью легковесной дужки.

Эффективность вкладышей в низкочастотной области ограничена kostной проводимостью. На более высоких частотах их эффективность можно повысить увеличением массы, что не всегда выполнимо. Вкладыши вызывают определённую степень неудобства при их использовании.

Заглушающие наушники являются аналогами кожуха и имеют более высокую (в среднем на 10 дБ) эффективность по сравнению с вкладышами, однако менее удобны в эксплуатации. Основное назначение наушников заключается в том, чтобы закрывать околоушную область чашками для экранирования и снижения уровня шума. Наушник состоит из двух корпусов и оголовья. Корпус изготавливают из пластмассы, внутри которой или размещают слой звукоизолирующего материала, или заполняют его жидкостью (например, глицерином), который эффективно поглощает звук, в результате чего достигается более эффективное ослабление шума на частотах выше 2000 Гц. Большинство наушников позволяют ослаблять шум, проникающий в слуховой канал за счёт костной проводимости, приблизительно до 40 дБ в диапазоне частот свыше 2000 Гц. Чашки полностью закрывают ушные раковины, причём специальная подушка обеспечивает герметизацию заушной области. Для более плотного прилегания на внутренней поверхности, обращённой к голове, устанавливают мягкие протекторы. Устанавливается также определённая масса наушников и сила их прижимания к голове. При увеличении силы прижатия их эффективность возрастает, масса таких устройств не должна превышать 350 г. В других случаях наушники могут крепиться к "жёсткой каске". По сравнению с простыми наушниками указанная "жёсткая" конструкция не позволяет обеспечить плотный контакт с любым типом головы, и поэтому эффективность защиты от шума снижается.

Активное уменьшение шума – известное направление техники, которое получило развитие в последних моделях средств защиты функции слуха. В некоторых устройствах происходит опрокидывание фаз звукового сигнала в чашках наушников, и этот преобразованный сигнал используется для гашения входящего звукового сигнала. Работа других устройств основана на улавливании звукового сигнала снаружи чашек наушника. При этом осуществляется разделение сигналов, т. е. преобразование спектральной характеристики звукового сигнала с целью ослабления интенсивности его воздействия и использование шумовой составляющей звукового сигнала с опрокинутой фазой. С помощью электронной схемы синхронизации на чашки наушника одновременно поступает звуковой сигнал с опрокинутой фазой и шумовой фон окружающей среды. Активное уменьшение шума ограничивается низкочастотными шумами с частотой ниже 1 000 Гц, причём максимальное ослабление на 20...25 дБ осуществляется на частоте 300 Гц или ниже.

Шлемы обеспечивают самую большую защиту от шума, их эффективность на высоких частотах на 8 дБ выше, чем у наушников. Шлем закрывает большую часть черепа, что предотвращает проникновение звука через кости черепа (костная проводимость). Его чаще всего применяют для защиты работающих в условиях интенсивного высокочастотного шума.

Активная защита от шума

В активных средствах защиты от шума (вибрации) используется принцип интерференции звука (вибрации). *Интерференция* – наложение в пространстве (на поверхности) двух или нескольких звуковых (вибрационных) волн, при котором в разных точках пространства (поверхности) получается ослабление результирующей волны. Если в пространстве (на поверхности) распространяются две волны, то в каждой точке результирующее колебание представляет собой геометрическую сумму колебаний, соответствующих каждой из складывающихся волн (принцип суперпозиции).

Простейший случай интерференции – сложение двух волн одинаковой частоты. Если колебание происходит по синусоидальному закону, то амплитуда результирующей волны в какой-либо точке пространства определяется как:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \cos\varphi},$$

где A_1, A_2 – амплитуды складывающихся волн соответственно; φ – разность фаз между волнами.

При направлении звуковых волн в противофазе ($\varphi = 180^\circ$) и равенстве амплитуд $A_1 = A_2$ суммарная амплитуда $A = 0$.

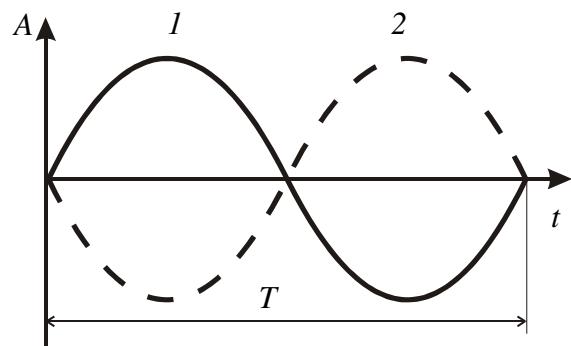


Рис. 11. Схематичная иллюстрация интерференции:

1 – тональный звук; 2 – звук в противофазе

Суть данного метода нетрудно понять из схемы, приведённой на рис. 11. При наложении друг на друга тональных составляющих (одна из которых условно показана на рисунке в виде синусоиды) в противофазе происходит процесс взаимного уничтожения звуковых колебаний.

Принципиальная схема устройства активной защиты от шума показана на рис. 12. Из него видно, что звук от источников шума (первичный звук), воспринимается микрофоном и передаётся на систему,

где происходит анализ спектра, поворот фазы и усиление сигнала. В этом же блоке присутствует и управляющее устройство. Вторичный звук блоком динамиков излучается в противофазе к первичному звуку. При наложении звуковых волн в пространстве наблюдается зона тишины.

В последние годы различные устройства для активного гашения звука (вибрации) начали выпускаться серийно и нашли широкое применение для снижения шума (вибрации) транспортных средств, различных агрегатов и систем. Известен положительный пример активного подавления шума в

салоне автомобилей “Опель”. Значительные затраты средств фирмы на создание специальной акустической лаборатории (34 млн марок) и привлечение специалистов по акустике, позволившие создать систему активного управления шумом за счёт создания “противозвуков”, окупились и позволили получить не только социальный, но и экономический эффект.

В связи с жёсткими нормами на шум при выполнении творческих видов работ и программирования большое внимание уделяется борьбе с акустическим шумом электронного офисного оборудования и ПЭВМ, которые постоянно находятся на рабочем месте пользователя или в рабочем помещении. Известны примеры активного подавления шума матричных принтеров, в результате чего шум от них значительно уменьшился.

Немалую лепту в общий акустический климат наряду с матричными принтерами вносят и системы воздушного охлаждения ПЭВМ. Шум вентиляторов складывается из аэродинамической и механической составляющих. Аэродинамический шум вызывается потоком воздуха в поточной части вентилятора и в примыкающих воздуховодах. Пульсации давления вызывают как воздушный шум, распространяющийся по каналам охлаждения и выходящий наружу через воздухораспределительные устройства и стенки воздуховодов, так и структурный шум, который, распространяясь по конструктивным элементам, практически не поддаётся активному гашению.

Звукоизоляция и звукопоглощение

Понятия “звукоизоляция” и “звукопоглощение” на практике иногда отождествляются, однако это принципиально разные способы защиты от шума. На рис. 13 показана схема распространения звука от источника к человеку и прохождения звука через преграду.

Согласно представленной схеме уравнение баланса звуковой энергии выглядит так: $I_{\text{пад}} = I_{\text{погл}} + I_{\text{отр}} + I_{\text{пр}}$, т. е. интенсивность падающего звука $I_{\text{пад}}$ равна сумме интенсивности поглощённого $I_{\text{погл}}$, отражённого $I_{\text{отр}}$ и прошедшего $I_{\text{пр}}$ звука.

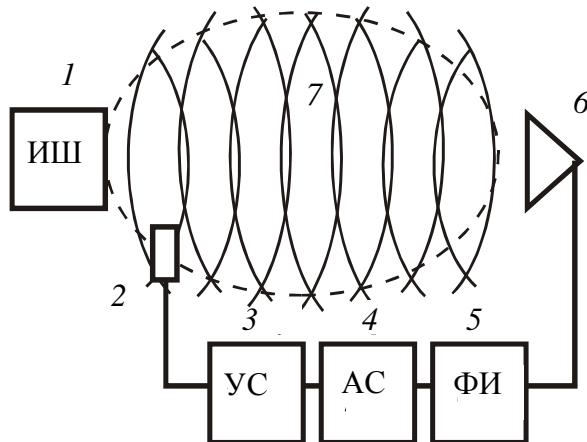


Рис. 12. Схема устройства активной шумозащиты: 1 – источник шума; 2 – микрофон; 3 – усилитель; 4 – анализатор спектра; 5 – фазоинвертор; 6 – блок динамиков; 7 – зона защиты

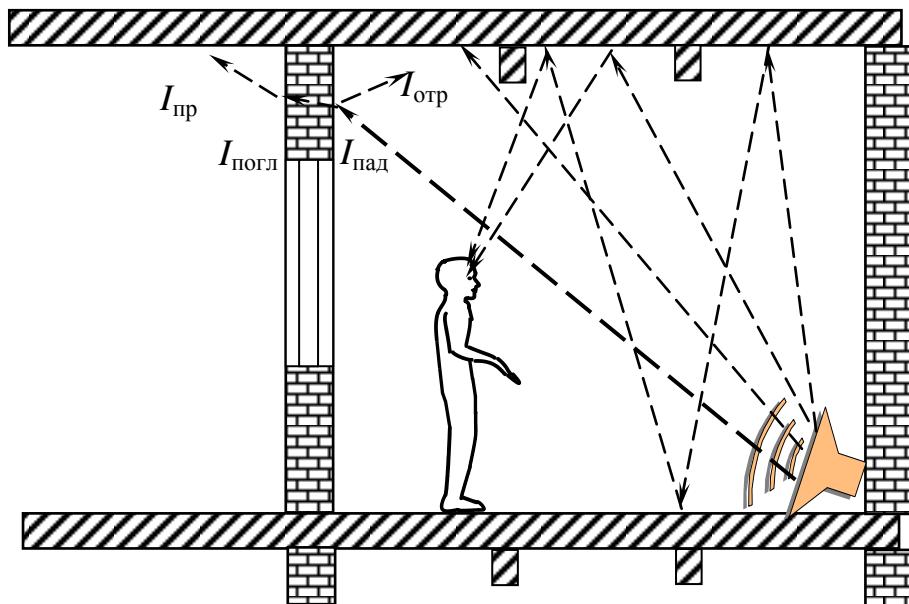


Рис. 13. Схема падения звука и его прохождения через преграду

Отношение интенсивности прошедшего звука к интенсивности падающего называется *коэффициентом звукопроводности*:

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад.}}$$

Звукоизоляцией называется величина, обратная звукопроводности. Звукоизоляция обозначает процесс отражения звука и служит для того, чтобы не пропускать звук через преграду. Значение звукоизоляции ЗИ, дБ, определяется следующим образом:

$$\text{ЗИ} = 10 \lg \frac{1}{\tau}.$$

Коэффициент звукопоглощения определяется отношением интенсивности поглощаемого в конструкции звука к интенсивности падающего:

$$\alpha = I_{\text{погл}} / I_{\text{пад.}}$$

Как правило, для целей звукоизоляции служат твёрдые материалы, не пропускающие звук из одного объёма в другой. Поглощение звука в изолирующей конструкции может быть небольшим, её основной эффект основан на отражении звука от конструкции.

Звукопоглощающие материалы и конструкции служат для поглощения звука как в объёме, где расположен источник звука, так и в соседних объёмах. Для них, как правило, используются материалы, в которых происходит переход звуковой энергии в тепловую. Чаще всего это пористые и рыхлые волокнистые материалы, например, маты из ваты из супертонкого

стекловолокна, базальтового волокна и т. д. Падающие звуковые волны вызывают колебание воздуха в порах материала. Вследствие вязкости воздуха колебание его в таких порах сопровождается трением, и кинетическая энергия колеблющегося воздуха переходит в тепловую. Энергия, переносимая звуковыми волнами при уровнях, с которыми приходится иметь дело даже в очень шумных производствах, настолько мала, что увеличение температуры любого материала, полностью поглощающего звук, происходит на тысячные доли градуса.

Звукопоглащающие материалы принято характеризовать коэффициентом звукопоглощения α . Коэффициент звукопоглощения конструкции зависит от частоты падающих волн и от угла их падения. При использовании звукопоглащающих облицовок важен так называемый диффузный коэффициент звукопоглощения, усреднённый по разнообразным углам падения звуковых волн. Обычно указывается диффузный коэффициент звукопоглощения для частот 60, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, иногда строят частотные зависимости коэффициента звукопоглощения.

Увеличение толщины материала l приводит к увеличению коэффициента звукопоглощения на более низких частотах. Объясняется это тем, что для звукопоглощения важна не абсолютная длина пути звука в материале, а длина пути по отношению к длине звуковой волны λ . При увеличении толщины в звукопоглотителе понижается частота, на которой сохраняется то же отношение l/λ . Для каждого материала существует некая предельная толщина $l_{\text{пр}}$, превышение которой нецелесообразно, так как не приводит к заметному увеличению поглощения. Эти предельная толщина зависит от сопротивления материалов продуванию:

$$r = \frac{\Delta p}{vh} ,$$

где Δp – разность воздушных давлений по обе стороны слоя пористого материала, продуваемого потоком воздуха, v – скорость воздушного потока вне материала, h – толщина слоя пористого материала.

В литературе приводятся частотные характеристики звукопоглощения, относящиеся как к случаю, когда поглащающий материал плотно прилегает к поверхности твердой стенки, так и для случая, когда звукопоглотитель установлен с воздушным зазором относительно стенки или, как говорят, на “относе”. В результате, при правильном подборе параметров пористого слоя получается примерно такая же частотная характеристика звукопоглощения, как у сплошного пористого слоя, имеющего толщину, равную толщине пористого слоя плюс воздушный промежуток.

Звуковые волны при падении на жёсткую отражающую поверхность совместно с отражёнными образуют систему стоячих волн, ближайшая пучность скорости которых находится на расстоянии $\lambda/4$ волны от отражающей

поверхности. Наибольшее поглощение получается, когда середина пористого слоя находится в этой пучности, т. е. при частоте

$$f = c/(4l),$$

где c – скорость звука в воздухе; l – расстояние от середины пористого слоя до отражающей поверхности.

Выше указанной частоты диффузный коэффициент звукопоглощения остаётся примерно постоянным.

Облицовка части внутренних поверхностей помещения звукопоглощающим материалом или конструкцией, а также размещение в помещении *штучных* (объёмных) звукопоглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объёмные звукопоглощающие тела различной формы, называется *акустической обработкой*.

Эффективности звукопоглощающей обработки рассчитывается по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1}{B},$$

где B и B_1 – постоянные помещения до и после его акустической обработки, м^2 :

$$B_1 = \frac{A + \Delta A}{1 - \alpha_1}.$$

Здесь α_1 – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения, определяемый соотношением

$$\alpha_1 = \frac{A + \Delta A}{S},$$

где S – общая суммарная площадь поверхностей помещения, ΔA – величина суммарного добавочного поглощения, вносимого конструкцией звукопоглощающей облицовки или штучными поглотителями

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}} + A_{\text{шт}} n.$$

Здесь $\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки; $S_{\text{обл}}$ – площадь этой конструкции; $A_{\text{шт}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя; n – количество штучных поглотителей в помещении.

Эквивалентная площадь звукопоглощения A , не занятая звукопоглощающей облицовкой, определяется выражением

$$A = \alpha(S - S_{\text{общ}}),$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки.

Величина снижения шума в зоне прямого звука рассматривается по более сложным зависимостям в области средних частот. Её значение не превышает 4...5 дБ. В зоне отражённого звука эти значения не превосходят 10...12 дБ. При необходимости снижения шума на большее значение звукопоглощающие облицовки следует применять совместно с другими мероприятиями по шумоглушению.

Применение акустической обработки помещений приводит к значительному улучшению самочувствия работающих, так как субъективно человек значительно лучше переносит шум в том случае, если легко определить направление, по которому приходит звук от источника.

Акустически обработанные поверхности помещения и штучные поглотители принижают интенсивность отражённых звуковых волн. Штучные звукопоглотители, если они расположены близко к источнику шума, частично уменьшают также и интенсивность прямого звука.

Целесообразность применения звуковых облицовок в помещении для снижения шума определяют из следующих соображений. Принято считать целесообразной акустическую обработку помещений в тех случаях, когда до её применения средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$ в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц не превышает 0.25:

$$\bar{\alpha} = \frac{B}{B + S}; \quad \bar{\alpha} = \frac{A}{S_{\text{общ}}} \leq 0.25,$$

где $B = A / (1 - \alpha_{\text{ср}})$ – постоянная помещения; A – эквивалентная площадь звукопоглощения, т. е. площадь поверхности с коэффициентом звукопоглощения, равным 1, при равномерном распределении звука могли бы поглотить такое же количество энергии, как вся поверхность помещения и находящиеся в ней предметы.

Принято определять все характеристики, полагая постоянную помещения первичной величиной, полученной экспериментально на основании обобщения результатов измерений во многих помещениях, используя номограмму зависимости B от объёма помещений для различных их видов.

Для помещений с однотипным оборудованием, когда известен усреднённый спектр звукового давления, а также для помещений без собственных источников шума конструкции звукопоглощающих облицовок допускается выбирать без предварительного расчёта. Конструкцию звукопоглощающих облицовок подбирают по таблице акустических характеристик, у которых частотные характеристики реверберационного коэффициента звукопоглощения по возможности идентичны спектру звукового давления в рассматриваемом помещении и не имеют завала в области высоких частот.

Величины снижения уровней звукового давления могут быть определены только в зоне отражённого поля, когда $r_{\min} > r_{\text{пр}}$, где $r_{\text{пр}}$ – предельный радиус – расстояние от источника шума, на котором уровень звукового давления отражённого звука равен уровню звукового давления прямого звука:

$$r_{\text{пр}} = 0.2\sqrt{B_{8000}} .$$

Здесь B_{8000} – постоянная помещения на частоте 8000 Гц.

Эффективность звукопоглощения в помещении тем больше, чем больше площадь акустической облицовки и чем ближе значение коэффициента звукопоглощения к 1.

Для удобства выполнения расчётов в табл. 8 приведены акустические характеристики некоторых материалов (значения коэффициентов звукопоглощения α).

Таблица 8

Звукопоглащающий материал или поверхность	Толщина, мм	Значение α в октавных полосах частот							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	
Плиты ПАО минераловатные, акустические	20	0.02	0.03	0.17	0.68	0.98	0.86	0.45	
Сталь	–	0.01							
Маты из супертонкого базальтового волокна	50	0.1	0.25	0.7	0.98	1.0	1.0	1.0	
Маты из отходов капронового волокна	50	0.02	0.15	0.46	0.82	0.92	0.93	0.93	
Войлок строительный	25	0.05	0.15	0.22	0.54	0.63	0.57	0.52	
Стеклопластик	–	0.01	0.01	0.12	0.014	0.015	0.016	0.017	
								0.016	

Звукопоглощение находит применение не только для снижения отражённого звука в помещениях, но является обязательным элементом таких конструкций защиты от шума, как звукоизолирующие кожухи. Звукопоглощение обозначает физический процесс перехода звуковой энергии в тепловую, а коэффициент поглощения α служит мерой звукопоглощения.

Очень важно, что в конструкциях звукоизоляция и звукопоглощение тесно связаны между собой в реальных процессах прохождения звука через звукоизолирующую преграду. Рассмотрим для примера прохождение звука из помещения с источником звука в соседнее (изолированное) (рис. 14).

При непрерывно работающем источнике звука и отсутствии поглощения звуковая энергия стремится к бесконечности, а звукоизоляция преграды – к нулю. Только наличие звукопоглощения в помещениях позволяет реализовать возможность звукоизоляции между ними. Звукопоглощение в реальных условиях может обеспечиваться не только специальными звукопоглащающими покрытиями, но и открытыми проёмами, а также прочими покрытиями, которые не воспринимаются звукопоглащающими (штукатуркой, обоями, деревянными панелями и пр.).

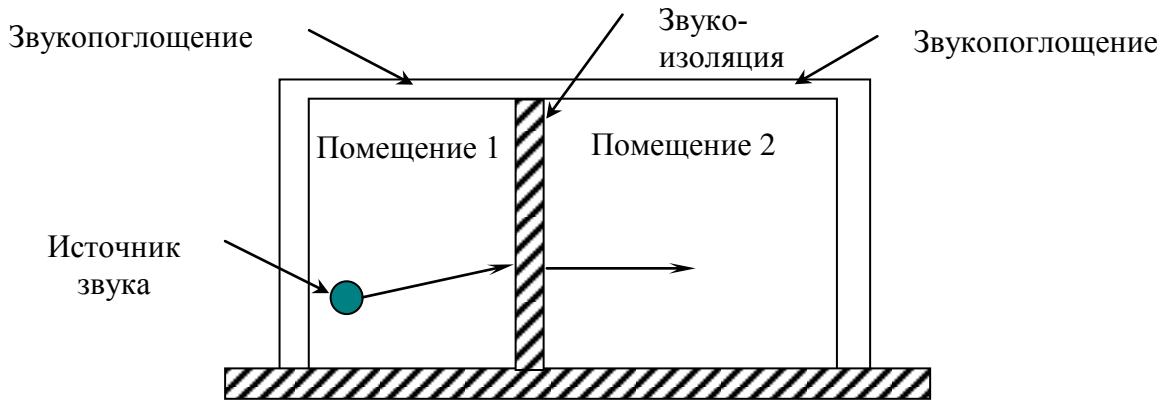


Рис. 14. Схема прохождения звука из одного помещения

Рассмотрим механизм прохождения звука через ограждение. Этот механизм заключается в том, что под воздействием падающих звуковых волн ограждение приводится в колебательное движение и само излучает звук.

Звукоизоляция следует так называемому закону масс, показывающему, что она возрастает с увеличением поверхностной массы преграды. Возрастание составляет 6 дБ на каждое удвоение массы. Эта же закономерность возрастаания звукоизоляции проявляется при двукратном увеличении частоты. Поверхностная масса m – очень важная характеристика звукоизоляции $m = \rho_{\text{пр}} h_{\text{пр}}$, где $\rho_{\text{пр}}$ – удельная масса преграды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $h_{\text{пр}}$ – её толщина, м.

Зависимость звукоизоляции от массы и частоты можно представить в следующем виде

$$\text{ЗИ} = 20 \lg(mf) - 60. \quad (1)$$

На определённых частотах закон массы нарушается вследствие так называемого пространственного резонанса, связанного с усиленным звукоизлучением ограждения и с влиянием помещения, в котором расположена звукоизолирующая преграда. Наибольший провал звукоизоляции наблюдается на резонансной (или граничной) частоте ($f_{\text{гр}}$), что видно на рис. 15. Определим значение резонансной частоты (частоты совпадения), когда длина звуковой волны в воздухе равна длине изгибной волны в преграде (Гц):

$$f_{\text{гр}} = \frac{c^2}{1.8c_{\Pi}h_{\text{пр}}},$$

где c_{Π} – скорость продольной волны в преграде, м/с.

Когда звукоизоляция ухудшается, значение $f_{\text{гр}}$ возрастает с уменьшением толщины преграды, а также с увеличением её изгибной жёсткости. Например, для стали $f_{\text{гр}} = 12\,000/h_{\text{пп}}$.

Увеличения звукоизоляции в области $f_{\text{гр}}$ можно добиться внесением потерь в изолирующую пластину (ограждение) за счёт изменения жёсткости материала или покрытия пластины вибродемптирующими материалами. Итак, обобщая вышеизложенное, можно сказать, что звукоизоляция возрастает при увеличении толщины, поверхностной массы, коэффициента потерь ограждения и уменьшении его изгибной жёсткости.

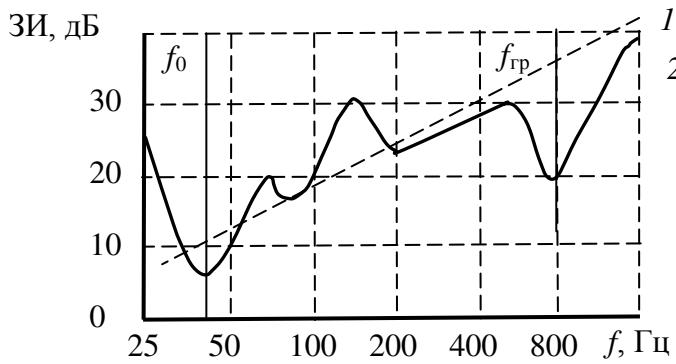


Рис. 15. Зависимость звукоизоляции от частоты звука

также характер защемления и размеры ограждения. Звукоизоляция возрастает с увеличением размеров. Дополнительная звукоизоляция достигается при замене одностенных ограждений двустенными (равной поверхности массы) за счёт появления дополнительной звукоизоляции воздушного промежутка. Звукоизоляция ухудшается при наличии в ограждении рёбер жёсткости (кроме области инфразвуковых частот), а особенно при наличии щелей, отверстий и проёмов.

Расчёт звукоизоляции

Формула (1) позволяет выполнить приблизительный расчёт звукоизоляции, так как она рассматривает весьма идеализированную картину однослоиного ограждения (без учёта снижения звукоизоляции на критической частоте, а также снижения за счёт проёмов щелей и отверстий). В настоящее время существует большое разнообразие формул и методов расчёта, позволяющих получить эффективность звукоизоляции с большей или меньшей степенью достоверности. Среди всего многообразия подходов к расчёту однослоиной звукоизоляции можно выделить аналитические и графоаналитические методы расчёта. При этом разные расчётные модели получены для тонких (легких) ограждений (пластин), где звук распространяется преимущественно в виде изгибных волн, т. е. пластин со сравнительно небольшой поверхностной массой и тяжёлых ограждающих конструкций (более $100 \text{ кг}/\text{м}^2$), например, из кирпича, бетона и т. д.

Для тонкостенных конструкций примем, что формула (1) справедлива до $f < 0.5f_{\text{гр}}$. Для значений $f > 0.5f_{\text{гр}}$ звукоизоляция определяется выражением

$$\text{ЗИ} = 20 \lg\left(\frac{\pi f m}{\rho c}\right) + 5 \lg \frac{f}{f_{\text{гр}}} + \lg \eta + 3,$$

где η – коэффициент потерь, характеризующий внутренние потери в ограждении (данные о коэффициентах потерь можно найти далее).

Для расчёта тяжёлых ограждений предпочтительно применять графоаналитический метод. Этот метод основан на кусочно-линейном представлении хода кривой звукоизоляции.

Звукоизоляция ограждений из кирпича, бетона, железобетона и других строительных материалов ($100 < m < 1000 \text{ кг}/\text{м}^2$) рассчитывается в следующем порядке.

1. По горизонтальной оси через равные отрезки откладываются среднегеометрические значения октавных полос, Гц, по вертикальной – значения звукоизоляции ЗИ, дБ.

2. Далее строится частотная характеристика звукоизоляции ограждения, состоящая из двух участков АВ и ВС (рис. 16).

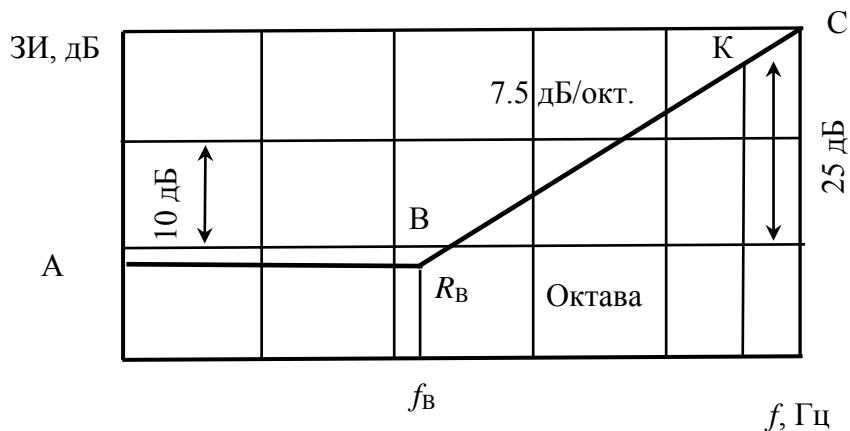


Рис. 16. Построение частотной характеристики звукоизоляции плоского однослойного ограждения ($m > 100 \text{ кг}/\text{м}^2$)

Для этого из рис. 17 по поверхностной массе ограждения m и его толщине h , см определяются координаты точки В: ЗИ_В и $f_{\text{в}}$. Из точки В влево проводится горизонтальная прямая ВА до пересечения с осью координат, а вправо проводится прямая с наклоном 7.5 дБ/окт.

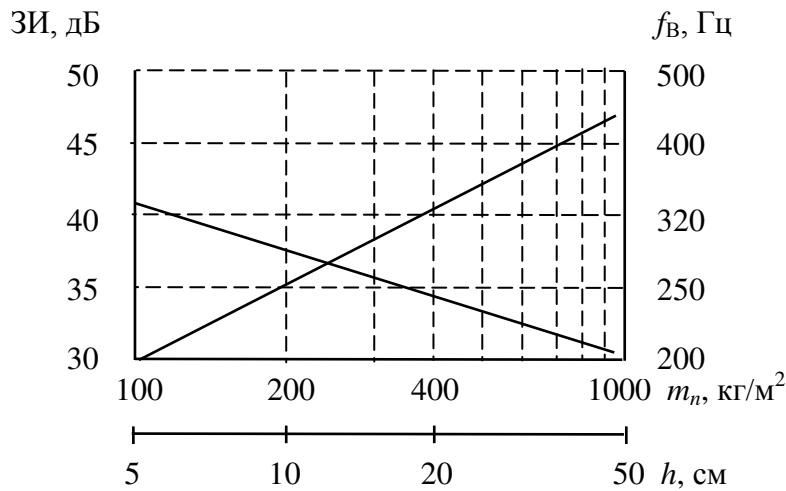


Рис. 17. Графики для нахождения координаты точки В частотной характеристики звукоизоляции ограждения

Пример. Построить частотную характеристику звукоизоляции кирпичной стены толщиной 0.12 м. Значения объёмной массы кирпича (из табл. 9) $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 9

Материал	Плотность, кг/м ³
Бетон, железобетон	2600
Кирпич	1700
Шлакобетон	2000
Сталь	7800
Стекло	2400
Стекло органическое	1200
Асбоцемент	2300
Сухая штукатурка	2400

1. Определим поверхностную массу $m = \rho h = 1700 \cdot 0.12 = 204 \text{ кг/м}^2$.
2. По данным рис. 17 находим координаты точки В: $f_B = 290 \text{ Гц}$, $ЗИ_B = 36 \text{ дБ}$.
3. Точку В наносим на график (рис. 18).

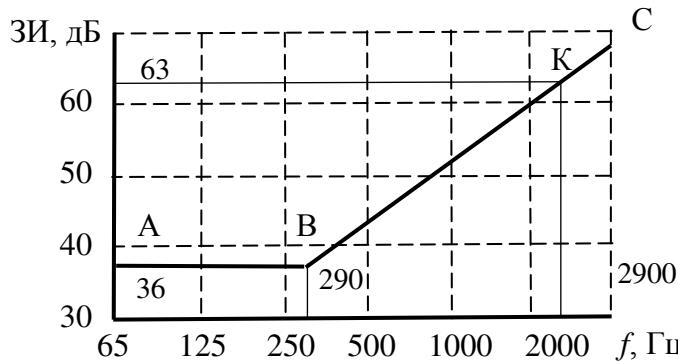


Рис. 18. Пример решения задачи

4. Из точки В влево проводим горизонтальную прямую, а вправо вверх – прямую с наклоном 7.5 дБ/окт. Для этого на графике отмечаем точку К с координатами: $f_K = 10f_c = 2900 \text{ Гц}$, $ЗИ_K = ЗИ_B + 25 = 36 + 25 = 61 \text{ дБ}$. Прямая ВК имеет наклон 7.5 дБ/окт.

Существуют методы построения частотных характеристик звукоизоляции плоского тонкого (лёгкого) ограждения (например, из стали, стекла). Такая характеристика имеет три характерные частотные области (рис. 19): область, близкая к закону масс (AB), область в области резонанса совпадения (BC) и область выше резонанса совпадения (CD).

Частотная характеристика звукоизоляции лёгкого ограждения строится следующим образом. По данным табл. 10 находят координаты точек В и С. Точки наносят на график и соединяют прямыми линиями. Далее из точки В проводят вниз влево прямую ВА с наклоном 4 дБ/окт до пересечения с осью ординат, а из точки С проводят прямую вправо вверх с наклоном 8 дБ/окт.

Таблица 10

Материал	f_B	ЗИ _B	ЗИ _C
Сталь	6000 /h	39	31
Силикатное стекло	8000 /h	35	29
Органическое стекло	17 000 /h	37	30

Примечание. Абсцисса точки С – $f_c = 2f_B$; h – толщина ограждения, мм

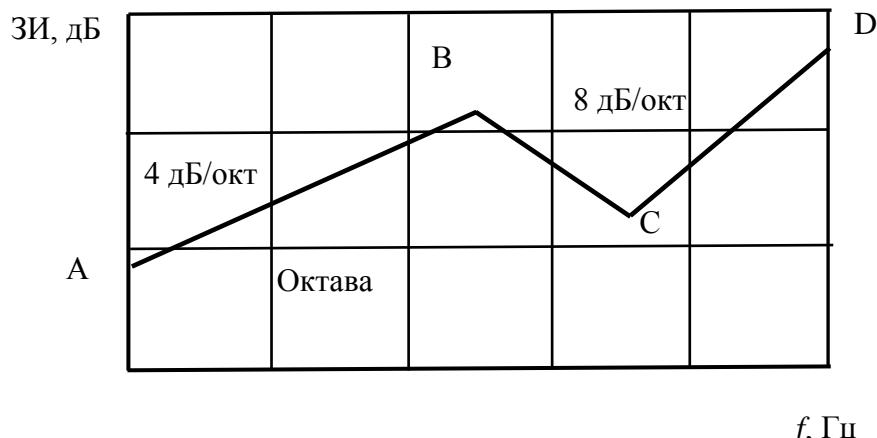


Рис. 19. Построение частотной характеристики звукоизоляции тонкого (лёгкого) ограждения

Значения звукоизоляции некоторых материалов, полученные экспериментально, приведены в табл. 11.

Следует различать собственную изоляцию материала и фактическую изоляцию кожуха ЗИ_{фак}. Фактическая изоляция кожуха определяется как разность уровней звуковых давлений, измеренных в одной и той же точке рабочей зоны до и после заключения источника шума в кожух. Если кожух изготовлен из одного материала $ZI_{фак} = ZI_{соб} + 10 \lg \alpha$, где α – коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей кожуха.

Таблица 11

Слоистые и двойные	Одинарные	Тип ограждения	Материал	Толщина, мм	ЗИ, дБ, в третьоктавных полосах частот со среднегеометрическими значениями, Гц															
					100	125	160	200	250	320	400	500	640	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
Сталь			Сталь	1.0	15	15	18	17	18	17	23	25	26	29	31	34	37	38	40	
				3.0	20	23	29	27	27	27	29	32	34	37	38	40	41	42	42	41
Алюминий			Алюминий	3.0	11	10	18	17	20	21	23	23	25	26	28	29	30	31	31	31
Оргстекло			Оргстекло	5.0	15	15	18	16	17	18	20	21	23	24	26	28	30	32	34	35
Фанера			Фанера	10.0	20	16	17	15	18	21	21	23	24	26	27	28	29	26	26	25
Алюминий с в/д слоем			Алюминий с в/д слоем	2.0 + 2.0	15	15	20	18	20	22	23	25	21	23	24	30	32	34	36	37
Стекло			Стекло	$h = 5, d=20$	18	16	16	22	24	26	24	28	33	35	38	39	40	37	30	35
Алюминий			Алюминий	$d=100, h=2$	11	10	16	17	23	21	25	30	34	36	40	41	45	47	50	53

Примечание: в/д – вибродемпфирование; h – толщина слоя; d – толщина воздушного промежутка.

Если $\alpha < 1$, то $ZI_{\text{фак}} < ZI_{\text{соб}}$, так как при заключении источника шума внутрь кожуха из-за многократных отражений от стен уровень звукового давления возрастает и $ZI_{\text{фак}} \cong ZI_{\text{соб}}$ только при $\alpha \cong 1$.

Влияние на звукоизоляцию отверстий и щелей

Наличие отверстий, щелей и проёмов существенно снижает эффективность звукоизоляции. При равной площади проём больше снижает звукоизолирующую способность звукоизолирующего ограждения чем щель, а щель –

больше чем отверстие (рис. 20). При сравнимом или большем поперечном размере проёма a по сравнению с длиной звуковой волны λ фронт проходящих через проём звуковых волн будет плоским, т. е. весь звук пройдёт через проём. Если имеет место большое соотношение λ/a (например, щель), то прошедшая волна будет цилиндрической или сферической, часть энергии отразится, не пройдя через щель.

Снижение звукоизоляции ΔZI при наличии проёма, щели и отверстия зависит от их площади. При наличии проёма (размер a сравним с длиной звуковой волны) оно определяется как

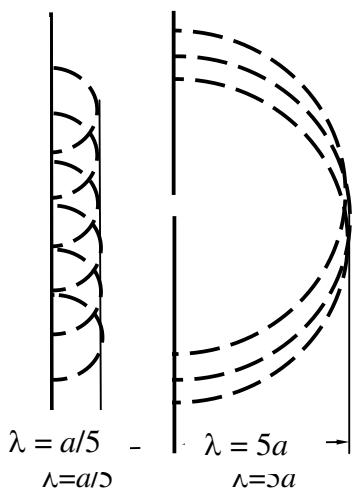


Рис. 20. К определению звукопроводности отверстий различного диаметра

$$\Delta ZI_{пр} = 10 \lg \frac{1 + 10^{0.1 ZI_{огр}} S_{пр} / S_{огр}}{1 + S_{пр} / S_{огр}},$$

где $S_{пр}$ – площадь проёма, м²; $S_{огр}$ – площадь ограждения, м²; $ZI_{огр}$ – звукоизоляция ограждения, дБ.

В практике бывают случаи, когда проём закрыт конструкцией, звукоизоляция которой меньше чем звукоизоляция ограждения (это характерно для незвукоизолированных окон и дверей). Снижение звукоизоляции ограждения определяется как

$$\Delta ZI_{огр} = 10 \lg \left[1 + \frac{S_o}{S_{огр}} (10^{0.1 (ZI_{огр} - ZI_o)}) - 1 \right],$$

где S_o – площадь окна или двери, м²; ZI_o – звукоизоляция окна или двери.

Пример. Пусть 0.1 часть ограждения обладает звукоизоляцией на 10 дБ меньшей чем основная. Определить ухудшение звукоизоляции.

$$\Delta ZI_{огр} = 10 \lg [1 + 0.1 (10^{0.1 (10)}) - 1] = 2.8 \text{ дБ.}$$

Ответ: ухудшение звукоизоляции ограждения составит почти 3 дБ.

Заметим, если разница звукоизоляции будет составлять 20 дБ, то снижение звукоизоляции составит 10 дБ.

Акустические экраны

Акустические экраны применяются для снижения шума агрегатов, к которым по условиям эксплуатации необходим постоянный доступ обслуживающего персонала. Самое широкое распространение акустические экраны получили для защиты жилой застройки от шума автомобильного и железнодорожного транспорта. Акустический эффект данного экрана определяется созданием зоны акустической тени за счёт отражения звука от его поверхности, обращённой к источнику шума. При этом наблюдается частичное огибание звуковой волной экрана за счёт дифракции (рис. 21). Эффективность экрана возрастает при увеличении угла дифракции и уменьшении длины звуковой волны. Угол дифракции является универсальной характеристикой экрана, связывающей его размеры и расположение в пространстве. При увеличении угла дифракции на каждые 10° эффективность возрастает приблизительно на 1 дБА (рис. 22).

Расчёт эффективности экранов имеет свои особенности. С небольшими (до 60°) углами дифракции её можно ориентировочно определить по формуле, предложенной Д. Маековой:

$$\Delta L_{экр} = 10 \lg 40N - 10 \lg n,$$

где N – число Френеля $N = (A + B - d)/\lambda$ (стороны треугольника A, B, d показаны на рис. 21); n – число рёбер акустического экрана, через которые проходит звук в расчётную точку; λ – длина звуковой волны, м.

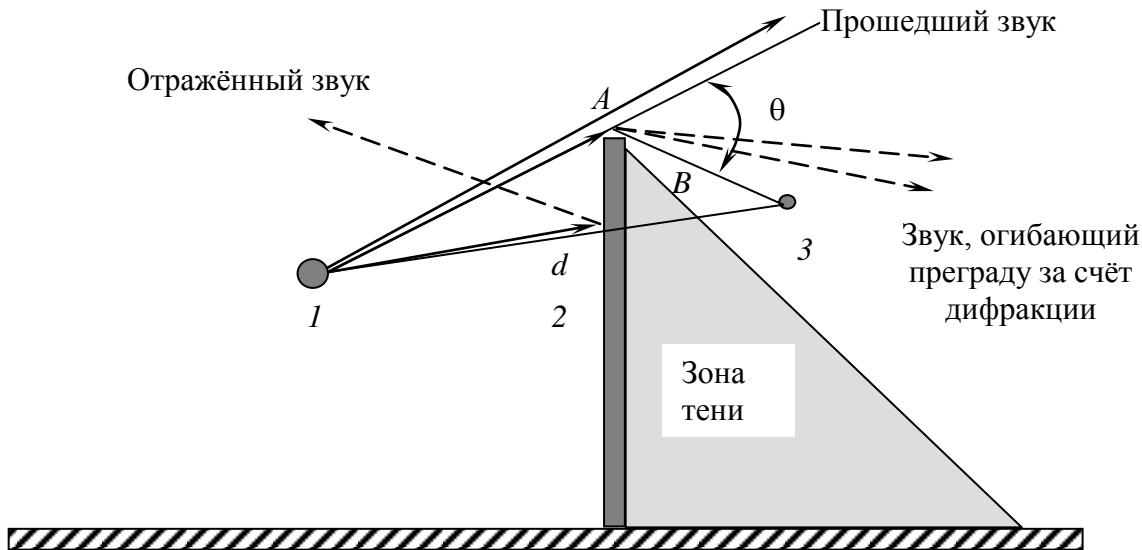


Рис. 21. Дифракция звуковых волн около экрана ограниченного размера:
1 – источник шума; 2 – акустический экран (θ – угол дифракции экрана);
3 – расчётная точка; d – расстояние между источником шума и расчётной точкой

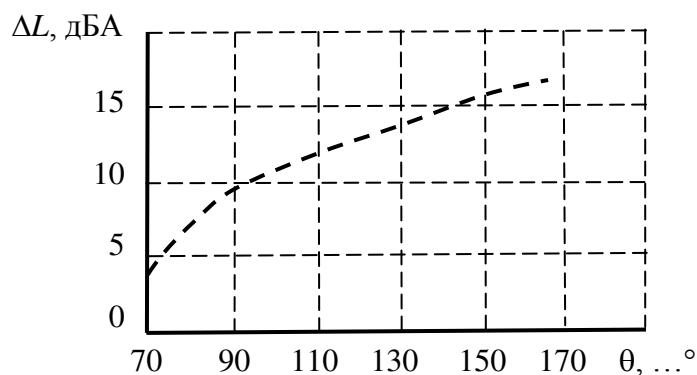


Рис. 22. Зависимость эффективности экрана от угла дифракции

На эффективность экрана оказывают влияние его размеры, материал, из которого он изготавливается, наличие и расположение звукопоглощающей облицовки; наличие отражающих поверхностей вблизи экрана и пр.

В большинстве случаев экраны и кожухи являются эффективным средством снижения шума на высоких частотах. Снизить шум на низких частотах значительно сложнее. Практика показывает, что наиболее эффективными в этом случае могут быть комбинированные средства защиты, например, применение двойного кожуха, установка двойного кожуха на виброизолирующие прокладки, армирование вибрирующих частей эпоксидным компаундом или бетоном, фиксирование кожухов на фундаментные болты и др.

Техническое нормирование шума

Для решения вопросов защиты от шума в большинстве случаев недостаточно знать имиссию, поскольку защитные меры должны быть направлены на ограничение эмиссии. Этой цели отвечает техническое нормирование шума. В отличие от санитарных норм, регламентирующих допустимый шум на рабочих местах, зависящий от вида труда, а не от типа источника его образования, единые технические нормы шума для всех видов машин ввести нельзя, так как они должны устанавливаться с учётом назначения машины и её конкретных технических параметров.

Разработка и введение технических норм шума являются первым этапом создания малошумных машин и возможны только на основе единой методики измерений их шумовых характеристик. Основной шумовой характеристикой машины является уровень её звуковой мощности в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц, а вспомогательной – уровень корректированной мощности, т. е. уровень мощности, определённой по результатам измерений уровней звука по шкале “А” шумомера.

Эмиссия характеризует непосредственно источник шума. Существующие стандарты требуют внесения излучаемой акустической мощности P в паспорт оборудования. Этот параметр является существенным при проведении сертификации оборудования. Уровень звуковой мощности L_P , дБ, можно выразить в виде

$$L_P = 10 \lg S + L_p, \quad (2)$$

где S – площадь всей поверхности, окружающей машину, м^2 ; L_p – средний уровень звукового давления или уровень среднеквадратичного значения звукового давления, который определяется по формуле

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right), \quad (3)$$

где n – число измерений.

Уравнением (3) даётся простое приближённое соотношение между уровнем звуковой мощности L_P и средним уровнем звукового давления L_p , что позволяет нам определить уровень звуковой мощности, измеряя уровень звукового давления на воображаемой поверхности, окружающей машину. Строго говоря, уравнение (2) справедливо, когда измерения проводятся в свободном звуковом поле, однако для большого числа практических случаев его можно использовать для измерений в обычных лабораториях, если сделать соответствующие поправки на вклад отражённых звуков, создаваемых ограждениями помещения.

Средний уровень звукового давления в полосах частот $L_{\text{ср}}$, дБ, или средний уровень звука L_{Acp} , дБА, на измерительной поверхности в обычном лабораторном помещении вычисляют по формуле

$$L_{\text{ср}} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right) - k,$$

где L_i – уровень звукового давления в полосе частот, дБ, или уровень звука, дБА, в i -й точке измерения; n – количество точек измерения на измерительной поверхности; k – постоянная, учитывающая влияние отражённого звука от ограждений помещения в полосе частот, дБ, или в уровнях звука, дБА.

Если значения L_i , полученные в n точках измерений, отличаются друг от друга не более чем на 5 дБ (дБА), то величину $L_{\text{ср}}$ вычисляют по формуле

$$L_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i - k.$$

Уровень звуковой мощности в полосах частот L_P , дБ, или корректированный уровень звуковой мощности L_{PA} , дБА, вычисляют по формуле

$$L_P = L_{\text{ср}} + 10 \lg \frac{S}{S_0},$$

где $L_{\text{ср}}$ – средний уровень звукового давления в полосе частот или средний уровень звука на измерительной поверхности; S – площадь измерительной поверхности, м²; $S_0 = 1$ м².

Постоянную k можно рассчитать по формуле

$$k = 10 \lg \left[1 + 4SA_\alpha \left(1 - \frac{A_\alpha}{S_v} \right) \right].$$

Эквивалентную площадь звукопоглощения A_α приближенно вычисляют по формуле

$$A_\alpha = \alpha_s S_v,$$

где S_v – площадь ограждающих поверхностей в помещении, м²; α_s – средний коэффициент звукопоглощения.

Площадь измерительной полусферы $S = 2\pi R^2$.

Поскольку допустимая эмиссия связана с допустимой имиссией определёнными соотношениями, технические нормы требуют установления предельных значений шумовых характеристик машин.

Значения *предельно допустимых шумовых характеристик* (ПДШХ) машин устанавливаются исходя из требований обеспечения на рабочих местах шума, допустимого санитарным нормированием. В случае если значения шумовых характеристик машин, соответствующих лучшим достижениям аналогичной техники, превышает значения ПДШХ, допускается устанавлив-

вать технически достичимые значения шумовых характеристик (ТДШХ) этих машин. Введение ТДШХ позволяет выпускать машины, которые не превышают определённой излучаемой мощности, отбраковывая превышающие последнюю. В этом случае разработчик обязан в документации на машину указать рекомендуемые мероприятия по снижению шума, которые следует провести при эксплуатации данной машины.

Значения ПДШХ, устанавливаемые в уровнях звукового давления для октавных полос частот, определяют для каждой октавной полосы по формуле

$$L_{\text{ПДШХ}} = L_{\text{доп}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L,$$

где $L_{\text{доп}}$ – предельно допустимый уровень звукового давления или предельно допустимый уровень звука на рабочих местах по ГОСТ 12.1.003–83* или на местах нахождения людей по соответствующим нормативам, дБ (дБА); S – площадь измерительной поверхности, м²; $S_0 = 1 \text{ м}^2$; ΔL – поправка на групповую установку машин в типовых условиях эксплуатации, дБ.

Если фактические значения октавных уровней звука или эквивалентных уровней звука на рабочих местах при типовых условиях эксплуатации машины меньше установленных в ГОСТ 12.1.003–83*, то в формулу в качестве L_i должны быть подставлены эти фактические значения.

Поправка ΔL принимается равной 10, 6 и 3 дБ для машин с габаритными размерами, соответственно, до 1.5, 3.5 и 5 м и 0 дБ для машин, устанавливаемых в типовых условиях эксплуатации одинично, и для машин с габаритными размерами свыше 5 м.

В случае если значения шумовых характеристик машины превышают значения ПДШХ, то допускается устанавливать согласованные в установленном порядке ТДШХ. Значение ТДШХ устанавливается по формуле

$$L_{\text{ТДШХ}} = L_{\text{фак}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L,$$

где $L_{\text{фак}}$ – фактические значения октавных уровней звукового давления, дБ; S – площадь измерительной поверхности, м²; $S_0 = 1 \text{ м}^2$; ΔL – поправка на групповую установку, дБ.

ИНФРАЗВУК

Классификация инфразвука и воздействие его на человека

Источниками инфразвука являются медленно работающие машины, дизели, вентиляторы и другие устройства. Естественные генераторы инфразвука – буря и ветер. Было обнаружено, что интенсивный инфразвук с частотой 0.6 Гц создаётся мистралем. В условиях производства инфразвук, как правило, сочетается с низкочастотным шумом, в ряде случаев – и с низкочастотной вибрацией.

Выявить инфразвук на производстве можно по следующим признакам:

- *техническим* – высокая единичная мощность машины при сравнительно низком числе оборотов, ходов или ударов, флюктуация мощных потоков газов или жидкостей, передвижение машин по местности или дорогам и т. д.;
- *конструктивным* – большие габаритные размеры двигателей или рабочих органов, наличие замкнутых объемов, возбуждаемых динамически и т. д.;
- *строительным* – большие площади перекрытий или ограждений источников шума, наличие замкнутых, звукоизолированных кабин и т. д.

По характеру спектра инфразвук подразделяется:

- на широкополосный инфразвук, с непрерывным спектром шириной более одной октавы;
- тональный инфразвук, в спектре которого имеются слышимые дискретные составляющие. Гармонический характер инфразвука устанавливают в октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам инфразвук подразделяется:

- на постоянный инфразвук, уровень звукового давления которого изменяется за время наблюдения не более чем в 2 раза (на 6 дБ) при измерениях по шкале шумомера “линейная” на временной характеристике “медленно”;
- непостоянный инфразвук, уровень звукового давления которого изменяется за время наблюдения не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) при измерениях по шкале шумомера “линейная” на временной характеристике “медленно”.

Для человека инфразвук имеет самые различные последствия, выражающиеся в некоторых случаях в общей слабости, обмороках, параличе и др. Сильный инфразвук, вызывая вибрацию внутренних органов, особенно на резонансных частотах, может привести к остановке сердца, разрыву артерий, селезёнки и т. д.

Нормирование инфразвука

Нормирование инфразвука осуществляется в соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.583–96 “Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки”.

Нормируемыми характеристиками постоянного инфразвука являются:

- уровни звукового давления L_p , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц;
- уровни звукового давления, измеренные по шкале шумомера “линейная”, дБЛин, если разность между уровнями, измеренными по шкалам “линейная” и “А” на характеристике шумомера “медленно”, составляет не

менее 10 дБ. Общий (линейный) уровень звукового давления – величина, измеряемая по шкале шумометра “линейная” или рассчитанная путём энергетического суммирования уровней звукового давления в октавных полосах частот без корректирующих октавных поправок.

В качестве дополнительной характеристики для оценки инфразвука (например, в случае тонального инфразвука) могут быть использованы уровни звукового давления третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16 и 20 Гц; их следует пересчитывать в уровни в октавных полосах частот.

Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, допустимые уровни инфразвука в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки приведены в табл. 12.

Таблица 12

Назначение помещений	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Общий уровень звукового давления, дБЛин
	2	4	8	16	
Работы с различной степенью тяжести и напряжённости трудового процесса в производственных помещениях и на территории предприятий:					
- работы различной степени тяжести;	100	95	90	85	100
- работы различной степени интеллектуально-эмоциональной напряжённости	95	90	85	80	95
Территория жилой застройки	90	85	80	75	90
Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	75

Для гигиенической оценки воздействия непостоянного инфразвука на человека введён эквивалентный уровень звукового давления. Нормируемыми характеристиками непостоянного инфразвука являются эквивалентные по энергии уровни звукового давления $L_{\text{ЭКВ}}$, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц и эквивалентный общий уровень звукового давления, дБЛин, определяемые по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0.1 L_i} \right),$$

где T – период наблюдения, ч.; t_i – продолжительность действия шума с уровнем L_i , ч; n – общее число промежутков действия инфразвука; L_i – логарифмический уровень инфразвука в i -й промежуток времени, дБ.

Эквивалентный (по энергии) общий (линейный) уровень звукового давления $L_{\text{ЭКВ}}$, дБЛин, данного непостоянного инфразвука – уровень постоянного широкополосного инфразвука, который имеет такое же среднеквадрати-

ческое звуковое давление, что и данный непостоянный инфразвук в течение определённого интервала времени.

Для колеблющегося во времени и прерывистого инфразвука уровни звукового давления, измеренные по шкале шумометра “Лин”, не должны превышать 120 дБ.

При воздействии инфразвука на человека в течение суток – в рабочее и нерабочее время – суммарную оценку воздействия следует проводить в соответствии с “Методическими указаниями по гигиенической оценке производственной и непроизводственной шумовой нагрузки”.

Измерение и гигиеническая оценка инфразвука, а также профилактические мероприятия должны проводиться в соответствии с руководством 2.2.4/2.1.8–95 “Гигиеническая оценка физических факторов производственной и окружающей среды”.

В случае непостоянного инфразвукового воздействия рассчитывают эквивалентный уровень (линейный или корректированный) давления инфразвука с учётом поправок (по табл. 13) на время действия, вычитаемых из значения измеренного уровня.

Таблица 13

Время воздействия, ч	8	7	6	5	4	3	2	1	0.5
Поправка, дБ	0	0.6	1.2	2.0	3.0	4.2	6.0	9.0	12.0

При превышении уровней звукового давления над нормативными следует проводить мероприятия по снижению инфразвука. Основным путём снижения следует считать снижение излучения инфразвука в источнике его образования. К сожалению, эффективность снижения распространяющегося инфразвука с помощью звукоизоляции, звукопоглощения и акустического экранирования чрезвычайно мала, что подтверждают ранее приведённые данные по шуму низких частот.

Эффективность снижения инфразвука может быть обеспечена с помощью активных средств подавления звука, например, противофазно направленного инфразвука тех же частот, что и основной инфразвук. Так, в лабораториях, где проводились опыты по исследованию инфразвука, источник последнего снабжался несколькими трубками (звуководами). Длина ззвуководов, направленных в зону облучения, была таковой, чтобы оба проводимых звука в точке облучения были в фазе, а ззвуководы, направленные в зону нахождения исследователя, различались на длину, равную половине длине инфразвуковой волны $\lambda/2$. Несмотря на положительные результаты экспериментальных исследований, реализация метода активного подавления инфразвука затруднительна и требует больших затрат.

ВИБРАЦИЯ

Классификация вибрации и воздействие её на человека

Проблемам защиты от вибрации уделяется большое внимание в связи с тем, что этот вредный производственный фактор

- причиной одной из самых тяжёлых профессиональных болезней – *вибрационной болезни*;
- причиной патологических изменений в тканях и органах или *вibrationoтравмы*;
- источником шума;
- возможной причиной разрушения конструкций и деталей.

Широко известный исторический факт разрушения в результате вибрации Египетского моста в Санкт-Петербурге, после чего все воинские подразделения переходят мост по команде “не в ногу”. Существуют и другие примеры разрушений ответственных конструкций, результаты ослабления контактных соединений электротехнических изделий и т. д., которые явились причиной несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций.

По способу передачи человеку различают *общую* и *локальную вибрацию*. Общая вибрация передаётся через опорные поверхности на теле человека, а локальная вибрация – в основном через руки. К локальной вибрации может относиться также вибрация, действующая на ноги сидящего человека и на предплечья при контакте с вибрирующими поверхностями рабочих столов. За рубежом имеется понятие вибрации, проходящей через всё тело, и вибрации, передающейся через руки.

Вибрация, проходящая через все тело, наблюдается при опоре тела на вибрирующую поверхность (например, при сидении на вибрирующем стуле, стоянии на вибрирующем полу или лежании на вибрирующей поверхности), при всех видах транспортировки и при работе в непосредственной близости от некоторых промышленных механизмов. Влияние вибрации, проходящей через все тело, обычно наиболее заметно в нижнем диапазоне, от 0.5 до 100 Гц. *Вибрация, передающаяся через руки*, оказывает вредное воздействие на более высоких частотах – 1 000 Гц и более. Частоты ниже 0.5 Гц могут стать причиной болезни движения или “морской болезни”. Укачивание может быть вызвано низкочастотным колебанием тела и некоторыми типами вращения тела.

Производственные воздействия вибрации, проходящей через все тело, наблюдаются на транспорте, а также при некоторых производственных процессах. Наземный, морской и воздушный транспорт может вызывать вибрацию, ведущую к недомоганию и влияющую на вид выполняемой работы или приводящую к травме. Наиболее сильную вибрацию и сотрясения могут вызывать наземный транспорт, включая наземные движущиеся механизмы, промышленные грузовые автомобили и сельскохозяйственные тракторы.

Биодинамика. Как и механические конструкции, человеческое тело резонирует частоты с максимальной механической отдачей. Человеческую реакцию на вибрацию нельзя объяснить только с точки зрения одиночной резонансной частоты. В организме создается множество резонансов, а резонансные частоты зависят от конкретных людей и положения их тел. Для описания способа, которым вибрация вызывает движение тела, часто используются две механические реакции: излучательная способность и сопротивление.

Излучательная способность показывает долю вибрации, передающейся от сиденья к голове. Излучательная способность тела в большой степени зависит от частоты вибрации, оси вибрации и положения тела. Вертикальная вибрация сиденья вызывает вибрацию по нескольким осям относительно головы, при вертикальных движениях головы наивысшая излучательная способность проявляется в диапазоне от 3 до 10 Гц.

Механическое сопротивление тела указывает силу, необходимую для движения тела при каждой частоте. Хотя сопротивление зависит от массы тела, вертикальное сопротивление человеческого тела обычно создает резонанс, соответствующий приблизительно 5 Гц. Механическое сопротивление тела, включая данный резонанс, оказывает большое влияние на способ передачи вибрации через опорную поверхность.

У человека выявлены резонансные частоты, например:

- 1.5...2 и 20...30 Гц – для головы в положении сидя при горизонтальных и вертикальных вибрациях соответственно;
- 6...9 Гц – для внутренних органов;
- 4...6 Гц – для всего тела;
- 60...90 Гц – для глазных яблок.

Вибрация, проходящая через всё тело, может явиться причиной:

– дискомфорта при выполнении работы;

– помех в работе. Вибрация может ослаблять восприятие информации (например, зрительное), передачу информации (например, посредством движений рук или ног) или комплексные центральные процессы, связывающие восприятие и передачу (обучение, память, принятие решений). Наибольшее воздействие вибрации, проходящей через все тело, оказывается на процессах получения входящей информации (в основном зрительной) и процессах передачи информации (непрерывный контроль деятельности рук). Вибрация может также вызывать усталость;

– нервно-мышечных изменений. Во время обычного активного движения двигательные механизмы управления действуют как упреждающий контроль, что постоянно регулируется дополнительной обратной связью от чувствительных элементов мышц, сухожилий и суставов. Вибрация вызывает пассивную реакцию человеческого тела, условие, которое в полной мере отличается от самоиндуктивной вибрации, вызываемой передвижением. Не-

контролируемое движение вперёд при вибрации является наиболее определённым изменением нормальной физиологической функции нервно-мышечной системы. Во время вибраций, проходящей через все тело, наблюдается большая усталость спинных мышц, чем при нормальных позах сидения в отсутствие вибрации. Рефлексы сухожилий могут уменьшаться или вообще исчезать при синусоидальной вибрации, проходящей через все тело при частотах, приблизительно равных 10 Гц;

– *сердечно-сосудистых и респираторных изменений.* Изменения, наблюдаемые при вибрации, сравнимы с теми, которые происходят при умеренной физической работе (например, увеличение частоты сердечных сокращений, кровяного давления, расхода кислорода), даже при амплитуде вибрации, близкой к предельно допустимому значению. Были выявлены четыре основные группы сердечно-сосудистых расстройств у рабочих, подвергающихся вибрации, проходящей через все тело: периферийные расстройства, такие как синдром Рейнауда, развивающийся при воздействии вибрации, проходящей через все тело (т. е. ноги стоящих рабочих или руки водителей, находящиеся во время движения большее время внизу); варикозное расширение вен на ногах, геморрой и варикоцеле; ишемическая болезнь сердца и гипертония; нейроваскулярные изменения;

– *сенсорных изменений и изменений в центральной нервной системе.* Изменение вестибулярной функции происходит при очень низких частотах или при резонансе всего тела. Сенсорное несоответствие между вестибулярной, визуальной и проприоцепторной (раздражение, получаемое через ткань) информацией, считается важным механизмом, лежащим в основе физиологических реакций организма на некоторые искусственно выполняемые движения. Импульсные вертикальные и горизонтальные вибрации пробуждают биопотенциалы головного мозга. Интенсивная вибрация, проходящая через все тело при частотах выше 40 Гц, может вызвать повреждения и расстройства центральной нервной системы;

– *увеличение риска возникновения заболеваний позвоночника.* Эпидемиологические исследования часто указывали на рост заболеваний позвоночника при длительной работе, связанной с интенсивной вибрацией (например, работа на тракторах или дорожных машинах). Интенсивная долговременная вибрация может нежелательным образом воздействовать на позвоночник и увеличивать опасность возникновения боли в области нижней части спины. Рост нетрудоспособности по достижении пенсионного возраста и длительное отсутствие на работе вследствие смещения межпозвоночных дисков наблюдались среди операторов кранов и трактористов. Вибрация при частоте от 40 до 50 Гц, действующая на работников, находящихся в стоячем положении, через ноги вызывала дегенеративное изменение костей ног;

– *возникновение проблем, связанных с женскими репродуктивными органами, беременностью и мужской мочеполовой системой.* Выявлен повышенный риск абортов, менструальных расстройств и аномалий

месторасположения внутренних органов (например, опущение матки), связанных с долговременным воздействием вибрации. Неизвестная пороговая величина вредных воздействий при беременности предполагает ограничение воздействий на производстве до минимально разумной степени. Опубликованы расходящиеся результаты по происхождению заболеваний мужской мочеполовой системы. В исследованиях, приведённых в публикациях, отмечается учащение заболевания простатитом.

Механическая вибрация, возникающая из силовых процессов или инструментов и поступающая в тело человека через пальцы или ладони рук, называется *вибрацией, передаваемой через руки* (часто используются синонимы: вибрация, передаваемая через кисти рук и предплечья, и местная или сегментальная вибрация). Данная вибрация проходит сквозь тело от рук. Это явление связано с различными рабочими процессами в промышленности, сельском хозяйстве, горнодобывающей промышленности и строительстве, где вибрационные инструменты или обрабатываемые детали сжимаются и подаются к инструментам руками или пальцами. Силовые процессы и инструменты, которые подвергают руки операторов вибрации, широко распространены в нескольких промышленных областях. Воздействие вибрации, передаваемой через руки, возникает при использовании ручных силовых инструментов, применяемых на производстве (например, ударные инструменты для обработки металла, шлифовальные станки и другие врачающиеся инструменты, пневматические гаечные ключи ударного действия), в подземной добыче, горной промышленности и строительстве (например, бурильные молотки, отбойные молотки, пробоотборные молотки, виброуплотнители), сельском хозяйстве и лесной промышленности (например, цепные пилы, пилы для порубочных остатков, корообдирки) и в коммунальном хозяйстве (например, дорожные дробилки и бетоноломы, отбойные молотки, ручные шлифовальные станки). Вибрация, передаваемая через руки, может также исходить от вибрирующих рабочих мест, которые удерживаются руками оператора (например, станина шлифовального станка), а также от ручных вибрирующих регуляторов, как при работе с газонокосилкой или при управлении дорожными виброуплотнителями.

Термин *синдром вибрации, передаваемой через кисти рук и предплечья*, обычно используется для обозначения признаков и симптомов, связанных с вибрацией, передаваемой через руки, включая:

- сосудистые расстройства;
- периферийные неврологические расстройства;
- повреждения костей и суставов;
- прочие расстройства (всего тела, центральной нервной системы).

Биодинамика. На основании измерений излучательной способности было сделано заключение о том, что в высокочастотном диапазоне вибрация может явиться причиной повреждений мягких структур пальцев и ладоней, в

то время как низкочастотная вибрация с высокой амплитудой (например, от ударных инструментов) может быть связана с травмами запястья, локтя и плеча.

Вибрация, проходящая через руки, может явиться причиной:

– *субъективного дискомфорта.* Вибрация воспринимается различными mechanoreцепторами кожи, которые располагаются в эпидермальных и подкожных тканях ровной и обнажённой (гладкой) кожи. Они классифицируются на две категории – медленно и быстро адаптирующиеся в зависимости от адаптационных свойств и рецептивного поля. Способность человека чувствовать вибрацию понижается с увеличением частоты как для комфортных, так и для раздражительных уровней вибрации. Считается, что вертикальная вибрация вызывает больший дискомфорт, чем вибрация в других направлениях;

– *помех в работе.* У работников, подвергающихся воздействию вибрации, находящихся в холодной окружающей среде, повторяющиеся эпизоды острого ухудшения осязательной чувствительности могут привести к постоянному сокращению сенсорного восприятия и потере манипуляционной способности, что, в свою очередь, может повлиять на рабочую деятельность, увеличивая риск травм вследствие несчастных случаев;

– *неврологических проблем.* Рабочие, управляющие вибрирующими инструментами, могут испытывать покалывание и онемение пальцев рук. Если воздействие вибрации продолжается, эти симптомы имеют тенденцию к ухудшению и могут повлиять на производительность труда и жизненную активность. У рабочих, подвергшихся действию вибрации, могут проявляться вибрационные, термические и осязательные пороги при клинических обследованиях. Продолжительное воздействие вибрации может не только снижать возбудимость кожных рецепторов, но также вызывать патологические изменения в нервах пальцев, такие как периневральные отеки, вызываемые фиброзом и потерей нервных волокон. *Синдром канала запястья* (СКЗ) – заболевание, возникающее вследствие компрессии центрального нерва, проходящего через анатомический канал запястья. СКЗ считается общим заболеванием для некоторых профессиональных групп, использующих вибрационные инструменты (буровые рабочие, лудильщики и рабочие лесной промышленности). Считается, что эргономические стресс-факторы, действующие на кисть руки и запястье (повторяющиеся движения, силовое сжатие, неудобное положение), кроме вибрации, могут вызывать синдром канала запястья у рабочих, использующих вибрационные инструменты;

– *сосудистых заболеваний.* Джованни Лорига, итальянский физик, первым отметил в 1911 г., что забойщики, использующие пневматические молотки для мрамора и брускатки на площадях Рима, страдали от периодического побеления пальцев, схожего с сужением кровеносных сосудов пальцев в результате реакции на холод или эмоциональный стресс. Для описания сосудистых заболеваний, вызываемых вибрацией в литературе ис-

пользовались различные синонимы: омертвевший или побелевший палец, симптом Рейнауда профессионального происхождения, травматическое вазоспастическое заболевание. Недавно появился новый термин – симптом побеления пальца, вызываемый вибрацией (СППВ). С клинической точки зрения СППВ характеризуется эпизодическим побелением или побледнением пальцев из-за спастического закрытия пальцевых артерий. Приступы обычно вызываются холодом и делятся от 5 до 30...40 мин. Во время приступа может ощущаться полная потеря чувствительности. Обычно в фазе восстановления от согревания и местного массажа может появляться покраснение на поражённых пальцах, как результат реактивного возрастания потока крови в кожных сосудах. В исключительно редких случаях многократные и тяжёлые вазоспастические приступы в пальцах могут приводить к трофическим изменениям (образование язвы или гангрены) на коже кончиков пальцев;

– прочих заболеваний. *Вибрационное расстройство* включает признаки и симптомы дисфункции автономных центров мозга (например, постоянная усталость, головная боль, возбудимость, расстройство сна, импотенция, электроэнцефалографические аномалии и т. д.).

Таким образом, обладая большой биологической активностью, вибрация может вызывать как травмы, так и болезни (вибрационную и шумовую). Здоровья восстанавливается во время лечения болезни очень медленно, а эффективное лечение возможно только на ранних стадиях развития заболеваний.

По источнику возникновения вибраций различают:

- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;

- общую вибрацию 1-й категории – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: сельскохозяйственные и промышленные тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т. д.); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;

- общую вибрацию 2-й категории – транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (за-

валочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

– общую вибрацию 3-й категории – технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) на рабочих местах в помещениях завоудуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

– общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внешних источников: городского рельсового транспорта (мелкого залегания и открытые линии метрополитена, трамвай, железнодорожный транспорт) и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок (при эксплуатации гидравлических и механических прессов, строгальных, вырубных и других металлообрабатывающих механизмов, поршневых компрессоров, бетономешалок, дробилок, строительных машин и др.);

– общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников: инженерно-технического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, насосные, пылесосы, холодильники, стиральные машины и т. п.), а также встроенных предприятий торговли (холодильное оборудование), предприятий коммунально-бытового обслуживания, котельных и т. д.

По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат:

– на *локальную вибрацию*, действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_{\text{л}}$, $Y_{\text{л}}$, $Z_{\text{л}}$, где ось $X_{\text{л}}$ параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложемента, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия, и т. п.), ось $Y_{\text{л}}$ перпендикулярна ладони, а ось $Z_{\text{л}}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{\text{л}}$ и направлением подачи или приложения силы (или осью предплечья, когда сила не прикладывается);

– *общую вибрацию*, действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_{o} , Y_{o} , Z_{o} , где X_{o} (от спины к груди) и Y_{o} (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_{o} – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т. п.

По *характеру спектра* выделяют:

– *узкополосные вибрации*, у которых контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышают значения в соседних третьоктавных полосах;

– *широкополосные вибрации* – с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По *частотному составу* выделяют:

– *низкочастотные вибрации* (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1...4 Гц для общих вибраций, 8...16 Гц – для локальных вибраций);

– *среднечастотные вибрации* (8...16 Гц – для общих вибраций, 31.5...63 Гц – для локальных вибраций);

– *высокочастотные вибрации* (31.5...63 Гц – для общих вибраций, 125...1000 Гц – для локальных вибраций).

По *временным характеристикам* выделяют:

– *постоянные вибрации*, для которых значение нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;

– *непостоянные вибрации*, для которых значение нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 мин при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

а) *колеблющиеся во времени* вибрации, для которых значение нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) *прерывистые* вибрации, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

в) *импульсные* вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

Нормирование вибраций

Принципы нормирования вибраций строятся на том, что вибрация в жилых и общественных зданиях не должна вызывать у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию, а при выполнении работ на рабочем месте – не должна явиться причиной заболеваний или отклонений в состоянии здоровья в течение всего рабочего стажа, а также в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

В качестве факторов, влияющих на степень и характер неблагоприятного воздействия вибрации, должны учитываться:

- риски (вероятности) проявления различной патологии вплоть до профессиональной вибрационной болезни;
- показатели физической нагрузки и нервно-эмоционального напряжения;
- влияние сопутствующих факторов, усугубляющих воздействие вибрации (охлаждение, влажность, шум, химические вещества и т. п.);
- длительность и прерывистость воздействия вибрации;
- длительность рабочей смены.

Нормирование вибрации ведётся в соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566–96 “Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий” и ГОСТ 12.1.012–90 “Вибрационная безопасность. Общие требования”.

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, действующей на человека, должна производиться следующими методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учётом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Нормируемый диапазон частот устанавливается:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31.5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;
- для общей вибрации в виде октавных или третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами: 0.8; 1; 1.25; 1.6; 2.0; 2.5; 3.15; 4.0; 5.0; 6.3; 8.0; 10.0; 12.5; 16.0; 20.0; 25.0; 31.5; 40.0; 50.0; 63.0; 80.0 Гц.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами являются средние квадратические значения виброскорости v ивиброускорения a или их логарифмические уровни L_v , L_a , измеряемые в одно- и третьоктавных полосах частот.

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром является корректированное значение виброскорости ивиброускорения (U) или их

логарифмические уровни (L_U) измеряемые с помощью корректирующих фильтров или вычисляемые по формулам

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i k_i)^2} \text{ или } L_U = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{U_i} + L_{k_i})},$$

где U_i – среднее квадратическое значение виброскорости или виброускорения, L_{Ui} – их логарифмические уровни в i -й частотной полосе; n – число частотных полос (1/3 или 1/1 окт) в нормируемом частотном диапазоне; k_i , L_{ki} – весовые коэффициенты для i -й частотной полосы, соответственно, для абсолютных значений или их логарифмических уровней, определяемые по специальным таблицам, приведённым в СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

Предельно допустимые значения нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в табл. 14.

Таблица 14

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_Δ , Y_Δ , Z_Δ *			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
8	1.4	123	2.8	115
16	1.4	123	1.4	109
31.5	2.8	129	1.4	109
63	5.6	135	1.4	109
125	11.0	141	1.4	109
250	22.0	147	1.4	109
500	45.0	153	1.4	109
1000	89.0	159	1.4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2.0	126	2.0	112

* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.

Предельно допустимые значения нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) для различных категорий вибраций (транспортной, транспортно-технологической и трёх типов технологической вибрации “а”, “б” и “в”) приведены в таблицах СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

Допустимые значения нормируемых параметров вибрации в жилых помещениях, палатах больниц и санаториев приведены в табл. 15.

Таблица 15

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с $^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	м/с $\cdot 10^{-4}$	дБ
2	4.0	72	3.2	76
4	4.5	73	1.8	71
8	5.6	75	1.1	67
16	11.0	81	1.1	67
31,5	22.0	87	1.1	67
63	45.0	93	1.1	67
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	4.0	72	1.1	67

Примечания: 1. В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ.

2. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в табл. 15, вводится поправка 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0.32.

3. В палатах больниц и санаториев допустимые уровни вибраций нужно снижать на 3 дБ.

Допустимые значения нормируемых параметров вибрации в административно-управленческих помещениях и в помещениях общественных зданий приведены в табл. 16.

Таблица 16

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0			
	виброускорения		Виброскорости	
	м/с $^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	м/с $\cdot 10^{-3}$	дБ
2	10.0	80	0.79	84
4	11.0	81	0.45	79
8	14.0	83	0.28	75
16	28.0	89	0.28	75
31,5	56.0	95	0.28	75
63	110.0	101	0.28	75
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	10	80	0.28	75

Примечания: 1. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в табл. 16, вводится поправка 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0.32.

2. Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек вводится поправка 3 дБ.

Доза вибрации определяется по формуле $D = \int_0^T U^m(t) dt$, где $U(t)$ – корректированное по частоте значение контролируемого параметра в момент

времени t , $\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$ или $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$; T – время воздействия вибрации, с; m – показатель эквивалентности физиологического воздействия вибрации, устанавливаемый санитарными нормами.

При интегральной оценке вибрации с учётом времени её воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемым параметром является эквивалентное корректированное значение виброскорости или виброускорения ($U_{\text{ЭКВ}}$) или их логарифмический уровень ($L_{U_{\text{ЭКВ}}}$), измеренное или вычисленное по формуле

$$U_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_i^2 t_i \right) / T} \text{ или } L_{U_{\text{ЭКВ}}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \cdot t_i \right),$$

где U_i – корректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости, или виброускорени; t_i – время действия вибрации, ч; $T = \sum_{i=1}^n t_i$, n – общее число интервалов действия вибрации.

Задача от вибраций

Снижение вибрации достигается теми же средствами, что и шума:

- снижением вибрации в источнике её образования (снижение возмущающих сил, уменьшение частоты вращения и т. д.);
- снижением вибрации на пути распространения от источника до рабочего места (виброзоляция, вибродемпфирование передающих поверхностей, использование гибких вставок, увеличение массы передающих конструкций и т. д.);
- снижением вибрации на рабочем месте (применение, например, виброзащитных сидений и настилов).

По возможности желательно уменьшить вибрацию в источнике. Это может повлечь сокращение волнообразных движений грунта или снижение скорости движения транспортных средств. Другие методы сокращения передачи вибрации операторам требуют понимания характеристик вибрации окружающей обстановки и путей передачи вибрации человеку. Например, амплитуда вибрации часто изменяется в зависимости от местоположения: в некоторых зонах будут испытываться пониженные амплитуды.

Методы снижения вибрации в приёмнике могут быть самыми разнообразными и применяться как при общей так и локальной вибрации. К примеру, чтобы снизить вибрацию, сиденья следует конструировать особым образом. Большинство из них оказывают резонанс при низких частотах, что приводит к повышенным амплитудам вертикальной вибрации на сиденье, а не на полу! Резонансные частоты обычных сидений соответствуют примерно 4 Гц. Усиление резонанса частично определяется амортизацией сиденья. Ис-

пользование подушек увеличивает амортизации, что ведёт к сокращению коэффициента усиления резонанса и к повышению излучательной способности при высоких частотах. Из-за разнообразных возможностей вибропередачи между сиденьями люди испытывают различные ощущения при вибрации. Так называемые антивибрационные перчатки могут обеспечить относительную изоляцию высокочастотных компонентов вибрации некоторых типов инструментов при воздействии локальной вибрации.

Вибропоглощение. Эффект любых вибропоглощающих покрытий наблюдается лишь на резонансных частотах. Вне резонанса эти эффекты практически отсутствуют. Рассмотрим вибропоглощение конструкций с коэффициентом внутренних потерь, который определяется как

$$\eta = \Delta f / f_0,$$

где Δf – полоса частот, равная половине ширины резонансной кривой в точках, в которых амплитуда колебаний системы уменьшается до 0.707 амплитуды при резонансе; f_0 – резонансная частота.

Уменьшение амплитуды колебаний металлических конструкций при облицовке вибропоглощающим покрытием ΔY , дБ, определяется выражением

$$\Delta Y = 20 \lg \left(\frac{\eta_1 + \eta_3}{\eta_1} \right),$$

где η_1 – коэффициент потерь металлической конструкции до покрытия; η_3 – коэффициент потерь в конструкции, облицованной покрытием.

Виброизоляция – метод снижения структурного звука, основанный на отражении вибрации в виброизоляторах. Эффект виброизоляции подобно звукоизоляции основан на отражении звука в виброизолирующей прокладке (рис. 23).

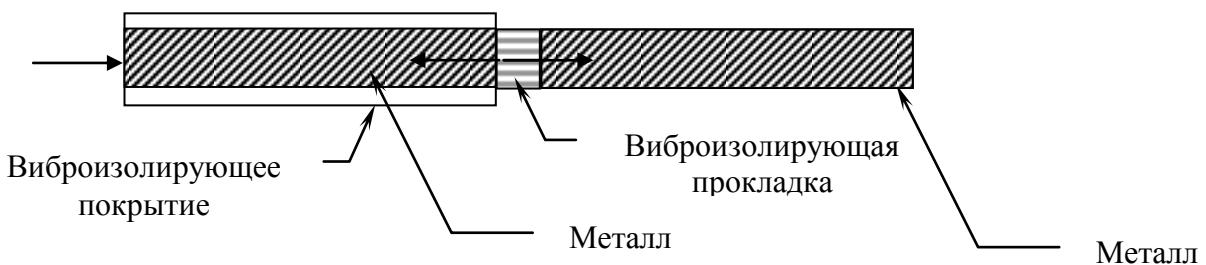


Рис. 23. Принцип действия виброизоляции

Поскольку эффект виброизоляции основан на отражении звуковой энергии и определяется при переходе из одной среды в другую произведением плотности среды на скорость распространения звука в этой среде ($\rho \cdot c$), то

в отличие от звукоизоляции виброизолирующая прокладка должна соответствовать условию, при котором произведение ($\rho \cdot c$) прокладки должно быть значительно меньше соответствующего соотношения без неё.

Для уменьшения плотности звуковой энергии в металле за счёт отражения энергии на границе “металл – виброизолирующая прокладка” металл следует оклеить виброизолирующим покрытием, т. е. применять виброизоляцию совместно с вибропоглощением.

Индивидуальные средства защиты от вибрации в основном предназначены для уменьшения воздействия локальной вибрации. К ним относятся виброзащитные рукавицы, представляющие устройство с мягкой поролоновой прокладкой. Также используется и виброзащитная обувь, предназначенная для снижения общей вибрации при работе человека на вибрирующей поверхности в стоячем положении.

Вибродемпфирование – способ защиты от звуковой вибрации путём перехода вибрационной энергии в тепловую в вибродемпфирующих покрытиях.

УЛЬТРАЗВУК

Классификация ультразвука и воздействие его на человека

Человека эволюционировал в среде ультразвука: колебания с частотой выше 20 кГц невысокой интенсивности присутствуют в голосе человека, шуме ветра, скрипе деревьев и т. д. Однако факторы, в которых человек жил и развивался, не являются для него вредными. Проблема защиты от ультразвука возникла в середине прошлого века с внедрением мощного ультразвука для интенсификации многих промышленных процессов. В настоящее время ультразвук находит широкое применение в промышленности, медицине, быту и т. д. Он применяется в практике физических, физико-химических и биологических исследований, для дефектоскопии, навигации, подводной связи, ускорения химико-технологических процессов, получения эмульсий, сушки, очистки, сварки и других процессов, диагностики и лечения заболеваний.

Источником ультразвука является оборудование, в котором генерируются ультразвуковые колебания для выполнения технологических процессов, технического контроля и измерений, а также оборудование, при эксплуатации которого ультразвук возникает как сопутствующий фактор. Это все виды ультразвукового технологического оборудования, ультразвуковые приборы и аппаратура промышленного, медицинского, бытового назначения, генерирующие ультразвуковые колебания в диапазоне частот от 18 кГц до 100 МГц и выше, высокочастотные технологические установки для контактной или индукционной сварки труб или индукционного нагрева заготовок и т. д.

Существенным недостатком ультразвуковых установок является интенсивный шум, сопровождающий их работу. Исследование шумовых харак-

теристик большого числа различных установок показало, что спектры их шума содержат как непрерывные, так и дискретные составляющие, на 10...15 дБ превышающие уровень непрерывных составляющих. Поэтому с некоторым допущением шум ультразвуковых установок можно считать дискретным. Максимальная составляющая имеет частоту, равную рабочей частоте установки (1-я гармоника), уровни следующих гармоник убывают с увеличением их номера. Отмечается высокий уровень на частоте, равной половине рабочей (так называемая 1-я субгармоника), значительно реже на частоте, равной 1/4 рабочей (2-я субгармоника). Таким образом, характерной особенностью шума современного ультразвукового оборудования, использующего рабочие частоты, лежащие на границе звукового и ультразвукового диапазонов, является наличие в спектре как звуковых, так и ультразвуковых составляющих. Вопрос об их относительной опасности для человека широко дискутировался в литературе. В нашей стране работы ряда авторов убедительно доказали значительно более высокую вредность звуковых составляющих по сравнению с ультразвуковыми.

Ультразвук может действовать как через воздушную, так и через жидкую или твёрдую среду (контактное воздействие). Высокочастотный ультразвук через воздух, как правило, не передаётся. *Контактная среда* – среда (твердая, жидккая, газообразная), в которой распространяются ультразвуковые колебания при контактном способе передачи. Ультразвук обладает главным образом локальным действием на организм, поскольку передается при непосредственном контакте с ультразвуковым инструментом, обрабатываемыми деталями или средами, где возбуждаются ультразвуковые колебания.

Ультразвуковые колебания могут распространяться:

- *контактным способом* – ультразвук распространяется при соприкосновении рук или других частей тела человека с источником ультразвука, обрабатываемыми деталями, приспособлениями для их удержания, означенными жидкостями, сканерами медицинских диагностических приборов, физиотерапевтической и хирургической ультразвуковой аппаратурой и т. д.;

- *воздушным способом* – ультразвук распространяется по воздуху.

Типы источников ультразвуковых колебаний:

- ручные;
- стационарные.

По спектральным характеристикам ультразвуковых колебаний выделяют:

- *низкочастотный ультразвук* – 16...63 кГц (указаны среднегеометрические частоты октавных полос);
- *среднечастотный ультразвук* – 125...250 кГц;
- *высокочастотный ультразвук* – 1.0...31.5 МГц.

По режиму генерирования ультразвуковых колебаний выделяют:

- *постоянный ультразвук;*
- *импульсный ультразвук.*

По способу излучения ультразвуковых колебаний выделяют:

- источники ультразвука с магнитострикционным генератором,
- источники ультразвука с пьезоэлектрическим генератором.

Несмотря на то, что человек не слышит ультразвука, последний воздействует на него, вызывая ряд проблем и заболеваний. Мощный воздушный ультразвук воздействует на нервные клетки головного и спинного мозга, вызывая ощущение тошноты и жжения в слуховом аппарате. Длительное систематическое воздействие ультразвука, распространяющегося воздушным путём, вызывает изменения нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Наиболее характерным является наличие вегетососудистой дистонии и астенического синдрома.

Нормирование ультразвука

В соответствии с ГОСТ 12.1.001–89 “Ультразвук. Общие требования безопасности” и СанПиН 2.2.4./2.1.8.582–96 “Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения” нормируемыми параметрами воздушного ультразвука являются уровни звукового давления в децибелах в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40; 50; 63; 80; 100 кГц.

Предельно допустимые уровни звукового давления на рабочих местах не должны превышать значений, указанных в табл. 17.

Таблица 17

Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, кГц	Уровни звукового давления, дБ
12.5	80
16.0	90
20.0	100
25.0	105
31.5...100.0	110

Включение в нормативные документы на ультразвук частотного диапазона ниже 20 кГц обусловлено необходимостью “стыковки” с документами, ограничивающими вредное действие шума. Третьюоктавный анализ введён в связи с тем, что в этом диапазоне резко снижается чувствительность уха (см. рис. 3).

Нормируемыми параметрами контактного ультразвука являются пиковые значения выброскорости v или её логарифмические уровни L_v , выражаемые в децибелах в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16 000; 31 500 кГц.

Предельно допустимые значения нормируемых параметров контактного ультразвука для работающих приведены в табл. 18.

Таблица 18

Среднегеометрические частоты октавных полос, кГц	Пиковые значения виброскорости, м/с	Уровни виброскорости, дБ
16.0...63.0	$5 \cdot 10^{-3}$	100
125.0...500.0	$8.9 \cdot 10^{-3}$	105
$1 \cdot 10^3 \dots 31.5 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^{-2}$	110

Предельно допустимые уровни контактного ультразвука следует принимать на 5 дБ ниже значений, указанных в табл. 18, в тех случаях, когда работающие подвергаются совместному воздействию воздушного и контактного ультразвука.

При использовании ультразвуковых источников бытового назначения, как правило, генерирующих колебания с частотами ниже 100 кГц, допустимые уровни воздушного и контактного ультразвука не должны превышать 75 дБ на рабочей частоте источника.

Уровни ультразвука на рабочих местах и в бытовых условиях измеряются в нормируемом частотном диапазоне с верхней граничной частотой не ниже рабочей частоты источника при типичных условиях эксплуатации его источников, характеризующихся наиболее высокой интенсивностью генерируемых ультразвуковых колебаний. Точки измерения воздушного ультразвука на рабочем месте или в бытовых условиях должны быть расположены на высоте 1.5 м от уровня основания (пола, площадки), на котором выполняются работы с ультразвуковым источником любого назначения в положении “стоя” или на уровне головы, если работа выполняется в сидячем положении, на расстоянии 5 см от уха и на расстоянии не менее 50 см от человека, проводящего измерения.

Аппаратура, применяемая для измерения уровня звукового давления, должна состоять из измерительного микрофона, электрической цепи с линейной характеристикой, третьоктавного фильтра и измерительного прибора. Аппаратура должна иметь характеристику “Лин” и временную характеристику “медленно”.

Измерение уровней контактного ультразвука в зоне контакта рук или других частей тела человека с источником ультразвуковых колебаний следует проводить с помощью измерительного тракта, который должен состоять:

- из датчика, чувствительность которого позволяет регистрировать ультразвуковые колебания с уровнем колебательной скорости на поверхности не ниже 80 дБ;
- лазерного интерферометра;
- усилителя;
- схемы обработки сигналов, включающей фильтры низкой и высокой частот.

Защита от ультразвука

Основные проблемы, средства и методы защиты от ультразвука рассмотрим на примере технологических процессов, связанных с очисткой деталей в ультразвуковых ваннах. Воздействие ультразвука высокой интенсивности на жидкость создаёт зоны повышенного и пониженного давления. При пониженном давлении в жидкости образуются практически содержащие вакуум микрополости, в которые испаряется окружающая жидкость, образуя пузыри пара. В результате последующего сжатия (повышенное давление) пузыри пара сжимаются и “схлопываются” с образованием микроудара кумулятивных струй. Если это происходит на границе раздела “жидкость – очищаемое изделие”, то поверхность подвергается сумме этих ударов, так называемая кавитация, которая обеспечивает очищающий эффект, сравнимый с воздействием бесчисленного множества щёточек. В настоящее время в качестве источника ультразвука используются изготовленные искусственным путём пьезокерамические источники колебаний из титаната бария BaTiO₃.

Под воздействием ультразвуковых колебаний частички жидкости на чрезвычайно малом пути каждую секунду совершают возвратно-поступательное движение на частоте генератора, но из-за инерционности массы они не могут достаточно быстро следовать этому переменному движению (возвращающиеся обратно частички сталкиваются с частичками, движущимися вперёд) – происходит наложение одного движения на другое. На кратчайшем пути возникают очень большие ускорения с быстро меняющимися значениями давления и такими силами растяжения, что под воздействием кратковременной кавитации жидкость просто “разрывается”. С огромной силой она “разбивается” о поверхность очищаемого изделия и срывает с неё частички грязи, а затем настолько стремительно “оттягивается” с поверхности очищаемого изделия, что образуется минимальный вакуум, в который и всасываются частички грязи. Такое интенсивное движение раствора ванны усиливает распределение и размельчение частичек грязи и способствует эмульгированию частиц жира в растворителе. Наиболее примечательным при этом является то, что полная очистка от грязи достигается даже в самых узких углублениях и отверстиях очищаемого изделия.

Как правило, наибольшее превышение предельно допустимых уровней звука современных ультразвуковых установок отмечается на частоту 1-й субгармонической составляющей. Поэтому защита персонала от воздействия шума ультразвукового оборудования предполагает снижение в первую очередь именно этой составляющей. Для выяснения возможностей снижения субгармонической составляющей в источнике шумообразования рассмотрим эти источники.

Одной из основных причин, вызывающих образование субгармонической составляющей являются кавитационные процессы. Они наблюдаются как в рабочей жидкости ультразвуковых ванн, так и в жидкости для охлажде-

ния магнитострикционных преобразователей путём паразитного излучения звуковой энергии. К методам снижения шума в источнике образования относится также выбор оптимальных объёмов рабочей жидкости в ультразвуковых ваннах, а также исключение излучения звуковой энергии в самом преобразователе на частотах, отличных от рабочей.

Условно к методам уменьшения субгармонической составляющей в источнике шумообразования можно отнести выбор возможно более высоких частот установок. При этом субгармоническая составляющая переводится в диапазон частот с более высокими допустимыми уровнями. На рис. 24 приведены спектры шума двух ультразвуковых ванн одинаковой мощности, идентичных конструкций, но с разными рабочими частотами 18 и 44 кГц.

Использование рабочих частот выше 44 кГц для маломощного оборудования полностью решает проблему шума ультразвуковых установок. К тому же для процессов, например, очистки мелких деталей использование таких частот не уменьшает интенсивности очистки, поскольку наряду со снижением интенсивности кавитации за счёт повышения частоты происходит увеличение гидродинамических потоков и более интенсивное перемешивание жидкости.

В настоящее время рекомендации о повышении рабочих частот получили широкое практическое применение, и ультразвуковые установки для очистки мелких деталей, сварки пластмасс и пайки имеют частоты 44 кГц. Если выбор рабочих частот выше 40 кГц невозможен по техническим соображениям, а также если речь идёт об уже существующем оборудовании, снижение шума ультразвуковых ванн или установок, содержащих ультразвуковые ванны, можно осуществить с помощью повышения звукоизоляции, экранирования и звукопоглощения.

Как правило, кожух, снижающий до предельно допустимых уровней субгармоническую составляющую, снижает составляющие на частотах 1-й, 2-й и других гармоник до уровня значительно меньших, чем допустимые. В силу этого в подавляющем большинстве случаев расчёт звукоизолирующих кожухов для снижения шума ультразвуковых установок следует вести в третьоктавной полосе, содержащей частоту субгармоники преобразователя данной установки. Тогда средняя фактическая звукоизоляция, которой должен обладать кожух, определяется из соотношения

$$\text{ЗИ}_{\text{фак.ср}} = L_1 - L_{\text{доп}},$$

где L_1 – измеренное или предполагаемое значение звукового давления в третьоктавной полосе, содержащей частоту субгармоники (при отсутствии точных данных может быть принято равной 105...110 дБ), $L_{\text{доп}}$ – предельно допустимый уровень звукового давления для той же полосы частот.

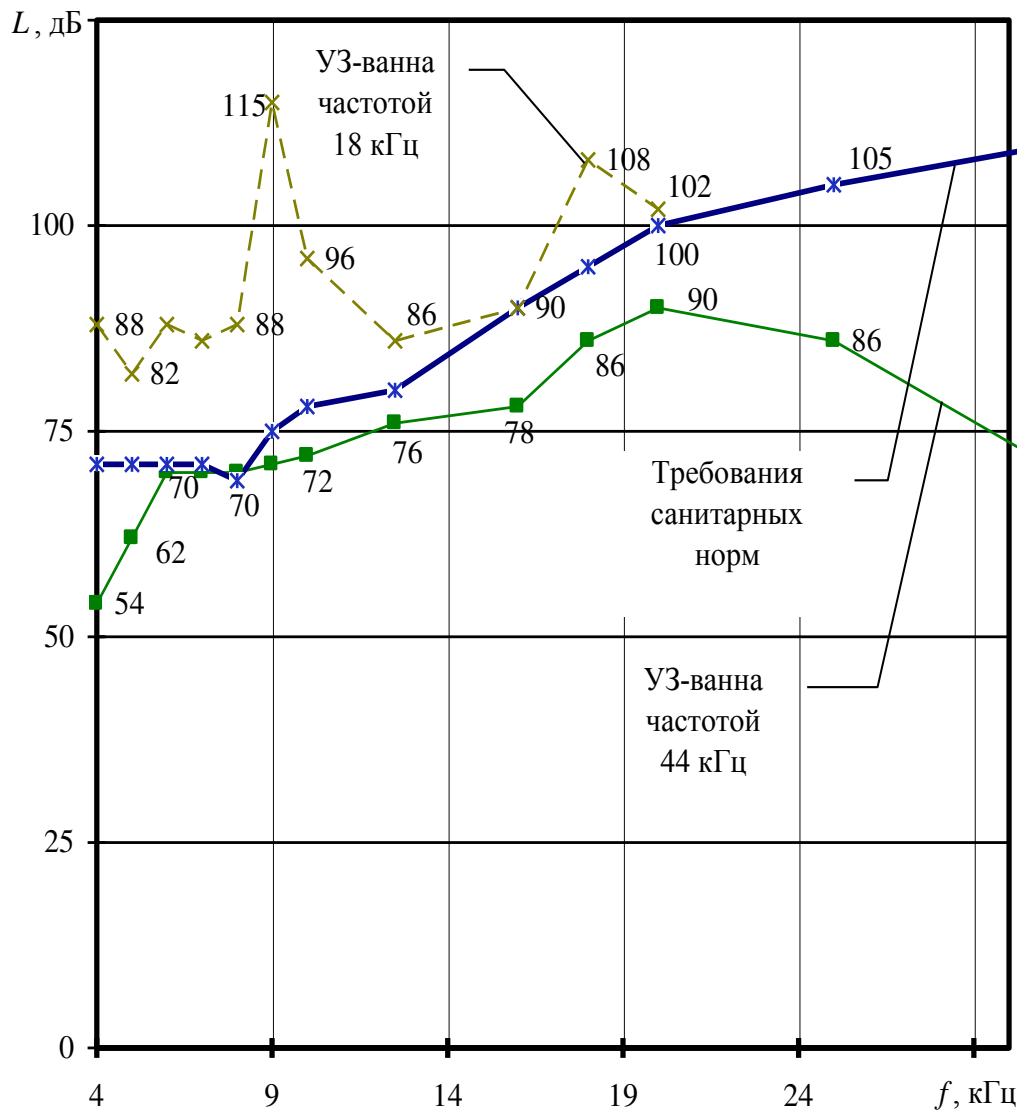


Рис. 24. Спектры шума для двух ультразвуковых установок

С достаточной для инженерных расчётов точностью фактическая звукоизоляция кожуха, дБ, изготовленного из одного материала, имеющего щели, отверстие или проём, покрытого изнутри полностью или частично звукопоглощающим материалом, может быть определена по формуле

$$\text{ЗИ}_{\text{фак}} = \text{ЗИ}_{\text{соб}} + 10 \lg \left(\alpha \frac{S_{\text{пог}}}{S_{\text{кож}}} \right) - \Delta R,$$

где ЗИ_{соб} – собственная звукоизолирующая способность пластин; α – коэффициент звукопоглощения материала; $S_{\text{пог}}$ – площадь звукопоглощающего материала; $S_{\text{кож}}$ – площадь внутренней поверхности кожуха; ΔR – член, учитывающий уменьшение звукоизоляции за счёт звукопроводности щелей и отверстий или проёма.

В интересующем нас диапазоне частот звукоизоляция пластин, из которых изготовлен кожух, находится в области пространственного резонанса. Наиболее близкое совпадение с экспериментальными исследованиями для звукоизолирующей способности даёт формула

$$\text{ЗИ}_{\text{соб}} = 10 \lg \frac{1.46\mu^2 f_{\text{ср}} \Delta f \eta}{100(\cos \Theta_1 - \cos \Theta_2)},$$

где $\Delta f = f_1 - f_2$ – частотный интервал, для которого рассчитывается звукоизоляции; $f_{\text{ср}}$ – среднегеометрическая частота интервала; μ – масса единицы пластины; η – коэффициент внутреннего трения; $\Theta = \arcsin(c/c_i)$, (c – скорость звука в воздухе; c_i – скорость распространения изгибных волн в пластине, зависящая от частоты звука f_1 и f_2).

Увеличение звукоизолирующей способности, а следовательно, и фактической изоляции кожухов в интересующем нас диапазоне частот может быть достигнуто не только за счёт увеличения массы пластины, но и путём увеличения потерь на внутреннее трение, например, оплёткой металлических кожухов вибропоглощающих материалов. Так, приклеивание второго слоя вибропоглощающего материала только по периметру стен, обращённых к источнику шума, даст дополнительное повышение звукоизоляции на 8...10 дБ.

Увеличения фактической звукоизоляции кожухов можно достичь также подбором материалов с возможно более высоким коэффициентом звукоизоляции для данного диапазона частот (например, многие марки полиуретана, стекловолокна и др.).

Существенное увеличение фактической звукоизоляции кожухов позволяет уменьшить проводимость щелей, отверстий и проёмов, в частности, уменьшить их площади, так как исходя из условия, что для данного диапазона частот произведение волнового числа K на радиус отверстия r – $Kr \geq 1.5$, звукопроводимость отверстия равна 1. Начиная с частоты 8 кГц, такой звукопроводностью обладают отверстия радиусом уже в 10 мм.

В связи с малой длиной звуковой волны в области частот, определённых ГОСТ 12.1.001–89, индивидуальные средства защиты, такие как заглушки и наушники, имеют более высокую эффективность, чем в области низких частот. Здесь эффективны также экранные наушники в виде пластинок, закрывающих уши только спереди (снижение шума до 20 дБ), при габаритных размерах $50 \times 40 \text{ mm}^2$, тогда как такое же снижение обычного шума потребовало бы увеличения этих габаритов до размера ушей слона.

Требования к конструкциям по защите от шума ультразвуковых промышленных установок содержатся в ГОСТ 12.2.051–80 “Оборудование технологическое ультразвуковое. Требование безопасности”.

Защита от контактного ультразвука состоит в полном исключении непосредственного соприкосновения с облучаемым инструментом, жидкостью

и изделиями. Загрузка и выгрузка обрабатываемых деталей должна производиться при выключенном источнике ультразвука. Если выключение установки нежелательно, применяют специальные приспособления, например: ванны для очистки изделия погружают в сетчатых корзинах, снабжённых виброизолирующими покрытиями. В качестве индивидуальных средств защиты эффективно одновременное использование нитяных и резиновых перчаток.

При применении контактного ультразвука в медицине защита медицинского персонала производится виброизоляцией ручек и держателей медицинского инструмента. Защита пациента, в том числе беременных женщин и плода, осуществляется ограничением излучаемой мощности и продолжительности излучения, т. е. ограничением дозы.

В соответствие с СанПиН 2.2.4./2.1.8.582–96 запрещается непосредственный контакт человека с рабочей поверхностью источника ультразвука и с контактной средой во время возбуждения в ней ультразвуковых колебаний. В целях исключения контакта с источниками ультразвука необходимо применять:

- дистанционное управление источниками ультразвука;
- автоблокировку, т. е. автоматическое отключение источников ультразвука при выполнении вспомогательных операций (загрузка и выгрузка продукции, белья, медицинского инструментария и т. д., нанесения контактных смазок и др.);
- приспособления для удержания источника ультразвука или предметов, которые могут служить в качестве твердой контактной среды.

Для защиты рук от неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твёрдых, жидких, газообразных средах, а также от контактных смазок необходимо применять нарукавники, рукавицы или перчатки (наружные резиновые и внутренние хлопчатобумажные).

Стационарные ультразвуковые источники, генерирующие уровни звукового давления, превышающие нормативные значения, должны оборудоваться звукопоглощающими кожухами и экранами и размещаться в отдельных помещениях или звукоизолирующих кабинах.

Неблагоприятное воздействие на человека-оператора воздушного ультразвука может быть ослаблено путем использования в ультразвуковых источниках генераторов с рабочими частотами не ниже 22 кГц.

Для защиты работающих от неблагоприятного влияния воздушного ультразвука следует применять противошумы по ГОСТ 12.4.051.

При использовании ультразвуковых источников, как правило, низкочастотных, в бытовых условиях (стиральные машины, охранная сигнализация, приспособления для отпугивания животных, насекомых и грызунов, устройства для резки и сварки различных материалов и др.) следует чётко выполнять требования по их применению и безопасной эксплуатации, изложенные в прилагаемых к изделиям инструкциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в данном учебном пособии вопросы являются достаточно важными для человека, участвующего в процессе труда, во время выполнения им общественных или домашних дел, а также в период активного или пассивного отдыха. Акустические и виброакустические факторы среды обитания несут не только положительный эффект (приятная музыка, речь, предупредительные сигналы, массаж и др.), но могут явиться также причиной ряда заболеваний и акустических или виброакустических травм. Знание характеристик их воздействия, принципов нормирования, средств и методов защиты от одного из самых серьёзных обыденных вредных факторов поможет специалисту разработать новую технику или технологию безвредной, а обычному человеку сделать свою жизнедеятельность приятной и безопасной.

Список рекомендуемой литературы

Безопасность деятельности: Энциклопедический словарь / Под ред. проф. О. Н. Руслана. СПб.: Информационно-издательское агентство “ЛИК”, 2003.

СанПиН 2.2.4./2.1.8.582–96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения: Санитарные правила и нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

Борьба с шумом на производстве: Справ. – М.: Машиностроение, 1985.

Клюкин И. И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Л.: Судостроение, 1971.

Колесников А. Е. Шум и вибрация. Л.: Судостроение, 1988.

Лагунов Л. Ф., Осипов Г. Л. Борьба с шумом в машиностроении: М.: Машиностроение, 1980.

Скучик Е. Основы акустики. В 2 т. М.: Мир, 1976.

Средства защиты в машиностроении. Расчёт и проектирование: Справ. / Под ред. С. В. Белова М.: Машиностроение, 1989.

Техническая акустика транспортных машин: Справ. / Под ред. Н. И. Иванова СПб.: Политехника, 1992.

Иванов Н. И. Основы виброакустики. СПб.: Политехника, 2000.

Ильяшук Ю. М. Измерение и нормирование производственного шума: М.: Профиздат, 1964.

Энциклопедия по безопасности и гигиене труда / Пер. с англ. М.: Профиздат, 1986.

Оглавление

Введение.....	3
Характеристики вибрационных величин	3
Характеристики вибрации, инфразвука, ультразвука и шума.....	4
Шум	6
Классификация шума и воздействие его на человека.....	6
Особенности слухового восприятия шума	6
Критерии нормирования шума	19
Санитарное нормирование шума	20
Измерение шума и обработка результатов	28
Методы и средства защиты от шума	34
Активная защита от шума	40
Звукоизоляция и звукопоглощение.....	41
Акустические экраны	53
Техническое нормирование шума	55
Инфразвук	57
Классификация инфразвука и воздействие его на человека	57
Нормирование инфразвука	58
Вибрация	61
Классификация вибрации и воздействие её на человека	61
Нормирование вибраций	69
Защита от вибраций	72
Ультразвук	74
Классификация ультразвука и воздействие его на человека	74
Нормирование ультразвука.....	76
Защита от ультразвука.....	78
Заключение	83
Список рекомендуемой литературы.....	83

АКУСТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебное пособие

Редактор И. Г. Скачек

Подписано в печать 16.07.04 . Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
 Печать офсетная. Печ. л. 5.25.
 Тираж 1050 экз. Заказ 94.

Издательство СПбГЭТУ “ЛЭТИ”
 197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

В. А. БУКАНИН В. Н. ПАВЛОВ А. О. ТРУСОВ

**БЕЗОПАСНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ
СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ**

Электронное учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2013

УДК 628.979.001:612.014.44

ББК 31.294н я73

Б 906

Б906 Буканин В. А., Павлов В. Н., Трусов А. О. Безопасные и эффективные системы освещения: эл. учеб. пособие / Под ред. В. Н. Павлова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2013. 84 с.

ISBN 978-5-7629-1468-0

Описано влияние света на человека; перечислены основные свето-технические величины; приведены сведения об основных видах источников света и осветительных приборов; описаны основные технические решения по обеспечению требований норм и правил безопасности для систем освещения, а также методики расчёта, и указаны особенности проектирования систем освещения для различных условий применения – образовательных учреждений, компьютерных классов, офисов и т. д. Затронуты вопросы обеспечения эффективности и энергосбережения систем освещения.

Предназначено для студентов всех специальностей СПбГЭТУ “ЛЭТИ”.

УДК 628.979.001:612.014.44

ББК 31.294н я73

Рецензенты: кафедра безопасности жизнедеятельности СПбГПУ; засл. деят. науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф. каф. безопасности жизнедеятельности О. Н. Русак (СПбГЛТУ).

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве электронного учебного пособия

ISBN 978-5-7629-1468-0

© СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2013

Оглавление

Введение	4
Воздействие оптического излучения на человека	5
Основные характеристики освещения	18
Виды и характеристики зрительной работы.....	27
Основные виды и назначение освещения.....	28
Нормирование качества освещения	30
Источники света и системы освещения.....	38
Виды оптических излучений.....	38
Характеристики ламп и их параметры.....	39
Основные типы источников света и тенденции их развития	39
Стандартные лампы накаливания.....	40
Галогенные лампы	42
Разрядные лампы.....	43
Люминесцентные лампы	44
Ртутные лампы высокого давления (РЛВД).....	48
Металлогалогенные лампы	49
Натриевые лампы	49
Индукционные лампы.....	51
Светодиоды	51
Характеристики светильников.....	53
Регулирование света	57
Особенности организации рабочего места	58
Распределение светового потока и блескость.....	59
Основные методы расчёта и проектирования систем освещения.....	66
Введение в методы проектирования внутреннего освещения	67
Оценочный (грубый) метод выбора или расчёта системы внутреннего освещения	68
Приближённый расчёт освещения с учётом коэффициента использования.....	71
Точный точечный метод расчёта внутреннего освещения	72
Компьютерные методы расчёта внутреннего освещения	73
Основы проектирования наружного освещения. Освещение автодорог	74
Основные составляющие энергосберегающего эффекта.....	77
Выбор стратегии управления освещением	78
Технологии управления освещением.....	81
Заключение	83
Список рекомендуемой литературы.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Свет – один из самых необходимых источников для жизни и деятельности человека. Философы и учёные изучают природу света и механизмы зрения человека уже более 2 тыс. лет. За это время открыто зримое и незримое влияние света на человека, которое в настоящее время пытаются использовать при разработке разнообразных искусственных осветительных устройств для различных отраслей промышленности и бытовых условий. Как известно, свет представляет собой сложный процесс передачи через вакуум или прозрачную среду корпускулярных частиц и электромагнитных полей определённой длины волны от различных источников. Он оказывает огромное информационное воздействие на человека. Окружающий мир человек воспринимает в основном через органы зрения. Он выполняет различные виды зрительной работы (получение информации, её распознавание и переработку и т. д.), начиная с момента пробуждения и заканчивая отходом ко сну.

В отличие от недавнего времени, когда на практике использовались преимущественно только естественные источники света, сейчас обойтись без искусственных источников уже, как правило, не удаётся. Всё напряжённее становится зрительная работа для большинства людей, занимающихся различного вида деятельностью. Перенапряжение глаз является следствием внедрения во многие её отрасли современной техники и информационной технологии. Появились новые виды деятельности, например работа за компьютером. Использование экранов мониторов, видеоэкранов, монтажных столов с подсветкой снизу изменило световые условия, характерные для традиционного зрительного процесса чтения, которое состоит в восприятии тёмных знаков на ярком фоне при падающем световом потоке. Большое количество зрительной информации, исходящий от самосветящихся объектов, оказывается для человека в некоторых случаях настолько вредным, что может вызвать многие болезни не только глаз, но и центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Основными симптомами таких болезней являются покраснение глазного яблока, резь в глазах, слезотечение, быстроразвивающиеся дальнозоркость или близорукость, боль во лбу и в висках и т. д.

Свет может явиться не только вредным, но и опасным фактором. Так же, как и недостаток, его избыток, резкое изменение интенсивности во времени и слепящее действие могут привести к внезапному расстройству органов зрения и к потере их функций, что, в свою очередь, может вызвать травму, спровоцировать аварийную или другую нежелательную ситуацию. С этим необходимо считаться любому, кто занимается обычной деятельностью, относящейся к определённому виду зрительной работы с использованием освещения для себя самого или при проектировании систем освещения для других людей.

Рассматриваемые вопросы являются только небольшой частью раздела безопасности жизнедеятельности, с которыми необходимо познакомить-

ся выпускнику вуза, в какой бы области он не работал. Тем же специалистам, которым нужно более подробно изучить данный предмет, рекомендуем обратиться к первоисточникам, приведённым в списке литературы, поскольку из-за ограниченности объёма не все вопросы освещены достаточно подробно.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Средняя область спектра электромагнитных излучений, охватывающая инфракрасные (ИК) излучения с длиной волны λ от 1.0 мм до 0.78 мкм, видимые излучения (свет) с $\lambda = 0.78\dots0.38$ мкм и ультрафиолетовые (УФ) излучения с $\lambda = 0.38\dots0.01$ мкм, носит название оптической области спектра. На рис. 1 показаны области разбиения по длинам волн соответствующих видов оптического диапазона излучения и для примера – предельно допустимые уровни (ПДУ) для человека плотности потока мощности.

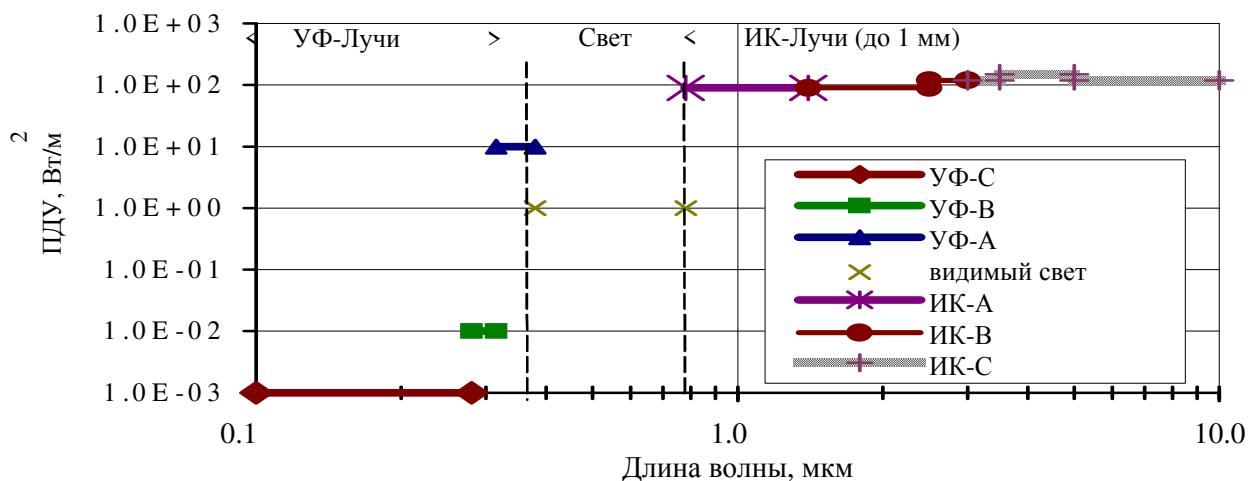


Рис. 1. Область оптического излучения и ПДУ для УФ- и ИК-излучений

Видимое излучение (или свет) – излучение, вызывающее непосредственно зрительное ощущение. Принципы нормирования его характеристик значительно отличаются от нормирования ИК- и УФ-излучений и будут приведены далее.

Все тела излучают и поглощают энергию, пришедшую извне. Поток излучения Φ_e , падающий на тело, частично поглощается и частично отражается им (рис. 2).

Оптические характеристики тел описываются коэффициентами поглощения α_e , отражения ρ_e и пропускания τ_e . Они определяются отношениями поглощённого, отражённого и прошедшего потоков к потоку излучения, упавшему на тело: $\alpha_e = \Phi_{e\alpha}/\Phi_e$; $\rho_e = \Phi_{e\rho}/\Phi_e$; $\tau_e = \Phi_{e\tau}/\Phi_e$; $\alpha_e + \rho_e + \tau_e = 1$, где Φ_e – поток излучения, упавший на тело; $\Phi_{e\alpha}$, $\Phi_{e\rho}$, $\Phi_{e\tau}$ – соответственно, поглощённый, отражённый и прошедший потоки излучения.

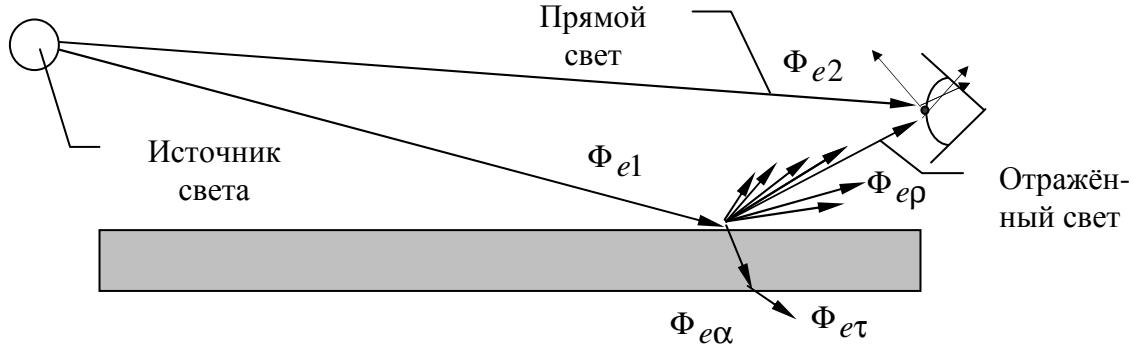


Рис. 2. Схема распространения светового потока

При падении на тело света от любого источника в теле происходит преобразование энергии излучения в особые формы движения материи, включая электрическую, биологическую, тепловую, химическую и др.

Поглощённая энергия может быть выражена в следующем виде:

$$Q_{e\alpha} = \alpha_e \int_{t_0}^t \Phi_e(t) dt = Q_{\text{еэф}} + \Delta Q_e,$$

где $Q_{e\alpha}$ – энергия излучения, поглощённая телом за интервал времени от t_0 до t ; α_e – коэффициент поглощения излучения веществом; $\Phi_e(t)$ – мгновенные значения потока излучения, упавшего на облучаемое тело; $Q_{\text{еэф}}$ – эффективная энергия, преобразованная в особую форму (тепловую, электрическую, химическую, биологическую и т. д.); ΔQ_e – энергия потерь, численно равная энергии тех форм движения материи, которые побочно возникают в исследуемом процессе преобразования.

Тела, в которых происходит преобразование излучения, называют *приёмниками энергии излучения*. Имеются две группы приёмников – органической и неорганической природы. Приёмники первой группы называют *биологическими*, а второй – *физическими и химическими* приёмниками.

Основными энергетическими характеристиками любого приёмника являются его интегральная и спектральная чувствительности. Чувствительность K приёмника определяется отношением эффективной энергии $Q_{\text{еэф}}$ к энергии излучения, упавшего на приёмник, Q_e :

$$K = c Q_{\text{еэф}} / Q_e = c \alpha_e \eta_e,$$

где c – коэффициент, зависящий от выбора единиц $Q_{\text{еэф}}$, α_e – коэффициент поглощения; η_e – энергетический выход процесса преобразования энергии излучения.

В практических случаях чувствительность приёмника определяют как отношение эффективной мощности $P_{\text{еэф}}$ к потоку излучения: $K = c P_{\text{еэф}} / \Phi_e$.

Большинство приёмников поглощают энергию избирательно для различных длин волн. Чувствительность к монохроматическим (однородным) излучениям принято называть спектральной чувствительностью приёмника в отличие от интегральной чувствительности, определяемой для сложного излучения, падающего на приёмник. Спектральная чувствительность приёмника определяется как $K(\lambda) = cd P_{\text{еэф}}(\lambda)/d\Phi_e(\lambda)$.

Приёмники имеют очень разнообразные характеристики спектральной чувствительности. Для различных приёмников зоны чувствительности расположены на разных участках спектра (рис. 3). Например, наибольшая чувствительность кожи приходится на ультрафиолетовое излучение, в то время как глаз человека наилучшим образом воспринимает зону светового диапазона, приходящуюся на длину волны 0.55 мкм.

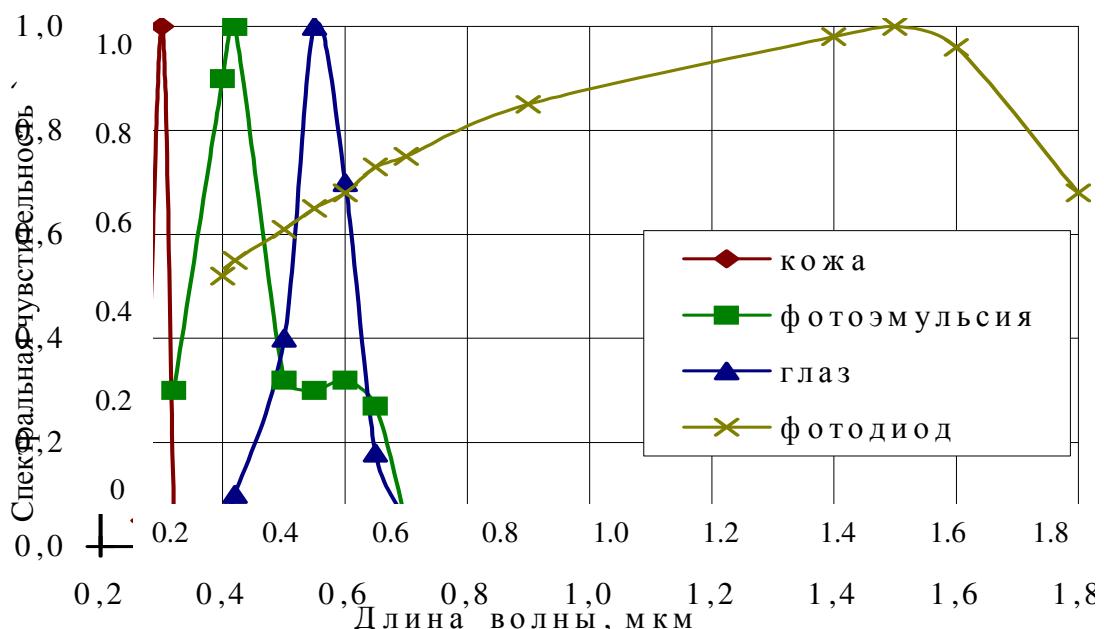


Рис. 3. Относительные спектральные характеристики различных приёмников энергии

Разработаны три системы эффективных величин – световая, эритемная и бактерицидная. В *световой* системе образцовым приёмником является глаз человека. Эритемная система опирается на специфический результат – покраснение кожи человека и последующую пигментацию её в результате облучения. В *бактерицидной* системе мерой реакции на излучение принята некоторая средняя характеристика губительного действия ультрафиолетового излучения на бактерии.

Зрительные ощущения в результате действия видимого излучения на орган зрения позволяют судить о яркости и цветности излучения, форме тел, излучающих или отражающих свет, их движении и взаимном расположении.

Система зрения человека состоит из двух глаз, зрительного нервного пути и конечного центра в зрительной зоне затылочной области коры больших полушарий мозга.

Глаз является сложным приёмником видимого излучения, в котором происходит трёхкратное преобразование энергии излучения. Энергия, поглощённая светочувствительным веществом глаза, преобразуется в химическую энергию распада молекул, затем в электрическую энергию импульсов тока, возникающих в волокнах зрительного нерва, и наконец в энергию биологических процессов зрительного ощущения.

Световоспринимающей системой глаза является его сетчатая оболочка (ретина), прилегающая к стекловидному телу и заполненная светочувствительными клетками, называемыми *зрительными рецепторами* (рис. 4).

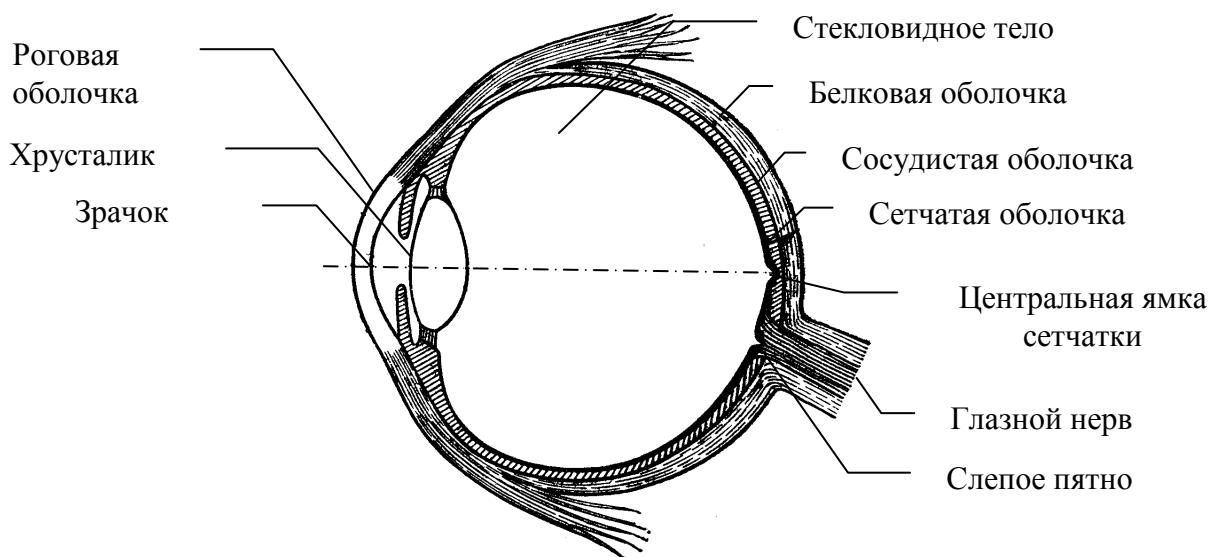


Рис. 4. Схематичное изображение глаза человека

С помощью волокон зрительного нерва, на концах которого находятся две основные разновидности этих клеток – *палочки* и *колбочки*, рецепторы соединены с клетками затылочной части коры головного мозга, являющейся центральным звеном органа зрения. В сетчатой оболочке глаза имеется около 130 миллионов палочек и более 7 миллионов колбочек. Максимальная концентрация палочек наблюдается в зоне, смещённой на 10...12° от центра. Колбочки, которые являются рецепторами дневного зрения, расположены наиболее плотно в центральной части сетчатки. Их плотность достигает максимума 10^5 на 1 мм^2 в центральной части оболочки. Нервные волокна обслуживают не более двух-трёх светочувствительных элементов. В отличие от этого, в периферической части сетчатой оболочки на одно волокно нерва приходится несколько десятков и сотен палочек, вследствие чего глаз обладает способностью различать мельчайшие детали, размеры изображения которых не превышают тысячных долей миллиметра (угловой размер 1.3...1.5').

Глаз воспринимает излучение только определённой длины волны – от 0.4 до 1.4 мкм. Наибольшая прозрачность вещества, из которого состоит глаз, достигающая почти 100 %, лежит в области 0.5...0.9 мкм.

Поток излучения проходит через твёрдую прозрачную роговую оболочку. После преломления в ней лучи попадают через зрачок на хрусталик. Сетчатая оболочка глаза состоит из трёх слоёв клеток зрительного нерва – нейронов. Соединения смежных нейронов называют *синапсами*. Излучение достигает первого слоя нейронов и поглощается молекулами светочувствительного вещества, заполняющего палочки и колбочки. Неиспользуемая часть излучения поглощается пигментным слоем, предотвращая этим рассеянный засвет светочувствительных элементов. Палочки не воспринимают цвет и содержат светочувствительное вещество, называемое *родопсином*, которое при поглощении света диссоциирует на ионы протеина и ретинена. Ретинен (или зрительное жёлтое вещество) – белковое вещество, являющееся производным витамина А. Родопсин активно участвует в зрительном процессе в условиях сумеречного зрения. Колбочки являются светочувствительными элементами, содержат светочувствительное вещество, а светочувствительное вещество, заполняющее наружные членники колбочек, окрашено в фиолетовый цвет и называется *иодопсином*.

Каждому значению плотности эффективного облучения соответствует определённая концентрация молекул родопсина и иодопсина, устанавливающаяся в результате баланса распада и восстановления молекул этих веществ. Максимум спектральной чувствительности родопсина соответствует длине волны 0.512, а иодопсина – длине 0.555 мкм. Вследствие значительно большей чувствительности родопсина палочки работают на низких уровнях возбуждения глаза (обеспечивают различение объектов при уровне яркости $0.01 \text{ кд}/\text{м}^2$), в то время как колбочки, обладающие меньшей чувствительностью, работают при высоких уровнях его возбуждения – более $50 \text{ кд}/\text{м}^2$. В связи с этим можно разделить зрение на дневное и ночное (рис. 5). Ночная, или куриная слепота объясняется отсутствием палочкового аппарата или резким ослаблением его деятельности, например приavitaminозе.

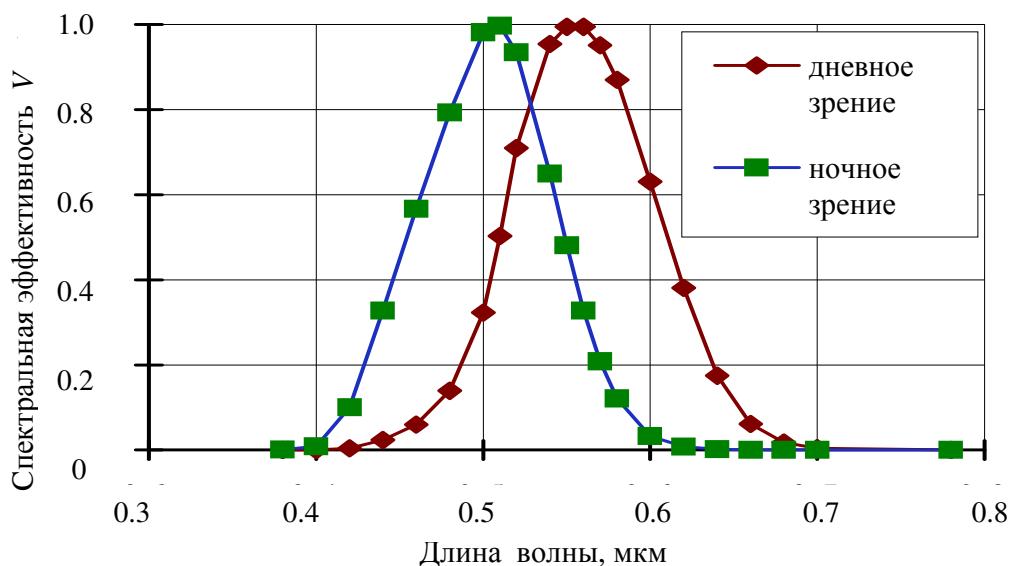


Рис. 5. Относительная спектральная световая эффективность

Воспринимая предметы, человек способен различать их не только по форме, но и по цвету. Колбочки глаза разделяются на красноощущающие (к-рецепторы), зелёноощущающие (з-рецепторы) и синеощущающие (с-рецепторы), которые имеют различную спектральную чувствительность. Окончательное формирование образа и восприятие цвета происходят в зрительных центрах коры головного мозга. Когда орган зрения одновременно получает возбуждение от раздражителей всех волн видимого спектра, глаз видит белый свет. Если же раздражители определённой длины волны преобладают в пучке света, то вызванное им ощущение будет соответствовать доминирующей длине волны.

Цветовое зрение – способность глаза реагировать на воздействие излучений различной длины волны и различать цвета предметов. *Нормальное зрительное ощущение цвета (трихроматопсия)* – способность нормально различать три основных цвета – красный, синий и зелёный. Цветовая слепота представляет собой состояние ошибочного светового видения и разделяется на дальтонизм, т.е. неспособность различать красный и зелёный цвета, и дихромазию – зрение, основанное не на трёх, а на двух первичных цветах.

Цветностью излучения называют качественную характеристику, определяемую различием соотношений уровней реакции трёх приёмников среднего глаза. Излучения, вызывающие одинаковые ощущения цветности, принято называть одноцветными.

В зависимости от условий зрительной работы и места её проведения освещённость может меняться в широких пределах, начиная почти от нуля и кончая 100 000 лк (рис. 6).



Рис. 6. Примерные значения освещённости, встречающиеся на практике

Зрительный аппарат человека адаптируется (приспособливается) к яркости и цвету. Это происходит как за счёт расширения или сужения зрачка, так и регулирования концентрации молекул родопсина и иодопсина в палочках и в колбочках. *Темновая адаптация* – приспособление глаза к работе при снижении яркости в поле зрения человека. Её продолжительность составляет 1...2 ч. *Световая адаптация* – приспособление глаза к работе при высоких

значениях яркости. Это происходит за счёт сужения зрачка и экранирования сетчатки тёмным пигментом. Резкие перепады яркости вызывают характерную реакцию: глаза прикрываются веками (сощищаются) и окружающие предметы наблюдаются сквозь ресницы. Продолжительность световой адаптации длится 5...10 мин. Диаметр зрачка может меняться в широких пределах (примерно, в 4 раза – от 2 до 8 мм). Чрезмерно высокая яркость освещения сетчатки может вызвать спазмы век или зрачков.

Несмотря на то, что человек обладает замечательной способностью адаптации к условиям окружающей среды, в которой он находится, его психофизиологическое состояние и утомляемость зависят от светоцветового окружения. Без света у окружающих предметов отсутствовали бы цвет, форма, перспектива. Однако слишком их большая освещённость может оказаться столь же вредной, как и её недостаток. Кроме того, заслуживают внимания как спектральный состав излучения, так и цветовая окраска окружающих предметов. Полная оценка значения света и цвета для здоровья человека возможна лишь с учётом всех указанных факторов.

Часто наблюдаются разнообразные случаи расстройства зрительного восприятия людей на рабочих местах. Поэтому специалисты по освещению должны стараться обеспечить для них оптимальные условия. Нередко сотрудничество в данном вопросе между архитекторами, специалистами по гигиене труда и специалистами по освещению возникает слишком поздно, поэтому ошибки, появившиеся на начальной стадии проектирования, с трудом поддаются исправлению в дальнейшем. На подготовительном этапе проектирования следует проанализировать типы ламп, световые потоки, яркость и световую отдачу ламп, а также спектральный состав их излучения. Кроме того, серьёзных ошибок можно избежать, если одновременно проводить планирование схемы цветовой окраски объектов в зоне рабочего места и цветовой отделки помещения.

Яркостью объекта наблюдения определяется уровень зрительного ощущения. Неудовлетворительное распределение яркости в освещаемом пространстве и неудачный выбор спектра излучения источников света приводят к возникновению неприятных ощущений и снижению функций зрения. Неприятные ощущения, характеризующиеся чувством неудобства и напряжённости, называются *зрительным дискомфортом*. Он вызывает отвлечение внимания, уменьшение сосредоточенности и приводит к повышенному утомлению. Снижение функций зрения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, а также при наличии в поле зрения ярких источников, носит название *ослеплённости*.

Зрительное утомление – утомление организма, возникающее в результате производственной деятельности человека, связанной со зрительной работой. Результаты утомления – понижение активности сетчатой оболочки, глазных мышц и центрального звена органа зрения, а также увеличение количества ошибок в работе.

Оценку зрительной работоспособности (т. е. способности выполнять зрительную работу и поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций, а значит, производительность труда) и зрительного утомления от освещённости можно представить в виде некоторых обобщённых качественных зависимостей (рис. 7).

Следует отметить, что анализ этих зависимостей объясняет причину того, что слишком интенсивный световой поток может привести к расстройству нервной системы и ухудшению здоровья. С увеличением освещённости рабочего места производительность труда возрастает, однако растёт и зрительное утомление.

Заслуживает внимания и тот факт, что с возрастом острота зрения у большинства людей ухудшается. Под *остротой зрения* понимается способность различать и воспринимать отдельно мелкие детали. В частности, снижается диапазон *аккомодации* – процесса, при котором фокус глаза изменяется с изменением дистанции от одного объекта до другого, и возрастает восприимчивость к блескости. Система саморегулирования, ранее обеспечивающая чёткость изображения на сетчатке путём изменения кривизны хрусталика, после 45 лет перестаёт нормально работать из-за потери эластичности (старческая дальнозоркость). Ближайшая точка ясного видения отодвигается от глаза, и когда расстояние до неё станет превышать 40 см, без очков не обойтись. Пожилые люди часто высказывают жалобы и на неудовлетворительное освещение. Это тоже является причиной снижения производительности труда и быстрого утомления.

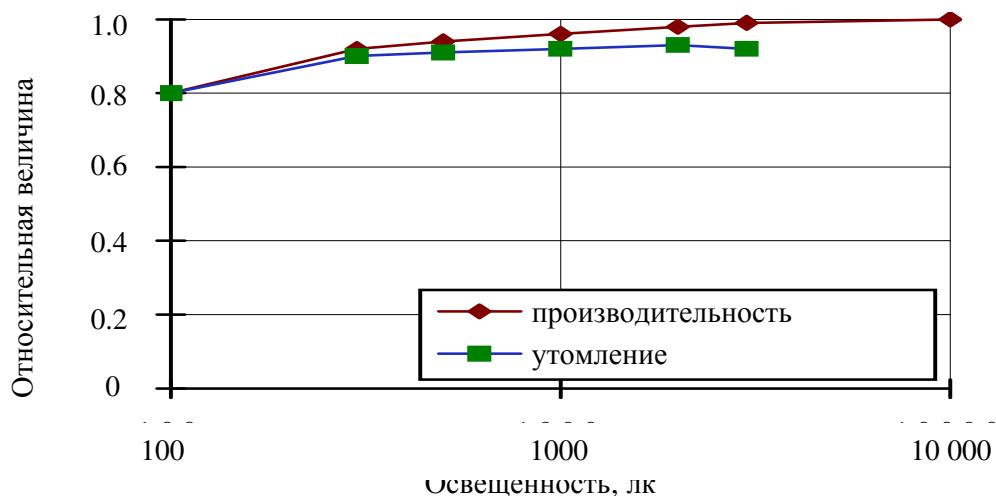


Рис. 7. Зависимость производительности труда и зрительного утомления от освещённости

Исследования показывают, что после 40 лет для обеспечения одинаковой остроты зрения с увеличением возраста необходимо резкое увеличение уровня яркости (рис. 8).

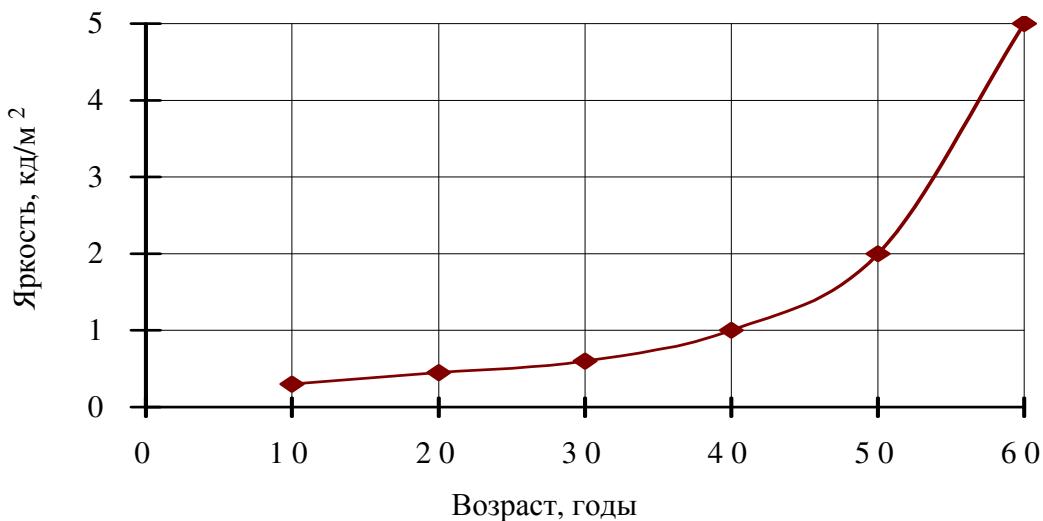


Рис. 8. Необходимый уровень яркости в зависимости от возраста человека

На зрительном восприятии человека сказываются и такие характеристики, как блеск и блескость.

Блеск – величина, применяемая при визуальном наблюдении источника света, когда наблюдатель не воспринимает размеров источника.

Блескость – характеристика отражения светового потока от источника света или рабочей поверхности в направлении глаз работающего. Она определяет уровень снижения видимости из-за чрезмерного увеличения яркости источника света или рабочей поверхности и величины вуалирующего действия, снижающего контраст между объектом и фоном. Блескость ухудшает зрительные функции человеческого глаза, что способствует снижению зрительной работоспособности (в данном случае блескость называется слепящей). Она может привести также к ухудшению рабочего настроения (в этом случае блескость относится к разряду психологического или дискомфортного фактора). Кроме указанных видов блескости различаются *прямая* и *отражённая* блескости.

Возникновение блескости обусловливается воздействием избыточного светового потока, т. е. избыточной яркости в поле зрения. Такое воздействие препятствует процессу адаптации глаза. Существуют также понятия *релятивной* блескости (когда в поле зрения наблюдаются избыточные контрасты), *абсолютной* блескости (когда используется слишком яркий источник света, нарушающий видимость) и *адаптируемой* блескости (пока человеческий глаз еще не адаптировался к общему уровню яркости).

Прямой блескости избежать относительно легко. Предотвратить её можно правильным размещением светильников, установкой жалюзи под источником света, установкой ламп в сферические рефлекторы, ограждением ламп светонепроницаемыми или призматическими затеняющими экранами.

Сконцентрированный в одном месте световой поток, обуславливающий в поле зрения повышенную яркость, может вызвать отражённую блескость, приводящую к снижению функции зрения. Подобное изменение, которое в большинстве случаев не осознается работниками, выполняющими операции, связанные со зрительным восприятием, вызывает повышенное общее и зрительное утомление.

Отражённая блескость может быть уменьшена применением рассеянного освещения и корректировкой угла падения прямого светового потока. Наблюдатель обычно видит перед собой предмет под углом зрения 25° к вертикали. Однако для избежания блескости источник света следует располагать вне угла зрения, равного 45° (рис. 9). Для исключения блескости, создаваемой светильниками местного освещения, нижний край светильника при его установке должен находиться ниже пунктирной линии (1) или выше пунктирной линии (2) (рис. 9). Для ограничения блескости светильник должен выбираться с определённым защитным углом θ , зависящим от угла смещения ϕ над горизонтальной линией зрения.

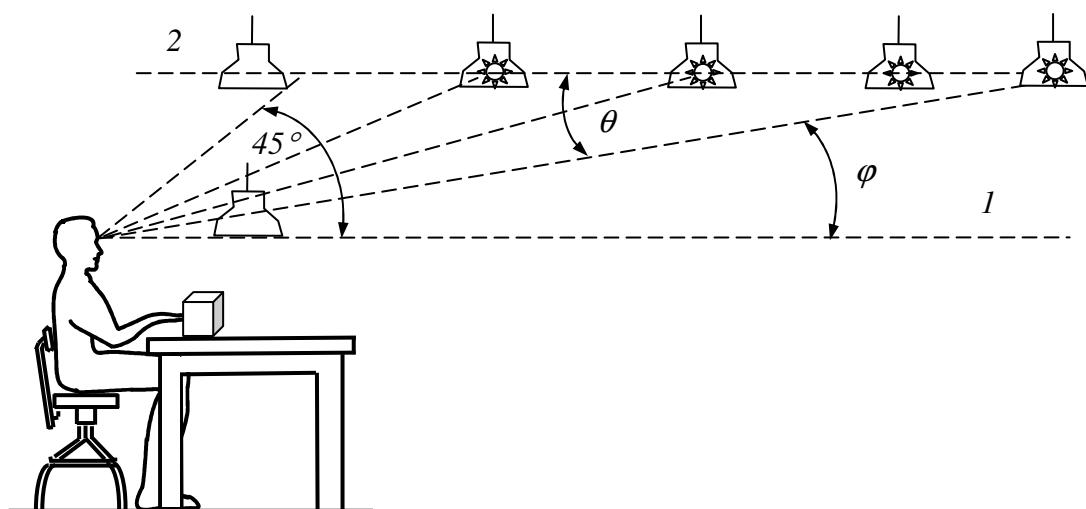


Рис. 9. К пояснению появления эффекта блескости источников света

Если считать, что у людей в возрасте 20 – 40 лет имеется нормальная зрительная восприимчивость к блескости, то у группы людей в возрасте 40 – 50 лет эта восприимчивость выше в три раза, у группы людей в возрасте 50 – 60 лет – в семь раз, а у группы людей в возрасте 60 – 70 лет – в 10 раз.

Свет и цвет влияют на здоровье человека таким же образом, как микроклимат и акустические условия. Для инженеров-светотехников и физиологов, занимающихся проблемами света и цвета, это является стимулом для проведения исследований по определению оптимальных комбинаций света и цвета для каждого цеха, для каждого технологического процесса и т. п. При проведении таких исследований указанные специалисты должны уделять качественной стороне проблемы такое же внимание, как и количественной.

Осветительные средства обладают широкими возможностями в связи с наличием ламп с максимумами излучения в диапазонах трёх длин волн и многочисленных люминесцентных ламп, разработанных в последнее время. Однако в настоящее время замена естественного освещения искусственным с тем же воздействием на человека не представляется возможной. Тем не менее, окна цехов и учреждений, даже несмотря на свои значительные размеры, имеют второстепенное значение для создания достаточной освещённости. Гораздо более важной функцией окон является визуальный контакт внутренней среды помещения с внешней средой.

Открытый в 1823 г. чешским учёным Я. Пуркине эффект посветления синего и потемнения красного цветов по сравнению с белым при переходе от дневного зрения к ночному определяется смещением относительной спектральной световой чувствительности в сторону коротких волн. При этом в глазе повышается концентрация молекул родопсина. Эффект Пуркине в настоящее время используется при проектировании экономичного освещения, в котором используются источники света, создающие синюю составляющую в спектре излучений, воспринимаемую глазом как более яркую по сравнению с другими составляющими цветового ряда света.

Существуют три области применения цвета:

- 1) личная область, где человек имеет возможность выбора цвета в соответствии с индивидуальным вкусом;
- 2) область окружающей среды, на которую человек может влиять незначительно;
- 3) производственная область, в которой желательно использовать цвета, выбранные на научной основе. Такие цвета могут благоприятно влиять на состояние здоровья, способствовать повышению производительности труда и улучшению качества продукции, а также предотвращению несчастных случаев на промышленных предприятиях.

Восприятие цветов неосвещённых предметов обусловливается отражением световых волн определённой длины. Известно, что белая поверхность одинаково отражает все цвета спектра видимого света. Этим объясняется, почему многие предприниматели полагают, что ими сделано все возможное для здоровья своих сотрудников, если производственные помещения ежегодно окрашиваются в белый цвет и обеспечивается их хорошее освещение, позволяющее таким образом создать высокую яркость. Однако белый цвет проявляет наилучший психологический эффект лишь в сочетании с хроматическими цветами. Окрашенные же в белый цвет помещения и белое производственное оборудование вызывают у людей преждевременное утомление и не стимулируют активный и созидательный труд в отсутствие каких-либо других цветов.

Последние исследования, связанные с освещённостью, показали, что искусственное освещение при отсутствии естественного стимулирующее влияет на вегетативную нервную систему человека. Выбором соответствующего

цвета можно влиять как на эрготрофное возбуждение, вызывающее воодушевление и активность, так и на гистротрофное возбуждение, приводящее к уменьшению напряжения и восстановлению сил в организме. Это означает, что для достижения эффектов активности и релаксации, т. е. для притока энергии, используются “тёплые цвета”, а для отдачи энергии – “холодные цвета”. На рис. 10 приведены диапазоны основных цветовых тонов.

Сочетание цветовых тонов, составленных из оттенков жёлто-красного спектра (кремовый, жёлто-коричневый, золотисто-коричневый) может создавать зрительное впечатление теплоты. Светло-голубые и бледно-зелёные цветовые сочетания относятся к холодным. Удовлетворительные условия могут быть достигнуты использованием сочетаний тёплых и холодных тонов.

Однако на практике для достижения указанных ранее эффектов подбор цветов производить чисто умозрительно никогда не следует. Правильный выбор цвета производится на основе предварительного анализа выполняемой работы и рабочего помещения. Выбор цветового оттенка имеет менее важное значение, чем отражательная способность цвета (рис. 11).



Рис. 10. Диапазоны тёплых и холодных цветовых тонов



Рис. 11. Рекомендуемые коэффициенты отражения света

Приведённые общие соображения дают возможность заключить, что освещение, цвет света, цветопередача и выбор цвета в помещении должны соответствовать друг другу, что осуществляется тщательным подбором. Комбинации указанных параметров создают *цветовой климат*. Для достижения равноценных условий комфорта в части освещения следует сочетать с более яркими цветами не “тёплые”, а “холодные” источники.

Цвет освещения, степень распределения светового потока, цветопередача и цвета, используемые в помещении, являются существенными критериями, с помощью которых оценивается воздействие и влияние света и цвета на настроение человека. Яркие цвета создают впечатление приятности и

освещённости и обеспечивают спокойствие, несмотря на то, что они вносят в помещение большее количество света. Тёмные цвета могут создавать мрачный и депрессионный эффект.

Все изложенное показывает, что наличие множества цветов и множества факторов не позволяет сформулировать определённые критерии выбора цвета. Тем не менее, могут быть установлены некоторые основные правила, которые могут использоваться на практике:

1. Источники, излучающие “тёплые цвета” света, увеличивают насыщенность цвета предметов. Малая доля коротковолнового излучения препятствует эффективному воздействию “холодных цветов”.

2. Нейтральный белый цвет света является безопасным и передаёт все цветовые оттенки в правильных соотношениях.

3. Светлые цвета (т. е. цветовые тона, отличающиеся малой насыщенностью, или так называемые пастельные тона) хорошо подходят для фона, в то время как для окраски самих объектов предпочтительны более концентрированные, более насыщенные цвета. Для окраски объектов в общем случае предпочтительны “холодные” цвета, которые, следовательно, считаются безопасными цветами объекта.

4. Восприятие цвета объекта в значительной степени зависит от цвета фона. Эта особенность существенно влияет на эффективность источника света.

Приведённые правила также показывают взаимосвязь между светом и цветом. Свет должен выбираться в соответствии с цветом, и наоборот. Зелёные поверхности, кривая передачи которых имеет пики в жёлто-зелёном и сине-зелёном диапазонах в солнечном свете, покажут оптическое смещение к жёлтому при освещении их лампами накаливания. Аналогичные отклонения возникают при использовании люминесцентных ламп, которые в соответствии с излучаемым ими спектром подчеркивают либо тёплый, либо холодный участок последнего (например, пурпурно-красный становится настоящим красным в “тёплом цвете” света).

Особый случай имеет место при использовании источников света с монохроматическим распределением спектральной энергии, в частности натриевой лампы, которая передает только жёлтый свет.

Кроме того, эффект цвета всегда зависит от окружающего фона. Жёлтый цвет на чёрном фоне кажется светящимся. Однако на белом фоне этот цвет теряет свои светящиеся свойства. Такой эффект, называемый *одновременным контрастом*, следует учитывать в отношении всех цветов и цветовых тонов. Любой цвет на чёрном фоне становится ярче, а на белом фоне – бледнее. Этот эффект обусловлен реакцией, происходящей в сетчатке глаза. Белое остаточное изображение чёрного фона накладывается на изображение цветного объекта и увеличивает его излучение. Тем не менее, чёрное остаточное изображение белого фона накладывается на любой иной цвет и делает его более тёмным. Любой цвет может быть субъективно изменён с помощью соответствующего цвета фона (например, жёлтый цвет покажется золотисто-

жёлтым на сине-зелёном фоне и зелёно-жёлтым на красно-фиолетовом фоне). Следовательно, цвета могут быть подразделены на три группы:

- 1) цвета, которые оказывают влияние на фон (одновременный контраст);
- 2) цвета, влияющие на свой фон (эффект Бецолля);
- 3) цвета, образованные передачей остаточного изображения какого-либо цвета, рассматриваемого непосредственно перед этим изображением (последовательный контраст).

Другим фактором, имеющим на практике большое значение, является влияние фона на объект, и наоборот. Этот фактор включает яркость, тени, насыщенность и текстуру. Значительное количество имеющейся информации относительно света и цвета, на первый взгляд, может показаться запутанным. Однако это должно заставить человека осознать, что решение проблем освещения не может быть предоставлено электрику, а решение проблем планировки цвета не может быть оставлено за художником. Благоприятное психологическое воздействие световой среды помогает уменьшению утомления глаз, сокращению ошибок в работе, повышает производительность труда.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСВЕЩЕНИЯ

Эффективность действия какого-либо излучения на любой образцовый приёмник можно оценить отношением эффективного потока к потоку излучения. Эту величину, равную интегральной чувствительности образцового приёмника, называют *эффективностью излучения*. Световые характеристики излучения являются разновидностью эффективных характеристик, когда приёмником энергии служит глаз человека. Решением Международной комиссии по освещению (МКО) основной функцией спектральной чувствительности глаза принята функция относительной световой эффективности в условиях дневного зрения, являющаяся основой построения системы световых величин и единиц. Соотношение между двумя видами величин (энергетических и световых) приведено в табл. 1.

Световой поток является эффективным потоком и определяется действием на селективный приёмник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ – для дневного зрения и $V'(\lambda)$ – для ночного зрения.

Поток излучения Φ , лм, может быть выражен в виде

$$\Phi = 680 \int_{\lambda=0.38}^{\lambda=0.78} \phi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda,$$

где $\phi_e(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения, Вт/мкм.

1 лм численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным точечным источником с силой

света 1 кд. Световой поток в 1 Вт монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0.55$ мкм равен 680 лм. Таким образом, максимальное значение спектральной световой эффективности, лм/Вт, численно равно 680.

Таблица 1
Соответствие энергетических и световых величин

Энергетические		Световые	
Наименование	Единица	Наименование	Единица
Поток излучения	Ватт (Вт)	Световой поток	Люмен (лм)
Энергия излучения	Джоуль (Дж)	Световая энергия	Люмен-секунда (лм·с)
Сила излучения	Ватт на стерadian (Вт/ср)	Сила света	Кандела (кд)
Плотность облучения	Ватт на квадратный метр (Вт/м ²)	Освещённость	Люкс (лк)
Энергетическая светимость	Ватт на квадратный метр (Вт/м ²)	Светимость	Люмен с квадратного метра (лм/м ²)
Энергетическая экспозиция	Джоуль на квадратный метр (Дж/м ²)	Экспозиция	Люкс-секунда (лк·с)
Энергетическая яркость поверхности	Ватт на стерadian и квадратный метр (Вт/(ср·м ²))	Яркость поверхности	Кандела с квадратного метра (кд/м ²)

Световая отдача источника света η , лм/Вт, характеризуется отношением светового потока к мощности источника света W и определяет его коэффициент полезного действия:

$$\eta = \Phi/W.$$

Световая энергия Q , лм·с, определяется произведением светового потока на время его действия t :

$$Q = \int_0^t \Phi(t) dt.$$

Сила света I , кд (1 кд = 1 лм/ср – пространственная плотность светового потока в заданном направлении):

$$I = d\Phi / d\Omega,$$

где Ω – телесный угол, определяемый отношением площади сферической поверхности, заключённой внутри конуса телесного угла с вершиной в центре сферы, к квадрату радиуса этой сферы.

За направление $I_{\alpha,\beta}$ принимают ось телесного угла $d\Omega$, ориентированную углами α, β в продольной и в поперечной плоскостях (рис. 12). Кандела – сила света, испускаемая в перпендикулярном направлении с площади в $1/600\,000$ м² чёрного тела при температуре затвердевания платины $T = 2045$ К и давлении 101 325 Па.

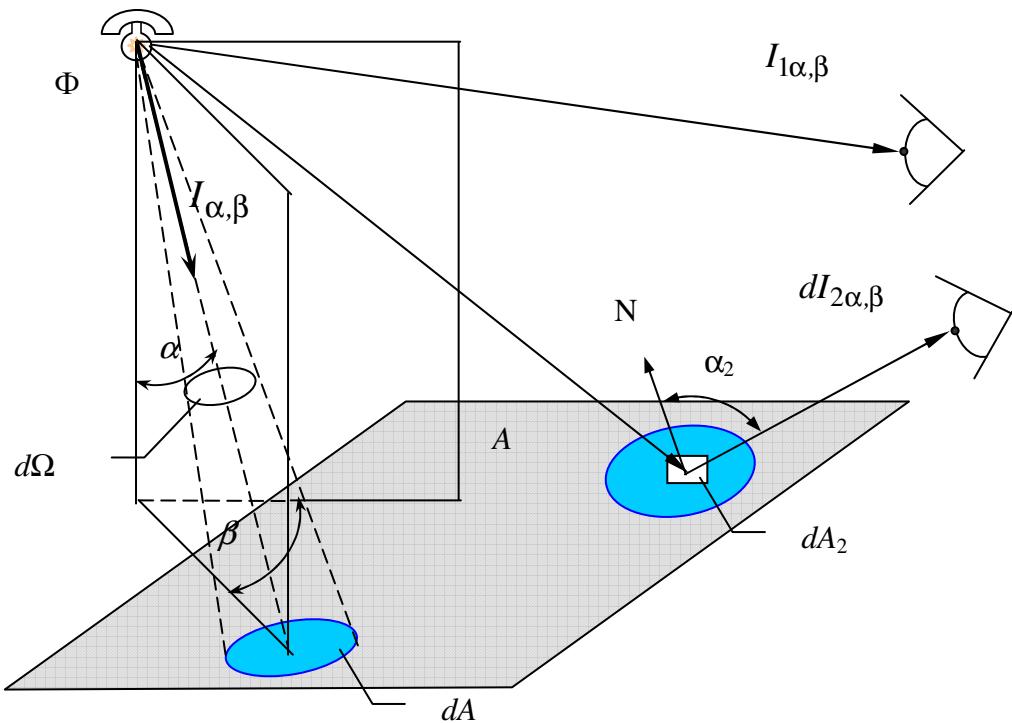


Рис. 12. К определению световых характеристик

Освещённость E , лк, равна отношению светового потока к площади освещаемой поверхности A , на которую он падает и равномерно по ней распределается:

$$E = d\Phi / dA.$$

Единицей освещённости принято считать освещённость, создаваемую световым потоком в 1 лм, равномерно распределённым по поверхности, площадь которой равна 1 м^2 .

Экспозиция (количество освещения) – это световая энергия, упавшая на единицу площади поверхности освещаемого тела и являющаяся *мерой реакции* приёмника в фотохимических процессах.

Яркость поверхности $L_{\alpha,\beta}$, $\text{kд}/\text{м}^2$ – отношение силы света излучающего элемента к площади его проекции на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α, β (рис. 12):

$$L_{\alpha,\beta} = \frac{dI_{\alpha,\beta}}{\cos \alpha dA}.$$

Светимость поверхности $M_{\text{пов}}$, $\text{лм}/\text{м}^2$ – плотность излучаемого (отражаемого) светового потока на площади поверхности излучающего (отражающего) тела:

$$M_{\text{пов}} = d\Phi/dA.$$

Светимостью можно характеризовать плотность светового потока, отражённого от диффузной поверхности с коэффициентом отражения ρ : $M_\rho = \rho E$ или прошедшего через рассеивающие материалы с коэффициентом пропускания τ : $M_\tau = \tau E$.

В России слепящая и дискомфортная блескости оцениваются показателями дискомфорта и ослеплённости.

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражющийся формулой

$$M = \frac{L_c \omega^{0.5}}{\phi_p L_{\text{ад}}^{0.5}},$$

где L_c – яркость блеского источника, $\text{kд}/\text{м}^2$; ω – угловой размер блеского источника, ср ; ϕ_c – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{\text{ад}}$ – яркость адаптации, $\text{kд}/\text{м}^2$.

Данный показатель при проектировании рассчитывается инженерным методом.

Показатель ослеплённости P – критерий оценки слепящего действия осветительной системы, определяемый выражением $P = 1000 \cdot (S - 1)$, где S – коэффициент ослеплённости, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии в поле зрения блеских источников и при равномерном распределении яркости в поле зрения.

Индекс цветопередачи R_a – мера соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещённого исследуемым и эталонным источниками света, при определенных условиях наблюдения. Общий индекс цветопередачи характеризует степень соответствия визуального восприятия цвета восьми эталонных образцов, освещённых исследуемым источником света, с цветом тех же образцов, освещённых эталонным источником света. R_a может достигать максимального значения, равного 100, когда спектральное распределение испытуемого источника и эталонного источника практически одинаково.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой объект рассматривается. Фон считается:

- светлым – при коэффициенте отражения поверхности более 0.4;
- средним – то же от 0.2 до 0.4;
- тёмным – то же менее 0.2.

Контраст объекта различения с фоном K определяется отношением абсолютной величины разности между яркостями объекта и фона к яркости фона. Контраст объекта различения с фоном считается:

- большим – при K более 0.5 (объект и фон резко отличаются по яркости);

- средним – при K от 0.2 до 0.5 (объект и фон заметно различаются по яркости);
- малым – при K менее 0.2 (объект и фон мало различаются по яркости).

Предметы становятся различимыми и опознаются посредством зрения благодаря различиям в яркости и контрасту, которые обеспечивают решение зрительной задачи. Между наблюдаемой конкретной деталью и её фоном должен существовать минимальный контраст. Он может быть создан благодаря различным коэффициентам отражения или с помощью цветового контраста. Обычно, яркостные и цветовые контрасты используются для решения указанной задачи одновременно.

Коэффициент естественной освещённости (КЕО) – отношение естественной освещённости, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещённости, создаваемой светом полностью открытого небосвода. На рис. 13 показан один из примеров зависимости КЕО от расстояния до окна помещения при одностороннем естественном освещении. Нормирование КЕО проводится на расстоянии 1 м от стены помещения, противоположной окнам, если они расположены с одной стороны, или в её середине – при двухстороннем освещении.

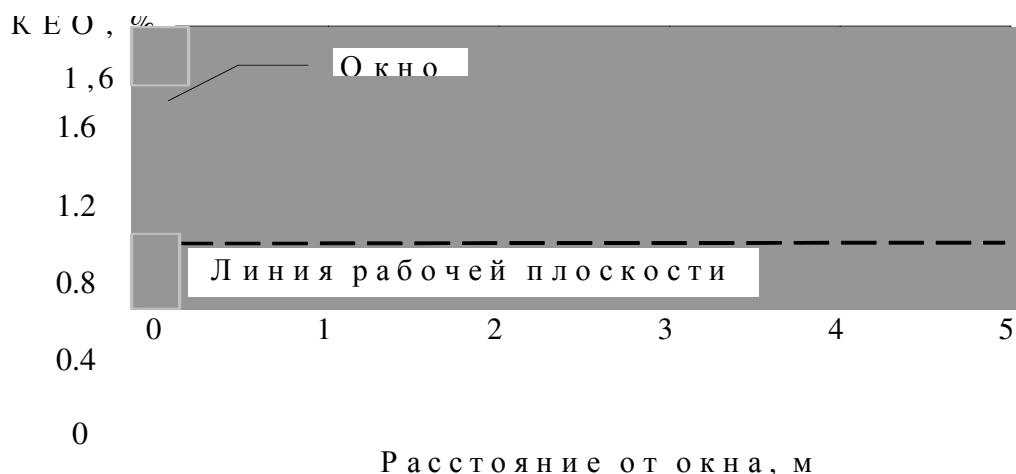


Рис. 13. Распределение коэффициента естественного освещения

Коэффициент запаса – расчётный коэффициент, учитывающий снижение КЕО и освещённости в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проёмах, ослабления светового потока источников света (ламп и светильников), а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения. Согласно СНиП 23-05-95, этот коэффициент может приниматься от 2.0 до 1.5 для производственных помещений, содержащих пыль, дым и копоть, а также пары и газы, обладающие

большой коррозиющей способностью. Для помещений общественных зданий и населённых пунктов коэффициент запаса может быть от 1.7 до 1.2.

Коэффициент равномерности освещённости – отношение минимальной к максимальной или минимальной к средней освещённости поверхностей в поле зрения.

Коэффициент пульсации освещённости, %, может быть представлен как относительное периодическое изменение светового потока (или освещённости):

$$K_{\pi} = \frac{\Phi_{e \max} - \Phi_{e \min}}{2\Phi_{e \text{ср}}} \cdot 100, \quad K_{\pi} = \frac{E_{e \max} - E_{e \min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100,$$

где $\Phi_{e \max}$ и $\Phi_{e \min}$ – максимальное и минимальное значения потока излучения за время $T = 0.02$ с (один период при частоте тока 50 Гц), $\Phi_{e \text{ср}}$ – среднее значение потока излучения за полный период T : $\Phi_{e \text{ср}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \Phi_e(t) dt$.

Здесь $\Phi_e(t)$ – функция изменения мгновенных макроскопических значений потока во времени.

Большие колебания потока источника излучения во времени вызывают:

- стробоскопический эффект (обычно, при $K_{\pi} > 10\%$);
- пульсацию плотности потока излучения во времени на рабочей поверхности;
- утомление зрения и снижение производительности труда.

Коэффициент пульсаций потока может быть снижен за счёт использования специальных схем включения, например в разные фазы трёхфазной сети, и повышения частоты источника питания.

Стробоскопический эффект (от греческих слов “вращение” и “видеть”) – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете. Этот эффект возникает при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, использующих газоразрядные источники света, питаемые переменным током. При освещении двигающегося предмета раздельными периодически повторяющимися вспышками зрительное восприятие движения может распадаться на отдельные фазы.

При большой скорости движения, обеспечивающей большие расстояния, пройденные

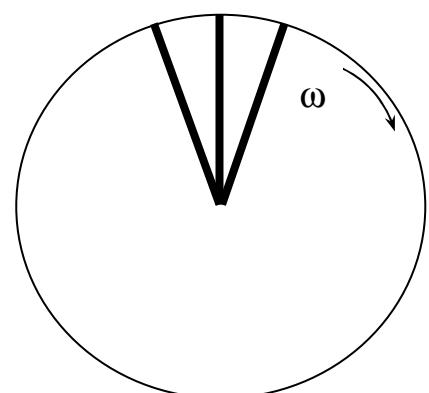


Рис. 14. К пояснению стробоскопического эффекта

телом за каждый период вспышки, движущийся предмет будет зрительно восприниматься находящимся одновременно в разных точках своего пути, т. е. один движущийся предмет будет иллюзорно восприниматься, как несколько одинаковых предметов. При наблюдении периодического движения в условиях проблескового освещения, например вращающегося светлого диска с тёмным сектором (рис. 14), его зрительное восприятие определяется соотношением периода вспышек и периода вращения.

При кратном или при одинаковом значении периодов вспышек и вращения диск будет зрительно восприниматься неподвижным, так как новая вспышка будет соответствовать одному и тому же положению сектора. При несколько большем периоде времени вращения по сравнению с периодом вспышек каждая последующая вспышка будет освещать диск в положении несколько отстающей фазы вращательного движения. При этом будет казаться, что диск медленно вращается в противоположном направлении. Обратное соотношение длительности периодов вызывает кажущееся зрительное впечатление движения в ту же сторону, но с другой скоростью. Этот эффект появляется не только при чередовании световых вспышек и темноты, но и при глубоких периодических колебаниях светового потока.

Фликер – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванное колебаниями амплитуды напряжения в сети питания. Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частотах колебаний 6...10 Гц. Доза фликера P_t – мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени, т. е. интегральная характеристика колебаний напряжения, вызывающих у человека накапливающееся за установленный период времени раздражение мерцаниями (миганиями) светового потока.

Методика измерения фликера определена в ГОСТ 51317.4.15-99. Фликерметры на основе измерений колебаний напряжения в сети производят вычисление дозы фликера методами моделирования реакции “лампа-глаз-мозг”.

Дозу фликера вычисляют по выражению:

$$P_t = \frac{1}{T_{\text{оср}}} \sum g_f^2 \int \delta U_f^2 dt ,$$

где δU_f – действующие значения составляющих разложения в ряд Фурье изменений напряжения с размахом δU ; g_f – коэффициент приведения действительных размахов изменения напряжения к эквивалентным; $T_{\text{оср}}$ – интервал времени осреднения.

Наибольшее влияние фликер оказывает на источники искусственного освещения. Причём при одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние у ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем у газоразрядных и светодиодных ламп. Кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt} , изме-

ренная в интервале времени 2 ч, относятся к показателям качества электроэнергии по ГОСТ Р 54149–2010. Наиболее вероятными виновниками колебаний напряжения являются электроприёмники с переменной нагрузкой. В целях уменьшения ущерба от фликера (утомляемость зрения, усталость, профессиональные заболевания) рекомендуется по возможности подключать источник фликера в точке сети, где расчётная мощность короткого замыкания значительно превышает мощность, потребляемую аппаратом.

Цветовая температура T_u , К – температура излучателя Планка (чёрного тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта. Восприятие цвета, создаваемое освещением, зависит не только от цвета светового потока, но и от общего уровня освещённости. Цветовая температура лампы накаливания мощностью 100 Вт – приблизительно 2800 К, в то время как цветовая температура соответствующей люминесцентной лампы находится в пределах 4000 К. (Цветовая температура облачного неба может достигать 10 000 К.)

Круитов с помощью диаграммы комфорта (рис. 15), вызвавшей некоторую дискуссию, показал, что можно сохранять чувство комфорта при низком уровне освещённости, если цветовая температура относительно низкая.

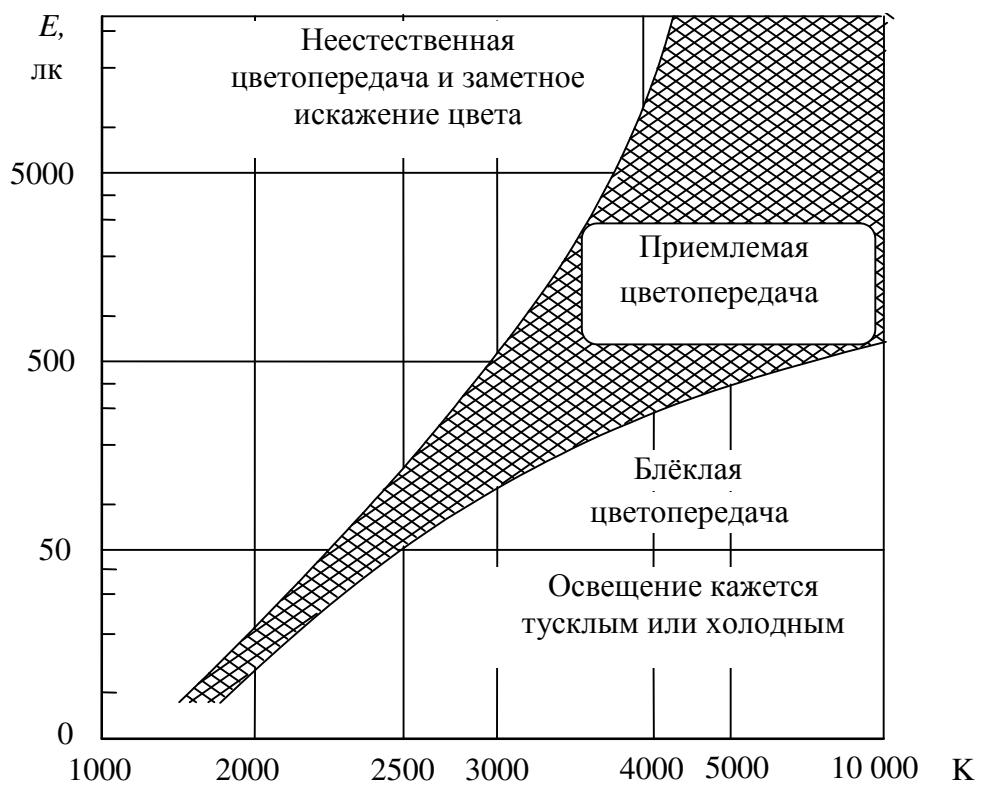


Рис. 15. Предпочтительная цветовая температура освещения при различных уровнях освещённости (диаграмма Круитова)

Однако цветовая температура 1750 К, которая соответствует пламени свечи, едва ли достаточна на рабочем месте, хотя вполне возможно ощущать

комфорт при освещении свечами. Из диаграммы видно, что свет может иметь ярко-жёлтый цвет, если уровень яркости слишком высок, и казаться голубоватым, если этот уровень слишком низок. Свет воспринимается “белым” лишь в середине области, которая расширяется в функциях температуры и уровня освещённости. Очевидно, что этот свет является оптимальным для здоровья человека.

Выбор *цвета светового потока*, играет важную роль в обеспечении хорошего качества освещения. Выбор правильного цвета светового потока определяется его предназначением, и соответствующие требования диктуются зрительным восприятием. Чем более цвет излучения приближается к белому, тем лучше будет цветопередача и эффективность светового потока. Чем более цвет приближается к красному, тем хуже будет качество цветопередачи, но зато освещение создаст эмоциональную атмосферу.

Цветопередача – общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава источника света на зрительное восприятие цветных объектов, сознательно или бессознательно сравниваемое с восприятием тех же объектов, освещённых стандартным источником света. Поскольку искусственный свет имеет спектральный состав, отличающийся от спектрального состава естественного света, цветопередача при искусственном освещении отличается от цветопередачи при естественном свете и поэтому специалисты по освещению пытаются максимально приблизить искусственный свет к естественному.

Цвет излучения, образуемый естественными источниками света, может быть подразделён на три области, которые не имеют четких границ и связаны с цветовой температурой:

- 1) белый дневной свет – около 6000 К;
- 2) нейтральный белый – около 4000 К;
- 3) тёплый белый – около 3000 К.

Индекс общей цветопередачи Ra характеризует уровень, при котором цвет объекта согласуется с его внешним видом при различных эталонных источниках света. В действительности, хорошая цветопередача соответствует индексу Ra 100. Существуют четыре степени цветопередачи по качеству: 1-я – 85...100; 2-я – 70...84; 3-я – 40...69 Ra и 4-я – ниже 40 Ra.

Цилиндрическая освещённость $E_{\text{ц}}$ – характеристика насыщенности помещения светом. Она определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. Расчёт цилиндрической освещённости производится инженерным методом.

Полуцилиндрическая освещённость $E_{\text{пц}}$ – характеристика насыщенности светом пространства и тенеобразующего эффекта освещения для наблюдателя, движущегося по улице параллельно её оси. Она определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально распо-

ложенного на продольной линии улицы на высоте 1.5 м полуцилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. Полуцилиндрическая освещённость рассчитывается также инженерным методом.

ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Если источником излучения являются солнце, светильные приборы, экраны телевизоров или мониторы компьютеров, светящиеся циферблты или сигнальные приборы и панели, то такие источники являются *прямыми*, а зрительная работа относится к работе с *самосветящимися объектами* (рис. 16). Выполнять такую зрительную работу не всегда безвредно и безопасно из-за специфических свойств, которые присущи этим источникам. Основные вредные факторы, способствующие болезням глаз при работе с монитором, следующие: нерациональное освещение рабочего места, нерациональные характеристики монитора (яркость, контрастность, низкое разрешение, мерцание, низкочастотное дрожание изображения, недостаточное количество цветов и оттенков и т. д.).

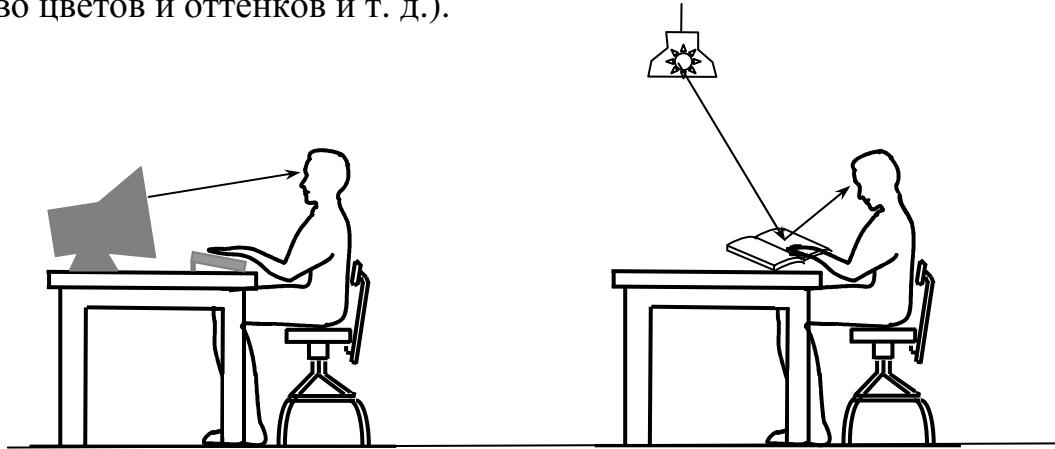


Рис. 16. Примеры работ в прямом и в отражённом свете

Если же свет отражается от объекта, на который направлены глаза человека во время работы, то такая работа относится к работе в *отражённом свете*. Она уже менее вредна. Например, бывает гораздо приятнее читать распечатанный текст на принтере, чем на экране монитора.

Для промышленных условий имеются восемь разрядов зрительной работы, которые зависят от наименьшего или эквивалентного размера объекта различения: I – наивысшей точности, II – очень высокой точности, III – высокой точности, IV – средней точности, V – малой точности, VI – грубая работа (очень малой точности), VII – работа с самосветящимися объектами и изделиями в горячих цехах, VIII – общее наблюдение за ходом производственного процесса и общее наблюдение за инженерными коммуникациями. Подразряды зрительной работы зависят от контраста объекта с фоном и характеристики фона, например, подразряд “а” означает малый контраст и тёмный фон и т. д.

Для непромышленных и бытовых условий принятая следующая характеристика зрительной работы: различение объектов при фиксированной и нефиксированной линиях зрения (А – очень высокой точности, Б – высокой точности и В – средней точности), обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов независимо от размера объекта различения (Г – при высокой насыщенности, Д – при нормальной насыщенности и Е – при низкой насыщенности помещений светом), общая ориентировка в пространстве интерьера – Ж и общая ориентировка в зонах передвижения – З.

Одной из характеристик зрительной работы является *объект различения*. Это рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы. Как правило, этот параметр используется при условии, что объект различения расположен до глаз на расстоянии не более 50 см. Если это условие не соблюдается, размер объекта различения определяется по специальным поправочным таблицам.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Основные виды освещения и определения освещения приведены далее.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отражённым), проникающим через световые проёмы в наружных ограждающих конструкциях. Оно должно быть обеспечено при постоянном пребывании людей в помещении, подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное.

Боковое естественное освещение – естественное освещение помещения через световые проёмы в наружных стенах.

Верхнее естественное освещение – естественное освещение помещения через фонари, световые проёмы в стенах, находящиеся в местах перепада высот здания.

Совмещённое освещение – освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным. Его следует предусматривать для производственных помещений I – III разрядов зрительной работы, а также в больших по размеру зданиях с широкими пролётами, где трудно обеспечить нормированное значение КЕО. Для жилых, общественных и административно-бытовых зданий оно используется только тогда, когда это требуется по условиям выбора рациональных объёмно-планировочных решений.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещённость, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Искусственное освещение может быть двух систем – общее и комбинированное.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). Предусматривать систему общего освещения для разрядов I – III, IV_a, IV_b, IV_v и V_a допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения. Общее искусственное освещение производственных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться разрядными источниками света. Использование ламп накаливания допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп.

Комбинированное освещение – освещение, при котором к общему освещению добавляется местное.

Местное освещение – освещение, дополнительное к общему, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах. Кроме разрядных ламп здесь можно использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Источники света должны выбираться по их цветовым характеристикам. Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Оно предусматривается в случае, если отключение рабочего освещения и связанное с ним нарушение обслуживания оборудования и механизмов могут привести к взрыву, пожару, отравлению людей, нарушению работы ответственных объектов (электростанций, узлов радио- и телевизионных передач, вентиляции и кондиционирования воздуха, в которых недопустимо прекращение работы, и т. д.)

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении нормального освещения. Оно применяется в местах, опасных для прохода людей, на эвакуационных лестницах, в лестничных клетках жилых зданий при высоте шести и более этажей, в производственных помещениях, где выход людей связан с опасностью травматизма при продолжении работы оборудования, и в производственных помещениях без естественного света. Наименьшая освещённость в производственных помещениях должна быть в размере 5 % от нормируемой освещённости рабочего освещения (обычно, не более 30 лк при разрядных лампах и 10 лк при лампах накаливания), но не менее 1 лк.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ

Целью нормирования освещения является создание в освещаемом помещении *световой среды*, обеспечивающей светотехническую эффективность систем освещения с учётом требований физиологии зрения, гигиены труда, техники безопасности и т. п. при минимальных затратах электроэнергии и других материальных ресурсов. Световая (цветосветовая среда) помещения определяется спектральными характеристиками и распределением во времени и в пространстве прямых и отражённых световых потоков, излучаемых источниками света, и её психофизиологическое действие оценивается по критериям, характеризующим общее состояние человека.

В мировой практике при разработке нормативных документов показатели эффективности освещения (уровень производительности труда, вероятность правильного решения зрительной задачи, уровень видимости, безаварийности работы транспорта и т. д.) используются лишь как критерии нормирования, а в качестве регламентируемых характеристик принимаются количественные и качественные параметры освещения.

В качестве количественных характеристик используются яркость, освещённость, цилиндрическая освещённость, коэффициент естественного освещения. Качество освещения характеризуется ослеплённостью и дискомфортом, неравномерностью распределения яркости или освещённости, коэффициентом пульсации светового потока, спектральным составом излучения источников света.

Выбор освещённости в качестве нормируемого параметра объясняется наличием большого количества исследований, устанавливающих связь между показателями эффективности систем освещения, производительностью труда, зрительной работоспособностью, видимостью и яркостью, на которую непосредственно реагирует орган зрения (освещённость однозначно связана с яркостью поверхности через коэффициент её отражения). Кроме того, освещённость достаточно легко рассчитывается и может быть измерена переносными люксметрами.

Классификация зрительной работы по точности, являющаяся основой нормирования в России (Свод правил СП 52.13330.2011, Актуализированная редакция строительных норм и правил СНиП 23-05-95), на протяжении всей истории нормирования почти не претерпела изменений. В настоящее время почти все зарубежные страны перешли на аналогичную классификацию. Сложность зрительной работы при одинаковой точности определяется её продолжительностью, степенью разрешения зрительной задачи (обнаружение или различение), количеством объектов различения в поле зрения, необходимостью их поиска, ограничением времени обнаружения, а также возрастом работающих.

Количественной характеристикой освещения является освещённость рабочей поверхности, на которой непосредственно расположены объекты

различения. Она нормируется в зависимости от отражающих свойств, точности и сложности зрительной работы.

Нормированные значения освещённости в люксах, отличающиеся на *одну ступень*, следует принимать по шкале: 0.2; 0.3; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000. Повышение или понижение освещённости на одну или две ступени необходимо в некоторых частных случаях, определяемых в СНиП.

Условия зрительной работы зависят не только от освещённости, но и от качества освещения. Поэтому в нормативах всех стран приводятся требования к разным характеристикам качества освещения.

Нормирование слепящего действия. Рекомендации МКО и ряда стран дают понятие физиологической слепимости (ослеплённости) и психологоческой слепимости (дискомфорта). Оценка ослеплённости позволяет избежать дискомфорта или ухудшения видимости в прямой или в косвенной зоне зрения. Критическая зона обзора лежит между 45 и 85° (рис. 17).

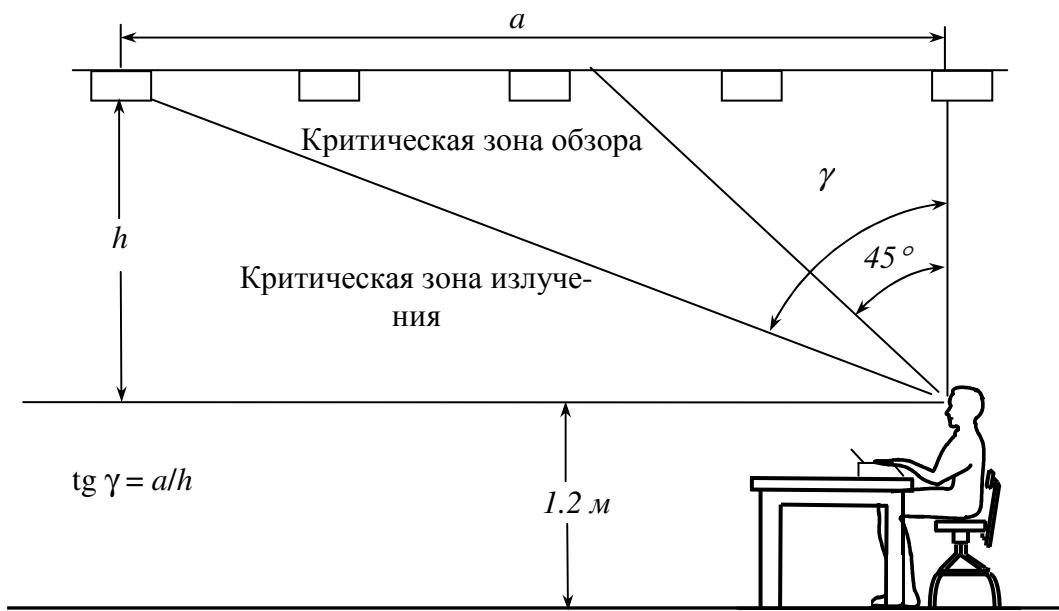


Рис. 17. Критическая зона обзора и соответствующая критическая зона излучения светильника, в которой требуется ограничение яркости

В России в качестве оценки слепящего действия промышленного освещения используется показатель ослеплённости, который может находиться в диапазоне от 10 или 20 – для работ очень высокой и наивысшей точности, до 40 – для работ ниже высокой точности. Этот показатель при любой системе освещения регламентируется только для общего освещения.

Для местного освещения рабочих мест рекомендуется использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Они должны располагаться

ся таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

Местное освещение при работе с трёхмерными объектами различения выполняется:

- при диффузном отражении фона – светильником, отношение наибольшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения её над рабочей поверхностью составляет не более 0.4 при направлении оптической оси в центр рабочей поверхности под углом не менее 30° к вертикали;
- при направленно-рассеянном и смешанном отражениях фона – светильником, отношение наименьшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения её над рабочей поверхностью составляет не менее 0.5, а её яркость – от 2500 до $4000 \text{ кд}/\text{м}^2$. Яркость рабочей поверхности не должна превышать 2000, 1500, 1000, 750 и $500 \text{ кд}/\text{м}^2$;
- при площади рабочей поверхности, соответственно, менее 10^{-4} , $10^{-4} \dots 10^{-3}$, $10^{-3} \dots 10^{-2}$, $10^{-2} \dots 10^{-1}$ и более 10^{-1} м^2 .

Метод оценивания дискомфорта при слепящем действии источников света в ряде стран и в России используется для нормирования слепящего действия в помещениях общественных зданий. Показатель дискомфорта может быть от 40...60 при точных зрительных работах (15...25 – для таких же работ в помещениях с повышенными требованиями к качеству освещения, например, в спальных комнатах детских садов, яслей или санаториев, в дисплейных классах и т. д.), до 90 или же не регламентироваться совсем в случае обзора пространства и общей ориентировки. Он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом.

Нормирование неравномерности распределения яркости и освещённости в поле зрения. Рекомендации для этих видов нормирования достаточно близки между собой и могут быть сформулированы следующим образом. Центральная часть поля зрения, где производится зрительная работа, не должна быть темнее окружения или много светлее его. В обоих случаях снижается видимость объекта различения, отвлекается внимание, появляется повышенное утомление и дискомфорт. В то же время яркость поля зрения не должна быть полностью равномерна, это вызывает неприятное ощущение монотонности. Наилучший вариант, когда яркость окружения немного меньше яркости центра. В ряде стран, в том числе и в России, приводится соотношение освещённости от общего и от местного освещения, причём общее освещение в системе комбинированного освещения должно создавать освещённость не менее 10...20 % суммарного значения, но не менее 140...160 лк. Для зрительной работы средней и малой точностей, когда суммарная освещён-

нность не превышает 300 лк, доля освещённости от общего освещения поднимается до 50...70 %. Согласно СНиП 23-05-95, для производственных помещений доля общего освещения должна быть не менее 10 % и освещённость должна быть не менее 200 лк – при разрядных лампах и не менее 75 лк – при лампах накаливания. Создавать освещённость от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк – при разрядных лампах и более 150 лк – при лампах накаливания (ЛН) допускается только при наличии обоснований этого. В помещении без естественного света освещённость рабочей поверхности, создаваемой светильниками общего освещения, следует повышать на одну ступень. Отношение максимальной освещённости к минимальной не должна превышать для работ I – III разрядов при люминесцентных лампах (ЛЛ) 1.3, при других источниках света 1.5, для работ разрядов IV – VII – 1.5 и 2.0 соответственно.

Освещение проходов или участков, в которых работа не производится, должно составлять не более 25 % нормируемой освещённости, создаваемой светильниками общего освещения, но не ниже 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

Ограничение пульсации светового потока. Работа в условиях пульсирующей освещённости снижает работоспособность органа зрения, вызывает повышенное утомление, головные боли и т. д. Значение коэффициента пульсации регламентируется в зависимости от точности зрительной работы и наличия в поле зрения движущихся или вращающихся объектов. Согласно СНиП 23-05-95, он может составлять от 10 до 20...40 % – для промышленных предприятий и от 10 до 15...20 % – для жилых, общественных и административно-бытовых зданий. Специальные, более жёсткие требования коэффициента пульсации, который не должен превышать 5 %, предъявляются только санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.2.1340-03 для работ с видеодисплейными терминалами персональных ЭВМ. При питании источников света током частотой 300 Гц и более, например за счёт использования различных высокочастотных пускорегулирующих аппаратов, коэффициент пульсации не определяется и не нормируется.

Коэффициент естественного освещения. В зависимости от характера зрительной работы при совмещённом освещении КЕО для промышленных предприятий может быть от 6.0 или 2.0 – для наивысшей точности работ до 0.2 или 0.1 – при наблюдении за коммуникациями, соответственно, при использовании верхнего и комбинированного освещения или при боковом освещении. Для помещений жилых и общественных зданий может быть от 4.0 или 1.5 – для высокой точности работ, до 2.0 или 0.5 – при низкой насыщенности помещения светом и кратковременном различении объектов во время обзора окружающего пространства, соответственно, при верхнем и боковом или только при боковом освещении. КЕО менее точных работ не нормируется.

Для зданий, расположенных в различных климатических районах России, нормированный КЕО определяется умножением его табличного значе-

ния на коэффициент светового климата, который определён СНиП 23-05-95 и может принимать значения от 1.2 до 0.7. *Световой климат* – совокупность условий естественного освещения в той или иной местности (освещённость, создаваемая на различных вертикальных поверхностях рассеянным светом неба и солнцем, продолжительность солнечного сияния и т. д.) за период более 10 лет.

Требования к спектральному составу излучения. В нормах разных стран большое внимание уделяется созданию благоприятного цветового климата в помещении, особенно при выполнении точных зрительных работ. В зависимости от нормируемой освещённости и требований к цветопередаче в СНиП 23-05-95 даются рекомендации по выбору индекса цветопередачи, цветовой температуры с перечислением конкретных типов источников света.

Комплексный показатель (КП) светоцветовой среды. В качестве КП принята относительная производительность труда, зависящая от яркости рабочей поверхности и качества освещения. КП, %, определяется как произведение относительных уровней производительности труда в функции яркости рабочей поверхности при идеальном качестве освещения Π_L и производительности труда в функции качества освещения при оптимальной яркости Π_q : $KP = 100 \cdot \Pi_L / \Pi_q$. Значения КП лежат в пределах 88...97 % в зависимости от системы освещения, разряда и подразряда зрительной работы. Иными словами, допускается получить производительность труда в пределах 0.88...0.97 максимально возможного уровня, имеющего место при оптимальных условиях освещения. Предполагается, что с учётом строгой экономии электроэнергии для систем комбинированного освещения КП = 95 %, для систем общего освещения КП = 85...95 %. Признано целесообразным использовать КП светоцветовой среды только для зрительных работ Ia – IIIa, так как для более грубых работ снижение освещённости ниже 200 лк недопустимо по гигиеническим соображениям.

Требования к освещению помещений промышленных предприятий (КЕО, нормируемая освещённость, допустимые сочетания показателей ослеплённости и коэффициента пульсации освещённости) (табл. 2), а также жилых, общественных и административно-бытовых зданий (КЕО, нормируемая освещённость, цилиндрическая освещенность, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещённости) приведены в СНиП 23-05-95.

Учёт возраста. СНиП 23-05-95 предусматривается, что в случае, если половина или более работающих в помещении – люди старше 40 лет, уровень освещённости должен быть повышен на одну ступень по сравнению с табличной величиной.

Учёт времени работы. СНиП 23-05-95 предусматривается повышение освещённости на одну ступень, если зрительная работа I – IV разрядов выполняется более половины рабочего дня.

Таблица 2

		Освещение													
		искусственное								естественное		совместное			
		освещённость, лк				Показатель ослеплённости и коэффициент пульсации				KEO, %					
		при системе комбинированного освещения				при системе общего освещения									
		Всего		В том числе от общего		P		K_{Π} , %		Верхнее или комбинированное		Боковое			
		Подразряд		Характеристика объекта с фоном		Характеристика фона									
I	Разряд зрительной работы	a	M	T	5000 4500	500 500	— —	20 10	10 10	—		6.0			
		б	M	Cр	4000	400	1250	20	10						
		Ср	T	3500	400	1000	10	10							
		в	M	Cв	2500	300	750	20	10						
II	Разряд зрительной работы	Ср	Cр	2500	300	750	20	10	—		4.2				
		Г	Cр	Cв	1500	200	400	20	10						
		б	B	Cв	1500	200	400	20	10						
		г	B	Cр	1250	200	300	10	10						
III	Разряд зрительной работы	а	M	T	4000 3500	400 400	— —	20 10	10 10	—		3.0			
		б	M	Cр	3000	300	750	20	10						
		в	M	Cв	2000	200	500	20	10						
		г	Cр	Cв	1000	200	500	20	10						
	Разряд зрительной работы	а	M	T	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	—		4.2			
		б	M	Cр	1000	200	300	40	15						
		в	Cр	Cв	750	200	300	40	15						
		г	B	Cв	600	200	200	20	15						
	Разряд зрительной работы	а	M	T	400	200	200	40	10	—		1.2			
		б	B	Cв	400	200	200	40	10						
		в	B	Cр	400	200	300	40	10						
		г	Cр	Cв	400	200	300	40	10						

Окончание таблицы 2

Грубая (очень малой точности). (более 5)		Малой точности (от 1 до 5)		Средней точности (от 0.5 до 1.0)		Характеристика зрительной работы. Размер объекта, мм		Освещение							
								Подразряд		искусственное				естественное	
IV	IV	Контраст объекта с фоном		Характеристика фона		освещённость, лк		Показатель ослеплённости и коэффициент пульсации		KEO, %					
		Всего	В том числе от общего	при системе комбинированного освещения		При системе общего освещения		P	K _п , %						
V	V	a	M	T	750	200	300	40	20	4	1.5	2.4	0.9		
		б	M Cр Cр	Cр T	500	200	200	40	20						
		в	M Cр Б	Cв Cр T	400	200	200	40	20	4	1.5	2.4	0.9		
		г	Cр Б Б	Cв Cв Cр	400	200	200	40	20						
VI	VI	a	M	T	400	200	300	40	20	3	1.0	1.8	0.6		
		б	M Cр Cр	Cр T	—	—	200	40	20						
		в	M Cр Б	Cв Cр Т	400	200	200	40	20						
		г	Cр Б Б	Cв Cв Cр	—	—	200	40	20						
		Независимо от фона и контраста объекта		—		—		200		40		3		1.0	

П р и м е ч а н и е. Контраст объекта с фоном (Б – большой, М – малый, Ср – средний), характеристика фона (Св – светлый, Ср – средний, Т – тёмный).

Нормирование освещённости может проводиться для пола или для рабочей поверхности. *Рабочая поверхность* – поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещённость. *Условная рабочая поверхность* – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Для нормирования уличного и дорожного освещения введены три категории объектов по освещению: А – магистральные дороги и улицы общегородского назначения (средняя яркость и горизонтальная освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.8\ldots1.6 \text{ кд}/\text{м}^2$ и $15\ldots20 \text{ лк}$), Б – магистральные улицы районного значения (средняя яркость и освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.4\ldots1.0 \text{ кд}/\text{м}^2$ и $10\ldots15 \text{ лк}$), В – улицы и дороги местного значения (средняя яркость и освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.2\ldots0.4 \text{ кд}/\text{м}^2$ и $4\ldots6 \text{ лк}$) в зависимости от интенсивности движения транспорта. Показатель ослеплённости не должен превышать 150 для категории объектов А и Б. Средняя яркость покрытий тротуа-ров, примыкающих к проезжей части, должна быть не менее половины при-ведённых значений яркости.

Для сельских поселений горизонтальная освещённость на уровне покрытий улиц, дорог, проездов и площадей должна составлять от 2 лк – для поселковых дорог до 4 лк – для главных дорог и основных улиц в жилой застройке.

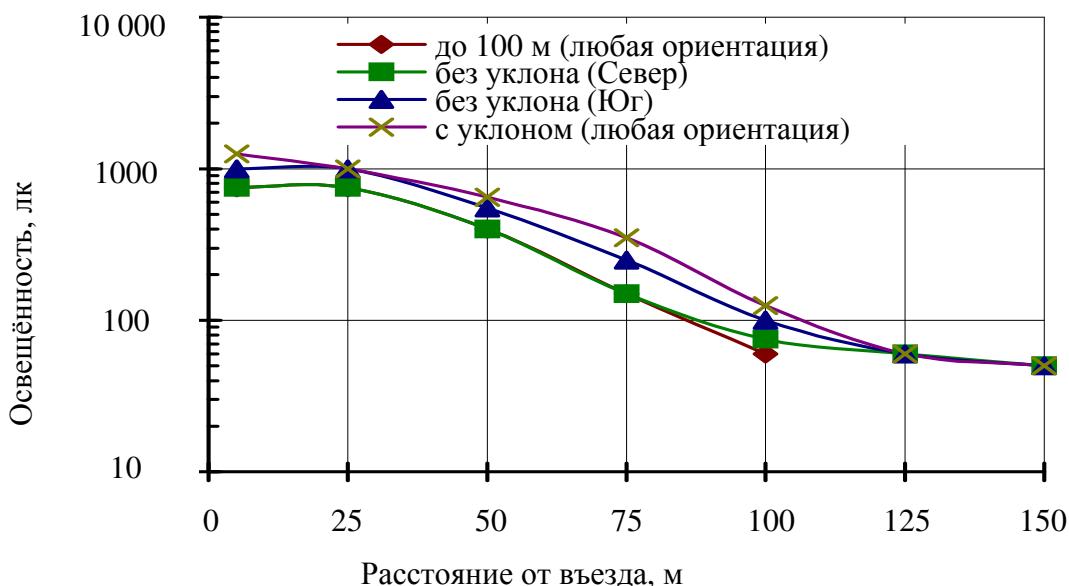


Рис. 18. Распределение освещённости по длине туннеля

Специальные требования предъявляются к освещению туннелей и путепроводов, при въезде в которые или выезде из них учитываются процессы адаптации зрения человека. Средняя горизонтальная освещённость дорожного покрытия под путепроводами и мостами в тёмное время суток должна быть не менее 30 лк при длине проезда до 40 м. Для большей длины, а также для городских транспортных туннелей, средняя освещённость дорожного по-

крытия должна быть 50 лк во всех режимах, а в дневное время при длине более 60 м должна зависеть от длины, уменьшаясь к середине туннеля (рис. 18).

Для наружного освещения рекомендуется использовать светильники с экономичными разрядными источниками света высокого давления, например натриевыми. В транспортных туннелях должны применяться светильники с защитным углом не менее 10° . Высота их расположения должна быть не менее 4 м. Это позволяет ограничить слепящее действие светильников на водителей и пассажиров.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Виды оптических излучений

По физической природе различают два вида излучений – тепловое и люминесценцию. *Тепловым* называют излучение, возникающее при нагревании тел. У твёрдых тел оно имеет непрерывный спектр, зависящий от температуры тела и его оптических свойств. Тепловыми излучателями являются все источники, свечение которых обусловлено нагреванием, например лампы накаливания. *Люминесценцией* называют спонтанное излучение, избыточное над тепловым излучением, если его длительность значительно превышает период колебаний электромагнитной волны соответствующего излучения. Она наблюдается в газообразных, жидких и твёрдых телах.

Твёрдые или жидкые вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений, называют *люминофорами*. Спектр люминесценции может состоять из отдельных линий (излучение отдельных атомов и ионов), полос (излучение молекул) и непрерывных участков (излучение твёрдых тел и жидкостей). При люминесценции возможно более эффективное преобразование подводимой энергии в оптическое излучение, чем при тепловом возбуждении, поскольку люминесценция не требует нагрева тел.

В источниках света используются следующие виды люминесценции. *Электролюминесценция* – оптическое излучение атомов, ионов, молекул, жидких и твёрдых тел под действием ударов электронов (ионов), движущихся со скоростями, достаточными для возбуждения. Излучение разрядных ламп (РЛ) представляет собой электролюминесценцию газов и паров. Различные виды электролюминесценции твёрдых тел используются в электролюминесцентных панелях и светоизлучающих диодах. Свечение люминофоров под действием пучка электронов достаточной скорости называют *катодолюминесценцией*. Она используется в электронно-лучевых трубках.

Фотолюминесценция – оптическое излучение, возникающее в результате поглощения телами энергии внешнего излучения. В парах и газах наблюдается множество видов фотолюминесценции, определяемых энергией поглощаемых фотонов и строением поглощающих атомов, ионов или молекул, например резонансная флюоресценция паров и газов. Фотолюминесценция люминофоров применяется в люминесцентных и некоторых других РЛ.

Характеристики ламп и их параметры

Излучение ламп характеризуется световым потоком Φ_λ , силой света I , световой яркостью L , её распределением по поверхности светящегося тела по направлениям и спектром излучения. Цвет излучения ламп дополнительно характеризуется цветовыми параметрами: координатами цветности x и y , цветовой температурой T_u и индексом цветопередачи R_a . Цвет излучения дуговых ртутных ламп высокого давления (ДРЛ) оценивается так называемым красным отношением.

Тепловой режим характеризуется температурами тела накаливания, колбы, электродов и других узлов лампы. Необходимые температуры обеспечиваются правильным выбором размеров в соответствии с типом и мощностью, а также соблюдением определённых условий эксплуатации (рабочее положение лампы, вентиляция, рекомендуемая температура окружающей среды).

При оценке *эффективности лампы* наиболее важным показателем является световая отдача лампы, равная отношению светового потока к потребляемой мощности: $\eta_\lambda = \Phi_\lambda / P_\lambda$. Основными показателями долговечности являются полный и полезный сроки службы. Под *полным сроком службы* $\tau_{\text{пол}}$ понимают продолжительность горения ламп от начала эксплуатации или испытания до момента полной или частичной утраты ими работоспособности, например в ЛН – из-за перегорания нити, в РЛ – из-за потери способности зажигаться и т. п. *Полезным сроком службы* τ_p называют продолжительность горения ламп до момента ухода за установленные пределы одного из параметров, определяющих экономическую или техническую целесообразность использования ламп данного типа, например из-за снижения потока ниже определённого предела. Важным показателем надёжности является также вероятность безотказной работы ламп в течение заданного времени, которая часто регламентируется минимальной продолжительностью горения.

Основные типы источников света и тенденции их развития

Подавляющее большинство современных источников света, применяемых для искусственного освещения, можно отнести к одной из двух больших групп, вырабатывающих вместе около 98...99 % всего светового потока – это ЛН и РЛ. Так как на цели освещения расходуется около 14...20 %, а в некоторых случаях до 50...60 % общего расхода электроэнергии, повышение световой отдачи и срока службы, уменьшение спада светового потока в процессе горения и снижение стоимости осветительных ламп играют очень важную роль.

РЛ имеют самую высокую световую отдачу и **больший** срок службы по сравнению с ЛН, а также могут иметь разнообразные спектры излучения и широкий диапазон значений мощности, яркости и других параметров. Поэтому современные РЛ все шире применяются для освещения, постепенно

оттесняя ЛН. Уже сегодня в передовых странах мира РЛ создают более половины светового потока, и, по-видимому, в будущем эта доля возрастёт.

Однако по массовости ЛН пока занимают первое место среди всех источников света. Это объясняется универсальностью их применения, исключительной простотой и удобством эксплуатации, а также относительно низкой ценой.

Следствием непрерывных научных изысканий является устойчивое повышение световой эффективности всех видов ламп. Теоретически самая высокая эффективность достигается в светодиодных источниках света, что соответствует светоотдаче приблизительно 243 лм/Вт. Однако практически современные лампы не достигают светоотдачи большей, чем 50 % от этих максимальных значений.

Стандартные лампы накаливания

Лампа накаливания – самый старый электрический источник света – впервые сконструирована Томасом Эдисоном в 1879 г. и имеет в настоящее время наибольшее разнообразие типов конструкций. Эти лампы могут при-

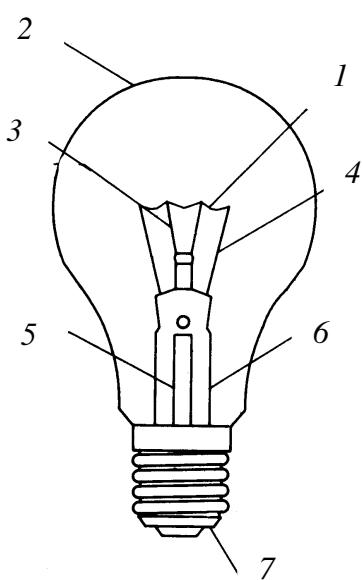


Рис. 19. Вид лампы накаливания

меняться для решения практически любой осветительной задачи, особенно там, где требуются сравнительно маломощные источники света и предпочтительна простота и компактность. Устройство ЛН показано на рис. 19. Главной частью является тело накаливания. Оно может представлять собой нить, спираль, биспираль, триспираль из вольфрамовой проволоки, иметь разнообразные размеры и форму. Вольфрам имеет высокую температуру плавления (3650 К) и малую скорость испарения.

Основными частями электрической ЛН являются тело накаливания 1, колба 2, держатели 3, токовые электроды 4, штенгель 5, ножка 6 и цоколь 7.

Для обеспечения нормальной работы раскаленного вольфрамового тела необходимо изолировать его от кислорода воздуха путём размещения либо в безвоздушной среде (такие лампы называются *вакуумными*), либо в среде так называемых инертных газов или их смесей, не реагирующих с нагретым материалом (*газополные лампы*).

За 120 лет истории ЛН значительно улучшены их светотехнические характеристики и значительно уменьшены размеры. Если в 1879 г. светоотдача ламп составляла 2 лм/Вт, а средний срок службы – 45 ч, то к 2000 г. светоотдача выросла до 13.3 лм/Вт, а срок службы – до 1000 ч.

Теоретически, лампа накаливания, работающая при температуре плавления вольфрама (3653 К) без потерь на теплоотвод, имела бы светоотдачу 53 лм/Вт. В действительности, светоотдача лампы всегда значительно ниже, так как 70...76 % мощности излучения вольфрамового тела при его рабочих температурах лежит в области, близкой к ИК области спектра, в то время как на видимую часть приходится только от 7 до 13 %. Световой КПД вакуумных ламп равен 1.5, а газополных – 2...4 %.

Спектральные и цветовые параметры. Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения. Из-за относительно невысоких рабочих температур тела накала (2400...2600 К, при этом $T_u = 2500...2700$ К) в видимом излучении ЛН преобладают оранжево-красные лучи. Поэтому при освещении такими лампами усиливаются “тёплые” цветовые тона (красные, оранжевые, коричневые) и ослабляются “холодные” (зелёные, голубые, фиолетовые), что не позволяет обеспечить высокое качество цветопередачи. Путём применения светофильтров и цветных колб, частично поглощающих оранжево-красное излучение, можно повысить цветовую температуру до 3500...4000 К, но световой поток при этом снизится на 30...35 %.

На рис. 20 показаны зависимости светового потока, эффективности, потребляемой мощности и срока службы ЛН в зависимости от напряжения питания V . Как можно видеть, с увеличением напряжения на 8 % можно повысить КПД лампы на 15 %, однако срок службы уменьшится очень сильно, почти в 5 раз.

Резервы совершенствования ЛН далеко не исчерпаны, о чём свидетельствует прежде всего значительный разрыв между теоретически возможной световой отдачей вольфрама и фактической световой отдачей ЛН.

В табл. 3 приведены некоторые распространённые типы ЛН и их основные характеристики.

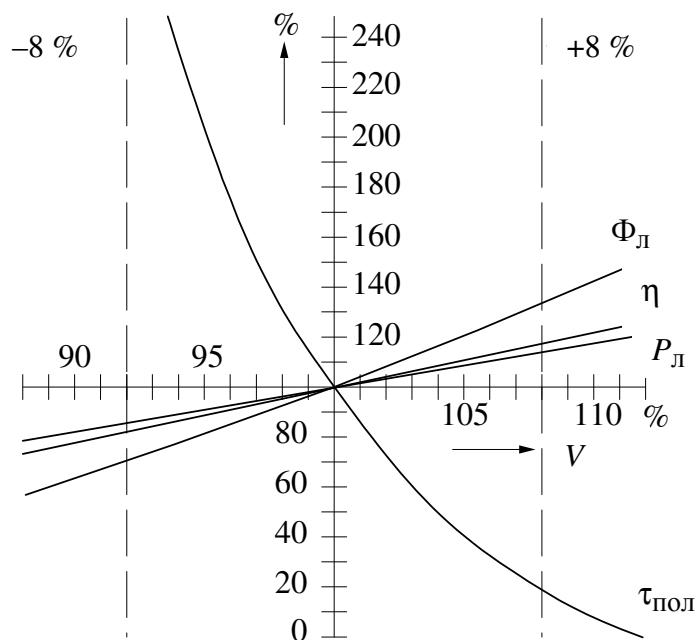


Рис. 20. Изменение параметров ЛН при отклонении напряжения питания V от номинального значения

Таблица 3

Тип	V, В	P, Вт	Φ, лм	η, лм/Вт	τ _{ср} , ч
Вакуумные (В)	215...225	25	220	8.8	1000
Биспиральные аргоновые (Б)		40	430	10.8	
Тоже криптоновые (БК)			475	11.9	
— «— аргоновые (Б)		60	730	12.2	
— «— криптоновые (БК)			800	13.3	
— «— аргоновые (Б)		100	1380	13.8	
— «— криптоновые (БК)			1500	15.0	
Газополные моноспиральные (Г)		150	2090	13.9	

Эти характеристики необходимы, например при приближённых расчётах количества ламп в помещении.

Галогенные лампы

Первая галогенная лампа появилась в 1959 г. Высокая температура нити в нормальной лампе накаливания приводит к испарению вольфрама и конденсации его на стенках колбы, вследствие чего уменьшается светоотдача.

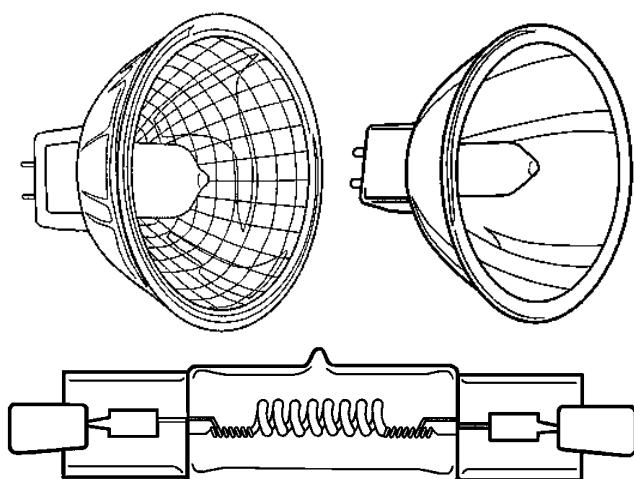


Рис. 21. Основные виды галогенных ламп

лампы перед нормальной лампой накаливания следующие:

- намного более длительный срок службы (до 2000 ч), в течение которого происходит лишь незначительное снижение светоотдачи;
- более высокая цветовая температура.

Галогенные лампы характеризуются высокой эффективностью (приблизительно, на 10 % выше, чем у нормальной лампы накаливания) и почти неизменной светоотдачей в течение всего срока службы. Для обычных осветительных целей они имеют цветовую температуру 2800...3200 К.

Галогенные лампы имеют галогенную добавку (например, йода, хлора, брома) к заполняющему колбу инертному газу и работают по принципу галогенового регенеративного цикла, чтобы предотвратить уменьшение светоотдачи. Их основное отличие от нормальных ламп накаливания кроме галогенового цикла состоит в размерах колбы (рис. 21). Так как температура колбы должна быть высокой, галогенные лампы имеют колбы значительно меньшего размера.

Преимущества галогенной

Источник света, следовательно, даёт более белый световой поток с соответственно более холодным цветоощущением, чем нормальная лампа накаливания. Галогенная лампа обеспечивает превосходную цветопередачу (индекс цветопередачи $R_a = 100$).

Разрядные лампы

Принцип действия РЛ основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбой или иной формы. Иногда для облегчения зажигания впаивают дополнительные электроды. Внутреннее пространство колбы после удаления воздуха и тщательного обезгаживания лампы (удаление сорбированных в материале колбы и в электродах паров воды и других газов при помощи нагрева под откачкой) наполняется определённым газом (чаще всего инертным) до заданного давления или инертным газом и небольшим количеством металла с высокой упругостью паров, например, ртутью, натрием, галогенидами различных металлов.

Недостатком РЛ является некоторая сложность их включения в сеть, связанная с особенностями разряда. Для его зажигания требуется более высокое напряжение, чем для устойчивого горения. Для обеспечения устойчивого горения в цепь каждой лампы необходимо включать балласт, ограничивающий ток разряда требуемыми пределами. Другой недостаток РЛ с парами обусловлен зависимостью их характеристик от теплового режима, поскольку температура определяет давление паров рабочего вещества лампы. Номинальный режим устанавливается в них только спустя некоторое время после включения. Повторное зажигание ламп с разрядом в парах металла при высоком и сверхвысоком давлении без специальных приёмов возможно только по истечении некоторого времени после выключения.

В разряде низкого давления и при малой плотности тока наибольший поток излучения сосредоточен в так называемых резонансных линиях, т. е. при длинах волн, соответствующих переходам возбужденных атомов из “нижнего” возбуждённого состояния в основное, невозбуждённое. При особо благоприятных условиях в резонансное излучение может преобразовываться до 80...85 % подводимой к столбу энергии.

По мере повышения давления и плотности тока растёт число различных соударений между электронами и атомами газа и вместе с тем обмен энергией между ними. В результате температура электронов падает, а температура газа возрастает. При давлении порядка 10^5 Па и выше и токе в несколько ампер температуры электронов и газа становятся практически равными друг другу и достигают 4000...5000 К и более (термическая плазма). Возникающий в этих условиях большой перепад температур от осевых частей разряда к периферии приводит к стягиванию разряда в яркий светящийся шнур.

Преобразование излучения разряда при помощи люминофоров открыло широкие возможности создания РЛ с самыми различными спектрами излучения. Обычно, для возбуждения люминофора используется УФ-излучение разряда, которое люминофор преобразует с определёнными потерями в более длинноволновое излучение.

Газоразрядные источники излучения практически безынерционны. В лампах высокого давления происходит почти полное затухание газового разряда к моменту времени, когда ток в цепи лампы достигнет нуля. Инерционные свойства люминесцентных ламп низкого давления и дуговых ртутных ламп высокого давления зависят от инерционности люминофоров, нанесённых на внутреннюю поверхность их колб. Поток излучения таких источников имеет некоторое конечное значение при токе, равном нулю.

Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света, в которых УФ-излучение разряда в парах ртути низкого давления преобразуется люминофором в более длинноволновое излучение. За прошедшие годы характеристики ЛЛ непрерывно улучшались: продолжительность горения увеличилась с 2.5 тыс. ч (в 1940 г.) до 15...18 тыс. ч, световая отдача возросла с 50 до 105 лм/Вт, а спад световой отдачи к концу средней продолжительности горения при этом уменьшился с 40 до 20 %.

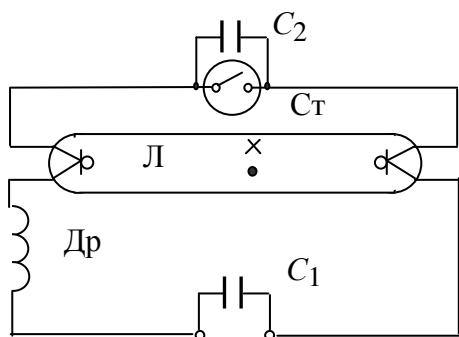


Рис. 22. Схема ЛЛ

напряжения на электродах лампы в момент её зажигания за счёт перенапряжения, возникающего при размыкании контактов стартера.

Дроссель и конденсаторы C , служащие для улучшения коэффициента мощности и снижения радиопомех, объединяются в пускорегулирующий аппарат (ПРА).

Автоматический стартер выполняется в виде маломощной неоновой лампы тлеющего разряда, один электрод которой выполнен из биметалла. При включении люминесцентной лампы вначале включается стартер, так как

потенциал зажигания тлеющего разряда ниже напряжения сети. Возникший в стартёре тлеющий разряд нагревает биметаллический электрод, который в результате нагрева распрямляется и соприкасается со вторым электродом. Короткое замыкание стартёра вызывает возникновение в цепи электродов лампы ток, несколько превосходящий по силе рабочий ток. Этот ток нагревает вольфрамовые электроды лампы, которые начинают эмиттировать электроны в заполненное аргоном при малом давлении пространство трубы. По истечении некоторого времени биметаллический электрод стартёра охлаждается и размыкает цепь зажигания.

В момент размыкания значительно повышается напряжение на электродах лампы, что приводит при наличии эмиссии электронов с подогретых электродов лампы к возникновению разряда. Возникший разряд испаряет остатки металлической ртути, после чего устанавливается стабилизированный дуговой разряд в парах ртути с примесью аргона.

Ультрафиолетовые излучения разряда, падая на поверхность стенок трубы, покрытой слоем люминофора, трансформируются этим слоем в видимые излучения лампы. Эффективность преобразования излучения разряда в излучение фотolumинесценции определяется структурой и толщиной слоя люминофора или смеси люминофоров.

Достоинства ЛЛ:

- высокая световая отдача и большой срок службы;
- благоприятный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи;
- низкие яркость и температура поверхности лампы.

Люминофоры, применяемые в ЛЛ, хорошо возбуждаются резонансным излучением атома ртути с длинами волн 184.9 и 253.7 нм. Квантовый выход люминесценции лучших люминофоров достигает 90 %. Таким люминофором является галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем. Различные марки этого люминофора синтезируют с разной концентрацией марганца – от 0.3 до 1.2 % массы, в результате чего в спектре люминесценции получается различное соотношение энергии в “сурьмяной” спектральной полосе с максимумом при 485 нм и в “марганцевой” спектральной полосе с максимумом при 585 нм.

Цветовые температуры основных типов люминесцентных ламп следующие: ЛД (дневного света) – $T_u = 6000$ К, ЛБ (белого света) – $T_u = 3450$ К, ЛХБ (холодного белого света) – $T_u = 4300$ К, ЛТБ (тёплого белого света) – $T_u = 2800$ К, ЛЕ (естественного света) – $T_u = 4000$ К. Изготавливаются также лампы с исправленным спектральным составом излучения (дополнительный индекс Ц) типов ЛДЦ, ЛБЦ, ЛХБЦ и ЛТБЦ, обеспечивающие достаточно хорошую цветопередачу.

Мировая практика показывает, что световая отдача ЛЛ мощностью 40 Вт цветностей Б, ТБ и ХБ на этих люминофорах в настоящее время при-

ближается к 80 лм/Вт. По расчётом предельная световая отдача ЛЛ мощностью 40 Вт цветности Б может достигать 120 лм/Вт. Параметры некоторых ЛЛ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм					Средняя про- должитель- ность горе- ния, тыс. ч
	номинальный для цветностей				после 2000 ч горения, %	
	Б	ДЦ	ЕЦ	ТБЦЦ		
18	1250	850	850	735*	80, 75, 70**	70, 65, 62**
20	1200	850	865	700	85	70
36	3050	2200	2150	—	80, 75, 70**	70, 65, 62**
40	3200	2200	2190	1750	85	70
80	5400	3800	—	—	80	70

П р и м е ч а н и е. * Для цветности ТБЦ с $R_a = 82$, ** для цветностей Б, ДЦ, ЕЦ со-ответственно.

В течение срока эксплуатации люминесцентной лампы её световой поток уменьшается. После 8000 ч работы он составляет 70...90 % от начального значения. Основная (первая) причина старения – постепенное снижение эффективности порошков люминофора. При использовании смеси различных люминофоров возможно изменение цветопередачи более старых ламп по сравнению с новыми. Вторая причина старения – затемнение стенок трубы распылённым материалом нити накаливания. Использование высокочастотной пускорегулирующей аппаратуры уменьшает распыление материала нити, что, в свою очередь, снижает эффект старения.

Особенности эксплуатации ЛЛ – включение в сеть только с ПРА и возможность работы только в ограниченном диапазоне температуры окружающей среды. При отрицательной температуре ЛЛ или не зажигаются, или горят тускло. Для большинства ЛЛ рабочий диапазон температуры составляет 5...50 °C. Светоотдача достигает максимума при температуре воздуха 25 °C.

Напряжение на ЛЛ при горении должно быть примерно в два раза ниже напряжения сети. В этом случае возможно использование простейшей схемы включения ЛЛ со стартёром и с индуктивным или с емкостным балластом. Отклонения напряжения сети от номинального значения приводят к соответствующим отклонениям светового потока, мощности и тока ЛЛ, снижению продолжительности горения. При этом снижение напряжения сети так же опасно, как и его повышение, поскольку катод рассчитан на работу при номинальном токе. Снижение напряжения сети более чем на 10...20 % приводит к отказу в зажигании ЛЛ.

Пульсация светового потока при питании ЛЛ переменным током вызвана пульсацией УФ-излучения столба разряда и несколько сглаживается послесвечением люминофора. Коэффициент пульсации для ЛЛ типа ЛБ – 22...23, для ЛЕЦ – 73...75, для ЛТБЦ – 68...70 % при включении в сеть частотой 50 Гц. Это соответствует частоте пульсации светового потока 100 Гц.

Для сглаживания пульсации освещённости несколько ЛЛ включают так, чтобы их токи были сдвинуты по фазе относительно друг друга, за счёт чего коэффициент пульсации доводится до нормы. Наиболее заметна (и это вызывает раздражение глаза при наблюдении) пульсация яркости свечения концевых участков ЛЛ, так как здесь частота пульсаций вдвое ниже – 50 вместо 100 Гц в середине лампы, а коэффициент пульсации, соответственно, выше. Радикальным средством снижения пульсаций является переход на высокочастотное питание 20...100 кГц. Высокочастотное электропитание обеспечивает увеличение светоотдачи лампы приблизительно на 10 %.

ПРА с высокочастотным преобразованием напряжения питания (электронный балласт) обладает важными преимуществами перед стандартными балластами:

- повышенной эффективностью системы;
- отсутствием стробоскопического эффекта;
- мгновенным запуском без отдельного стартёра;
- увеличенным сроком службы лампы;
- превосходными возможностями светорегулирования;
- отсутствием необходимости исправления коэффициента мощности;
- меньшими тепловыми потерями;
- отсутствием гудения или другого шума;
- меньшей массой, особенно для мощных ламп;
- возможностью использования на постоянном токе.

ЛЛ малопригодны для наружного освещения и освещения высоких помещений, что обусловлено незначительной мощностью (в пределах от 4 до 150 Вт), большими размерами ЛЛ, трудностью перераспределения и концентрации их светового потока в пространстве, а также ненадёжной работой при низких температурах окружающей среды.

Перспективы развития ЛЛ заключаются в повышении КПД разряда за счёт питания высокочастотным током, в применении более эффективных редкоземельных люминофоров, особенно в ЛЛ с трубкой-колбой малого диаметра (до 8...10 мм), где требуется высокая стабильность люминофора.

На рис. 23 приведены основные виды ЛЛ: *а* – прямая трубчатая; *б* – U-образная; *в* – компактная со встроенным балластом.

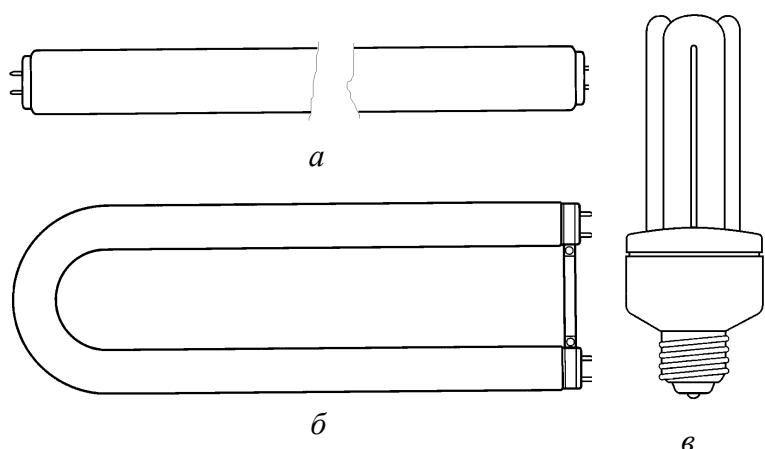


Рис. 23. Виды люминесцентных ламп

Широкое распространение получают компактные ЛЛ, позволяющие улучшить экономические показатели светильников и снизить их материалоёмкость. Достоинством таких ламп является то, что их можно включать вместо ламп накаливания, не затрачивая никаких усилий на монтаж.

Ртутные лампы высокого давления (РЛВД)

РЛВД представляют собой трубку, большей частью из кварцевого стекла, по концам которой впаяны активированные самокалывающиеся вольфрамовые электроды. Внутрь трубы после тщательного обезгаживания вводится строго дозированное количество ртути и спектрально-чистый аргон при давлении 1.5...3 кПа. Аргон служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления в начальной стадии разгорания лампы, так как при комнатной температуре давление паров ртути очень низкое (около 1 Па). В отдельных типах ламп кварцевая разрядная трубка помещается во внешнюю колбу. Лампы включают в сеть с соответствующими ПРА.

После зажигания дугового разряда разрядная трубка нагревается и ртуть испаряется. Давление её паров повышается, вместе с тем изменяются все характеристики разряда: растут напряжение на лампе и мощность, разряд стягивается в яркий светящийся шнур по оси трубы, растут поток излучения и КПД. Этот процесс продолжается в течение 5...7 мин до тех пор, пока вся ртуть не испарится, после чего все характеристики стабилизируются.

Общий вид РЛВД показан на рис. 24. Лампа состоит из внешней стеклянной колбы, слоя люминофора, разрядной трубы из прозрачного кварцевого стекла, рабочего электрода, зажигающего электрода, ограничительных резисторов в цепи зажигающих электродов и экрана. Световая отдача РЛВД составляет 45...55 лм/Вт.

При разряде излучение происходит частично в видимой области спектра, частично в ультрафиолетовой. При освещении РЛВД возникает сильное искажение цвета предметов, особенно человеческой кожи, что объясняется отсутствием излучения в оранжево-красной части спектра.

В наиболее распространённой лампе этого типа ДРЛ внутренняя поверхность внешней колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора для преобразования УФ-излучения ртутного разряда высокого давления, составляющего около 40 % всего потока излучения, в недостающее излучение в красной части спектра. Качество исправления цветопередачи ламп типа ДРЛ определяется относительным содержанием красного излучения – отношением светового потока в красной области

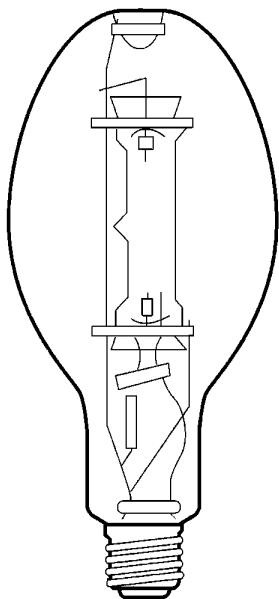


Рис. 24. Лампа РЛВД

спектра (600...780 нм) к общему световому потоку лампы (“красное отношение”).

Лампы выпускаются трёх модификаций – с “красным отношением” 6, 10 и 12...15 %. Для этих ламп индекс цветопередачи $R_a = 42$, координаты цветности $x = 0.39$, $y = 0.40$. Световой поток пульсирует с двойной частотой сети. При работе в сети с частотой 50 Гц в схеме со стандартным дросселем коэффициент пульсации лампы составляет 63...74 %.

Светоотдача и срок службы лампы зависят от изменений окружающей температуры незначительно. Ртутная лампа высокого давления малочувствительна и к снижению напряжения питания.

Металлогалогенные лампы

Металлогалогенные лампы по своей конструкции подобны конструкции ртутной лампы высокого давления. Главное различие между ними состоит в том, что разрядная трубка первых в дополнение к ртути содержит ряд соединений металлов с галогенами (I, Br, Cl). После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура колбы, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние. Попадая в центральную зону разряда с температурой в несколько тысяч кельвинов, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и на металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок колбы, они воссоединяются в галогениды, которые вновь испаряются. Этот замкнутый цикл обеспечивает два принципиальных преимущества:

1) в разряде создаётся достаточная концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, потому что при рабочей температуре кварцевой колбы 800...900 °C давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий, индий, скандий, диспрозий и др.;

2) появляется возможность вводить в разряд щелочные (натрий, литий, цезий) и другие агрессивные металлы (например, кадмий, цинк), которые в чистом виде вызывают весьма быстрое разрушение кварцевого стекла при температурах выше 300...400 °C, а в виде галогенидов такого разрушения не вызывают.

Металлогалогенные лампы также требуют включения балласта в цепи питания. Напряжение, ограничиваемое балластом, недостаточно, чтобы запустить лампу, поэтому необходимо внешнее пусковое устройство.

Натриевые лампы

Натриевые газоразрядные лампы – одна из наиболее эффективных групп источников видимого излучения. Они обладают самой высокой световой отдачей среди известных РЛ и незначительным снижением светового по-

тока при длительном сроке службы. Поэтому натриевые лампы, в первую очередь высокого давления, все шире применяются в разных системах освещения, особенно в наружном освещении. Недостатком ламп является низкое качество цветопередачи.

Натриевые лампы низкого давления. Видимое излучение этих ламп создаётся непосредственно разрядом в газе. Процесс запуска лампы (до достижения номинального светового потока) продолжается приблизительно 10 мин. Лампа имеет светоотдачу до 200 лм/Вт и длительный срок службы. Лампы применяются в областях, где цветопередача не имеет большого значения и требуется главным образом контрастное распознавание.

Лампы излучают почти полностью в видимой части спектра на длине волны 589 нм (спектральная линия натрия). Хотя только приблизительно 35...40 % входной мощности излучается на этой длине волны по сравнению с 65 % излучения с длиной волны 253.7 нм в ртутной лампе низкого давления (остальное составляют тепловые потери), *светоотдача* натриевой лампы вдвое выше, чем белой трубчатой ЛЛ. Принципиальной причиной этого является то, что излучение на длине волны натрия близко к максимальной спектральной чувствительности человеческого глаза.

При включении натриевая лампа низкого давления имеет красный цвет. По мере её прогревания *цветоощущение* постепенно изменяется, и приблизительно через десять минут она приобретает свой истинный жёлтый цвет, который не может быть изменён с помощью фильтров. Все объекты представляются как жёлтые или имеющие оттенки жёлтого цвета.

Натриевые лампы высокого давления. В разрядную трубку натриевой лампы высокого давления (НЛВД) введены в избыточном количестве натрий и ртуть, чтобы создать в процессе работы лампы насыщенные пары и буферную газовую смесь. Имеется также ксенон, облегчающий зажигание и ограничивающий теплоотвод от дуги разряда к стенкам трубы.

Общий вид такой лампы показан на рис. 25. Лампа состоит из разрядной трубы, стеклянной внешней колбы, теплоотражающего экрана, светорассеивающего покрытия, бариевого газопоглотителя и резьбового цоколя. Натриевые лампы высокого давления излучают энергию в благоприятной для глаза части видимого спектра. Они дают вполне приемлемую *цветопередачу*. Светоотдача составляет до 130 лм/Вт при цветовой температуре около 2000 К. Эти лампы все шире используются для наружного освещения всех типов и для освещения цехов с высокими пролётами.

Светоотдача уменьшается с ростом давления паров натрия. Это связано с явлением самоаннулирования излучения натрия на длине волны, соответствующей максимальной чувствительности глаза, и с увеличением излучения в крас-

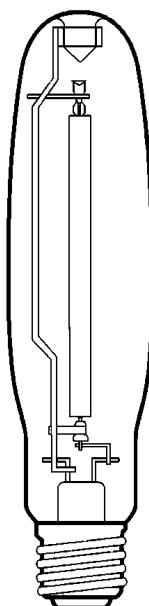


Рис. 25. Общий вид НЛВД

ном и синем концах спектра, где чувствительность глаза низка.

Цветоощущение излучения может быть изменено повышением давления паров натрия. Когда давление соответствует максимальной светоотдаче, лампа создаёт “золотисто-жёлтое” излучение.

Натриевые лампы высокого давления обычно используются с индуктивным балластом и стартёром.

Индукционные лампы

Индукционная лампа основана на принципе разряда в газе низкого давления. Схематическое представление лампы QL (Philips) приведено на рис. 26. Основная особенность лампы – отсутствие электродов для ионизации газа. Взамен используется внутренний индуктор, подключённый к внешнему высокочастотному генератору (2.65 МГц) и создающий электромагнитное поле внутри разрядной трубки. Это вызывает электрический ток в газе, что приводит к его ионизации.

Принципиальное преимущество данного крупного достижения – продление срока службы лампы до 60 000 ч.

Индукционная лампа может гореть по восемь часов в день в течение, приблизительно, двадцати лет. Правильно установленная в светильнике лампа будет гореть в течение всего срока службы без заметного ухудшения своих характеристик. Сетевой низкочастотный фильтр генератора обеспечивает электромагнитную совместимость устройства по цепи питания. Время включения лампы – меньше 0.1 с. Коэффициент мощности – выше 0.9.



Рис. 26. Индукционная лампа

Светодиоды

Светодиод – полупроводниковый прибор, основанный на *p–n*-переходе, в котором энергия рекомбинации дырок с электронами расходуется преимущественно на излучение фотонов в видимой части спектра. Для освещения используются светодиоды, излучающие белый свет. Как правило, белый свет получается смешением излучения голубого светодиода с излучением жёлтого люминофора, нанесённого на поверхность кристалла светодиода и возбуждаемого его голубым светом.

Светодиодные лампы с различными цоколями для использования в самых разных светильниках для внутреннего и уличного освещения в послед-

некоторое время набирают популярность. Светодиодные лампы пока относительно дороги, но уже сейчас они начинают теснить лампы накаливания и энергосберегающие лампы во всех сферах освещения.

Светодиодное освещение экономично. Световая отдача лучших светодиодов в рабочем режиме уже превышает 130 лм/Вт. Сравнительно дешевые массовые светодиоды имеют световую отдачу 60...80 лм/Вт, что по экономичности равно обычным люминесцентным лампам.

Светодиодные системы освещения отличаются длительным сроком службы. При правильной схемотехнике источников питания, а также при применении качественных компонентов и обеспечении надлежащего теплового режима срок службы светодиодных систем освещения прогнозируется до 70 и даже 150 тыс. ч.

Светодиодные системы освещения обладают высокой виброустойчивостью и механической прочностью, экологически безопасны.

Спектр светодиодов отличается от солнечного. Но подбор люминофоров позволяет получить светодиоды белого света с любой цветовой температурой, что дает возможность всегда обеспечить отличную цветопередачу.

Светодиоды стабильно работают при низкой температуре среды, что делает их привлекательными для систем наружного освещения.

Таблица 5

Тип	Марка	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Цветопередача	Амортизация, %	Балласт	Время запуска, мин
ЛН	GLS	15... 500	120...8400	8...17	4	50	—	0
ГЛН	—	75... 2000	975...5000	13...25	5	40		
ЛЛ	PL	5...40	250...3500	50...88	4	≥0	И, Э	0
	FL	15... 140	750...7300	50...104	3, 4			
РЛВД	HP	50... 1000	1800...58000	36...58	2, 3		И	3
МГЛ	HPI, MHN	70... 2000	5500...189000	79...95	4, 5			3
НЛНД	SOX	18... 180	1800...33000	100...200	1			10
НЛВД	SON	50... 1000	3300...130000	66...138	2, 3	≈0	И	5
	SDW	35... 100	1300...4800	37...48	4			5
Инд.	QL	85	6000	70	4		Э	0
LED	—	6... 13	350 ...1055	60...80	4		В	0

П р и м е ч а н и е. Сокращения и обозначения: ЛН – лампа накаливания, ГЛН – галогенная лампа, ЛЛ – люминесцентная лампа, РЛВД – ртутная лампа высокого давления, МГЛ – металлогалогенная лампа, НЛНД – натриевая лампа низкого давления, НЛВД – натриевая лампа высокого давления, Инд. – индукционная лампа; LED – светодиодная лампа, И, Э, В – соответственно, индукционный, электронный и встроенный балласты; 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно, очень плохая, плохая, удовлетворительная, хорошая и очень хорошая цветопередачи.

Вместе с тем при применении светодиодов необходимо учитывать ряд особенностей. Напряжение питания светодиода значительно меньше напряжения питания других ламп. Поэтому светодиоды соединяют последовательно и используют преобразователи напряжения со стабилизаторами тока, что дополнительно увеличивает объём, снижает энергоэффективность и общую надёжность светильника. При выходе из строя одной из последовательно соединённых ламп весь светильник перестанет работать. Придётся находить повреждённый светодиод и менять его на новый.

Для светодиодов требуется обеспечить качественный теплоотвод от кристалла, поскольку температура оказывает решающее влияние на надёжность. Даже небольшое уменьшение температуры перехода относительно максимально допустимой (обычно не более 110 °C) может способствовать увеличению полезного срока службы в несколько раз. Поэтому правильно спроектированные светодиодные светильники должны содержать схемы контроля температуры и термозащиты для снижения тока через светодиод при перегреве.

Некачественная фильтрация питающего напряжения, перегрузки светодиодов по току могут вызывать существенные пульсации светового потока.

В табл. 5 и 6 приведены характеристики некоторых типов ламп фирмы “Philips” и данные распределения энергии на излучение и тепловые потери.

Таблица 6
Выходной энергетический баланс ламп

Лампа			Излучение, %			Тепловые потери, %
Тип	Модель	P, Вт	видимое	ИК	УФ	
ЛН	GLS	100	5.0	83.0	0	12.0
Трубчатая ЛЛ	TL (Ra = 82)	36	27.7	37.3	0.6	34.4
РЛВД	HP	400	12.5	65.0	2.5	20.0
РЛВД с люминофором	HPL-N	400	16.8	56.5	3.7	23.0
Смешанного света	ML	160	9.1	48.5	0.3	42.1
МГЛ	HPI-T	400	24.3	59.2	1.3	15.2
НЛНД	SOX	180	35.0	34.4	0	30.6
НЛВД	SON-T	400	29.5	55.2	0.3	15.0
LED	–	13	30	0	0	70

Как видно из табл. 6, меньше всего излучают в видимой области спектра лампы накаливания, а больше всего – натриевые лампы низкого давления. Остальные виды ламп занимают промежуточное положение.

Характеристики светильников

Светильником называется устройство, содержащее лампу и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения. Светотехническая арматура перераспределяет свет лампы в пространстве или преобразует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его).

Наряду с этим светильник выполняет функции защиты лампы от воздействия окружающей среды, механических повреждений; обеспечивает крепление лампы и подключение к источнику питания.

Классификация светильников осуществляется по следующим признакам:

- вид лампы (ЛН, РЛ, лампы смешанного света и т. д.);
- конкретная светотехническая функция (общее, местное, декоративное освещение, эвакуационное освещение и т. п.);
- форма фотометрического тела (симметричные, круглосимметричные и несимметричные);
- класс светораспределения (в соответствии с ГОСТ 17677-82);
- тип кривой силы света (КСС) (в соответствии с ГОСТ 17677-82);
- возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);
- способ установки светильника (в соответствии с ГОСТ 16703-79);
- класс защиты от поражения электрическим током (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75);
- исполнение для работы в определённых условиях эксплуатации;
- степень защиты от пыли и воды (для светильников ГОСТ 17677-96);
- способ питания лампы (сетевые, с индивидуальным источником питания, комбинированного питания);
- возможность изменения положения оптической системы (подвижные, неподвижные);
- возможность изменения светотехнических характеристик (регулируемые, нерегулируемые);
- способ охлаждения (с естественным охлаждением, с принудительным охлаждением).

В светильниках могут устанавливаться одна лампа, две или более ламп (в многоламповых люстрах, например, число ламп может исчисляться сотнями и даже тысячами). Светотехническая арматура для РЛ включает обычно аппаратуру для зажигания и стабилизации работы ламп.

По исполнению для работы в определённых условиях эксплуатации светильники подразделяются с учётом следующих признаков:

- 1) по климатическому исполнению и категории размещения (в соответствии с ГОСТ 15150-69);
- 2) по доминирующему воздействующему фактору:
 - температуре и относительной влажности воздуха (в соответствии с ГОСТ 15543.1-89);
 - механическим воздействиям (в соответствии с ГОСТ 17516.1-90);
 - особым факторам среды (в соответствии с ГОСТ 15150-69 применительно к каждому конкретному случаю);

- наличию заметных концентраций химически активных веществ (применительно к каждому конкретному случаю);
- взрывоопасности среды (в соответствии с ГОСТ 12.2.020-76).

Светораспределение – важнейшая светотехническая характеристика светильника, определяющая распределение его светового потока в пространстве. Светораспределение светильников общего освещения обусловливается формой фотометрического тела и описывается кривыми силы света. При этом под фотометрическим телом понимается геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра светильника, длина которых пропорциональна силе света в соответствующем направлении. Кривой силы света (КСС) называется кривая зависимости силы света светильника от меридиальных и экваториальных углов, получаемая сечением фотометрического тела плоскостью (рис. 27).

В зависимости от формы фотометрического тела светильники подразделяются на симметричные, фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные, отличающиеся отсутствием элементов симметрии фотометрического тела (рис. 28).

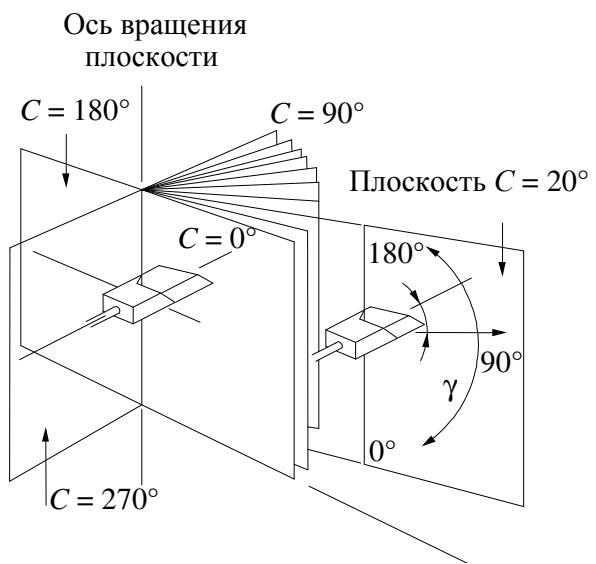


Рис. 27. Система полярных координат для построения кривых силы света

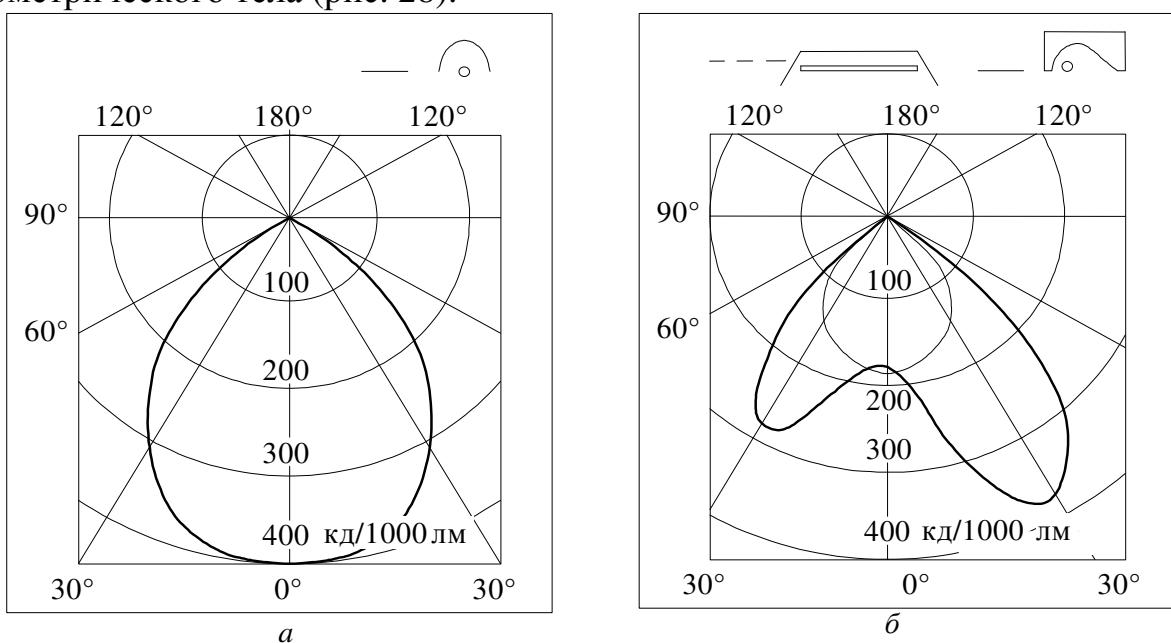


Рис. 28. Кривые силы света: *a* – симметричное и *б* – несимметричное распределения

По светораспределению светильники в зависимости от соотношения светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника подразделяются на пять классов, приведённых в табл. 7.

Кривые силы света светильников указанных классов (в любых меридиональных плоскостях в верхней и в нижней полусферах) в зависимости от формы КСС подразделяются на семь типов (табл. 8).

В соответствии с классификацией каждому светильнику присваивается светотехническое наименование, которое образуется из наименований его класса по светораспределению и типа КСС. При этом в наименовании светильника, как правило, указывается, каким полусфере или меридиональной плоскости свойственна данная типовая КСС.

Под коэффициентом формы $K_{\Phi} = I_{\max} / I_{cp}$ понимается отношение максимальной силы света в меридиональной плоскости к условному среднегарифметическому значению силы света.

Таблица 7

Классификация светильников по светораспределению

Класс светильника		Доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60...80
Р	Рассеянного света	40...60
В	Преимущественно отражённого света	20...40
О	Отражённого света	20 и менее

Таблица 8

Типы КСС светильников

Тип КСС		Зона возможных направлений максимальной силы света, ...°	K_{Φ}
К	Концентрированная	0...15	$K_{\Phi} \geq 3$
Г	Глубокая	0...30; 180...150	$2 < K_{\Phi} < 3$
Д	Косинусная	0...35; 180...145	$1.3 < K_{\Phi} < 2$
Л	Полуширокая	35...55; 145...125	$1.3 < K_{\Phi}$
Ш	Широкая	55...85; 125...95	$1.3 < K_{\Phi}$
М	Равномерная	0...90; 180...90	$K_{\Phi} < 1.3$
С	Синусная	70...90; 110...90	$K_{\Phi} < 1.3$

Наибольшую K_{Φ} имеют светильники с концентрированной КСС, а наименьшую – светильники с равномерной и синусной КСС.

Регулирование света

Кроме соответствия эстетическим требованиям и условиям эксплуатации светильники должны обеспечивать управление и распределение светового потока ламп. Диапазон видов оптических систем регулирования света простирается от систем рассеянного излучения, создающих равномерный во всех направлениях неслепящий световой поток, до систем, фокусирующих свет в узкий луч, который испускается в одном направлении или нескольких определённых направлениях. Такие системы могут также содержать экраны для ограничения ослеплённости, окрашивать излучаемый световой поток. В каждом случае оптическая система включает один элемент или несколько следующих элементов: рефлекторы, рефракторы, рассеиватели, экраны, фильтры.

Рефлекторы. В оптических системах светильников используются три типа отражения, а именно: зеркальное, полузеркальное и рассеивающее.

Зеркальный рефлектор используется для точного распределения светового потока.

Полузеркальный рефлектор применяется, если требуется умеренная степень оптического управления, позволяющая создать плавно-оконтуренный луч требуемой формы.

Рассеивающий рефлектор теоретически отражает световой луч, падающий под любым углом, во всех направлениях (диффузное отражение). Рассеивающий рефлектор не может обеспечивать точное перенаправление лучей подобно зеркальному рефлектору, но неоценим для освещения больших пространств, не предъявляющих особых требований к направленности света.

Рефракторы. Используются в светильниках для придания световому потоку лампы или нескольких ламп определённой направленности.

Рассеиватели. Используются в светильниках, чтобы рассеять световой поток, испускаемый лампой или лампами, во всех направлениях и таким образом уменьшить яркость светильника для всех углов обзора.

Экраны (или ограждения). Используются, чтобы направить световой поток светильника, скрыть лампу или лампы из поля зрения. Экраны могут являться составной частью светильника или представлять собой отдельные устройства.

Цветные фильтры. В некоторых системах освещения, особенно в декоративном освещении, для достижения желательного эстетического эффекта иногда используются цветные источники света. В некоторых случаях окрашенный световой поток создаётся непосредственно лампой, но также возможно применение цветных фильтров, установленных в светильнике. В оптических системах светильников используются два типа цветных фильтров, а именно, пропускающие и поглощающие.

Эффективность светильника. Характеризуется коэффициентом полезного действия, определяемым как отношение светового потока светильника к сумме световых потоков установленных в нём ламп.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА

Приводятся некоторые рекомендации по организации рабочего места при выполнении зрительной работы. Для удовлетворительного зрительного восприятия объектов должны соблюдаться следующие условия:

1. Минимальный контраст:

- яркостный благодаря различным коэффициентам отражения;
- яркостный благодаря теневым эффектам;
- цветовой благодаря различным красителям;
- цветовой благодаря различным цветовым коэффициентам отражения.

2. Минимальная яркость:

- рабочей поверхности (фона);
- ближайших окружающих предметов (периферии);
- основной рабочей зоны (поверхностей, прилегающих к рабочей зоне).

3. Минимальный размер, зависящий:

- от расстояния до рассматриваемого объекта; угла зрения;
- использования вспомогательных оптических средств.

4. Минимальное время перемещения:

- объекта;
- направления линии зрения.

5. Адаптация, которая должна быть оптимальной для заданной яркости поля зрения.

Из перечисленных факторов наиболее важное значение имеют расстояния до наблюдаемого объекта и угол зрения. Данными факторами определяется возможная планировка рабочего места.

Пространство, соответствующее такой планировке, может быть подразделено на пять зон (рис. 29).

Пространство вокруг рабочей зоны в сочетании с характером зрительной работы является предварительным условием для планировки рабочего места.

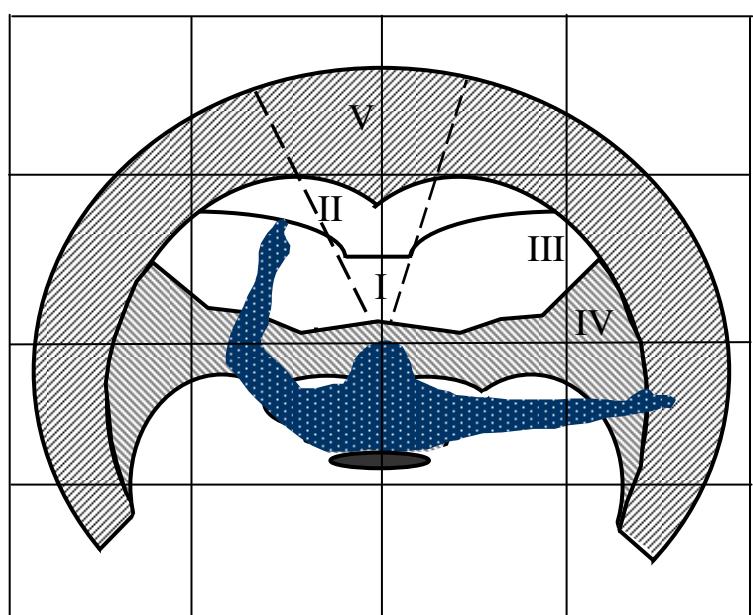


Рис. 29. Зоны зрительного восприятия

на схеме рабочего места

рабочей зоны в сочетании с характером зрительной работы является

предварительным условием для планировки рабочего места.

В табл. 9 приведена характеристика рассматриваемых зон.

Общеизвестно, что предпочтение должно быть отдано хорошему общему освещению по сравнению с местным освещением рабочего места. Это позволяет избежать значительных перепадов яркостей фона и рабочей зоны, в которой выполняется зрительная работа. Такой подход не исключает возможной необходимости введения на определенных рабочих местах дополнительного местного освещения, например для работ, требующих особо высокой точности исполнения.

Таблица 9

Характеристики рабочих зон

Зона	Напряженность зрительной работы/ характер рабочих движений
I	Очень напряжённая/ частые, требующие больших затрат времени
II	Напряжённая/ менее частые, требующие больших затрат времени
III	Умеренно напряжённая/ требующие малых затрат времени
IV	Малонапряжённая/ требующие малых затрат времени
V	Ненапряжённая/ следует избегать выполнения работы в этой зоне

Кроме освещённости на рабочем месте и цвета окружающих объектов наиболее важное значение имеют отражающие свойства обрабатываемых материалов, т. е. большую роль играет **яркость**. В этой связи должны приниматься в расчёт угол падения света и угол зрения. Зрительные ощущения зависят от яркости излучения, попадающего на сетчатку глаза. Если на рабочем месте требуется высокий уровень освещённости, то яркость должна быть оптимальной. Это является предварительным условием для выполнения точной зрительной работы при минимальном утомлении.

Следовательно, необходимо тщательно проанализировать зону, в которой выполняется зрительная работа. Проведение такого анализа имеет важное значение потому, что происходит постоянная переадаптация глаза с одной яркости на другую. Качество выполняемой работы в значительной степени зависит от видимости объектов. Утомление зрения также определяется видимостью, которая, в свою очередь, зависит от уровня яркости и качества освещения.

Распределение светового потока и блескость

Распределение светового потока на рабочем месте должно быть максимально равномерным. Это позволяет избежать значительных различий в уровнях яркости, создающих отрицательный эффект из-за постоянной переадаптации глаза и его преждевременного утомления. Для обеспечения равномерности общее освещение должно поддерживаться стабильным.

Частые значительные изменения в уровнях освещённости и яркости также снижают характеристики зрения. Следовательно, пространственная равномерность освещения должна сочетаться с временной равномерностью.

Использование для отделки поверхности светлых тонов существенно улучшает эффективность осветительных средств. Освещение рабочей плоскости обычно содержит большую долю светового потока, создаваемого рассеянным светом, отражённым от поверхности потолка и верхних участков стен. Если поверхности потолка и стен окрашены в тёмный цвет, то значительная часть полезного отражённого света будет поглощаться этими поверхностями или теряться.

Необходим контроль искусственного освещения в соответствии с изменениями в интенсивности естественного освещения.

Объёмность освещения может быть определена как способность света показать текстуру и трёхмерную форму объекта созданием комбинации света и тени.

Если освещённость элемента поверхности E , то для получения хорошей объёмности горизонтальная E_{Γ} , вертикальная $E_{\text{в}}$, средняя сферическая $E_{\text{сф}}$, цилиндрическая $E_{\text{ц}}$ и полуцилиндрическая освещённости $E_{\text{пц}}$ должны удовлетворять соотношениям:

$$E_{\text{в}}/E_{\Gamma} > 0.25; \quad E/E_{\text{сф}} = 4; \quad 0.3 \leq E_{\text{ц}}/E_{\Gamma} \leq 3 \quad \text{и} \quad 0.8 < E_{\text{в}}/E_{\text{пц}} < 1.3.$$

Освещение помещений, имеющих рабочие места (РМ), оборудованные видеодисплейными терминалами (ВДТ) или дисплеями, обладают некоторой спецификой. Они характеризуются наличием нескольких разноудалённых и разнородных зон зрительной работы: клавиатура и рабочая документация находится на рабочем столе на расстоянии наилучшего зрения (около 350 мм); экран ВДТ обычно удалён на расстояние 450...600 мм. В постах управления и центральных операционных залах добавляется еще дальняя зона зрительной работы: технологическое оборудование – в цехе либо центральный щит или мнемосхема – в зале. Регулярный перевод взгляда ведёт к большой нагрузке механизмов аккомодации и конвергенции. Изменение в процессе работы контраста объекта наблюдения с фоном и переадаптация глаза с большей яркости на меньшую и обратно также вызывают зрительное утомление работающего.

При проектировании освещения указанных помещений необходимо учитывать более высокую ослеплённость от прямой блескости. Поскольку при считывании с экрана линия зрения пользователя горизонтальна (а не направлена под углом вниз, как это имеет место при работах за столом), угол действия различных слепящих источников (осветительные приборы, солнечный свет из окна и т. п.) уменьшается и, соответственно, их слепящее действие возрастает.

Наличие зеркально отражающей неплоской наружной поверхности экрана и почти всегда блестящей клавиатуры не позволяет полностью устранить из поля зрения пользователя все отражённые блики. Вероятность возникновения отражённых бликов сильно увеличивается за счёт практикуемого

в эргономике наклона экрана ВДТ назад на 10...20°. Отражённая блескость помимо слепящего действия от яркого блика ведёт к падению контраста знака с фоном на экране видеодисплейного терминала и, соответственно, к снижению его видимости. Ряд способов, применяемых для снижения яркости бликов (химическое протравливание или механическое матирование экрана, использование противобликовых плёнок, поляризационных фильтров и др.) также ведёт к снижению контраста знаков с фоном и к размыванию их границ.

Необходимость работы с пульсирующим самосветящимся объектом – экраном, несущим яркие знаки, усугубляет дискомфортность зрительной работы. Пульсирующие самосветящиеся объекты – это источники света, которые (в соответствии с нормативными требованиями по ограничению пульсации и ослеплённости) не должны располагаться в центре поля зрения. При работе с ВДТ светящиеся знаки на экране дисплея представляют собой постоянно размещённый в центре поля зрения самосветящийся объект, пульсирующий с частотой 50 – 120 Гц, что вызывает утомление оператора.

На РМ с ВДТ имеет место неблагоприятное распределение яркости в поле зрения, так как хорошо освещённые поверхности периферии поля зрения (потолок, стены, мебель и т. п.) оказываются более светлыми, чем центр поля зрения – тёмный, ограниченно освещённый и часто слабо-заполненный знаками экран ВДТ. С точки зрения условий зрительной работы, предпочтительны дисплеи, имеющие светлый и матовый экраны с тёмными знаками. Однако такие ВДТ имеют пока ограниченное распространение. Наиболее часто используются одноцветные ВДТ с яркостью знака не менее 100 кд/м² и многоцветные – не менее 50 кд/м², что обеспечивает с учётом возможности регулирования яркости контраст от 3 до 12. Оптимальным считается контраст от 5 до 1. Дополнительная подсветка экрана общим освещением улучшает распределение яркости в рабочей зоне, но одновременно ведёт к некоторому снижению контраста читаемых знаков, что может затруднить считывание информации. В целях ограничения чрезмерной освещённости экрана желательно, чтобы он имел защитный козырёк.

Ввиду сложной специфики указанных РМ первоочередной задачей проектировщика является наилучшее (в пределах достижимого) согласование яркостей в поле зрения работающего и максимально возможное уменьшение ослеплённости от прямой и отражённой блескости. Успешное решение проблем освещения РМ с ВДТ возможно только с учётом ряда требований и ограничений на ранних стадиях проектирования. Хорошее освещение в таких помещениях может быть спроектировано лишь при комплексном решении следующих вопросов: светотехники – в целом; строительства – в части подбора помещений по размерам, естественному освещению и обеспечению необходимой отделки интерьера и оборудования; технологий – в части правильной компоновки и размещения РМ в помещении.

При выборе помещения для РМ с ВДТ необходимо учитывать, что окна могут давать блики на экране и вызывать значительную ослеплённость у сидящих перед ним, особенно летом и в солнечные дни. Для размещения РМ с ВДТ наиболее пригодны помещения с односторонним расположением светопрёмов, обязательно снабжённых солнцезащитными устройствами (шторы, жалюзи и т. п.). Площадь остекления не должна быть очень большой, желательно в пределах 25 % площади стены со светопрёмами. Для минимизации засветки экранов ВДТ за счёт солнца окна должны быть ориентированы на север (северо-запад, северо-восток). Большие залы с разнотипными РМ, в том числе снабжёнными ВДТ, нежелательны. Наиболее целесообразны относительно небольшие помещения с группой однотипных РМ. В больших залах рекомендуется изолировать группы РМ друг от друга с помощью дополнительных перегородок.

Создавать блики на экранах ВДТ и слепить работающих могут не только окна, но и другие ярко освещённые светлые поверхности, в том числе потолок, стены, поверхности оборудования, столов, шкафов и даже одежда персонала. Поэтому все они должны иметь не слишком высокие коэффициенты отражения. Светлая и особенно блестящая одежда работающих также нежелательна.

Учитывая повышенную трудность зрительной работы с экраном, несущим знаки, резко контрастирующие с фоном, для отделки интерьеров, где размещаются РМ с ВДТ, целесообразно использовать ненасыщенные пастельные тона. Все отделочные материалы (краска, плёнка, пластик и т. п.) должны быть матовыми, блестящие элементы недопустимы. Крупный и чрезмерно контрастный рисунок на обоях, плёнке, пластике и других применяемых при отделке интерьера материалах нежелателен.

Улучшение качества освещения может быть обеспечено при жёсткой регламентации расположения РМ с ВДТ. Размещение в одном помещении разнотипных РМ не рекомендуется. При наличии в помещении РМ с ВДТ и РМ без них последние целесообразно разместить вблизи окон, а РМ с ВДТ – в глубине помещения. Рабочие места с ВДТ должны быть организованы в ряды, параллельные стене с окнами, а плоскости экранов дисплеев ориентированы перпендикулярно ей. Размещение РМ и ориентация экранов, при которых работающий обращён лицом либо спиной к окнам, недопустимо.

С учётом эргономических требований к размещению ВДТ на РМ рекомендуется располагать экран непосредственно перед работающим, не разворачивая его вправо или влево; РМ с ВДТ не рекомендуется размещать вблизи от хорошо освещённых стен или от других ярких поверхностей, которые могут отражаться в экране. Необходимо также учитывать, что РМ с ВДТ требуют увеличенной площади на одно РМ, так как при средней площади оборудования $0.8 \times 1.2 \text{ м}^2$ вокруг него должно оставаться свободное пространство не менее 1 м с каждой стороны.

Светотехнические требования к осветительным установкам РМ с ВДТ специфичны. Вопросы выбора системы освещения, нормируемых уровней освещённости и требований к качеству освещения могут быть правильно решены только при их взаимосвязанном рассмотрении и учёте множества различных, часто противоречивых требований. Подробный анализ возможных решений приводит к необходимости учёта не только специфики зрительной работы пользователя за экраном, но и её доли в общем балансе рабочего времени, а также особенностей экранов.

Увеличение утомления при росте доли зрительной работы могло бы частично компенсироваться повышением освещённости. Однако отрицательное влияние пульсации с ростом освещённости увеличивается. Поэтому в целях улучшения качества освещения было бы желательно не повышение, а напротив, некоторое ограничение освещённости. Наличие разных типов ВДТ (одноцветные и многоцветные, алфавитно-цифровые и графические) обуславливает возможность изменения как размера различаемых объектов, так и их контраста с фоном. Возникающие при этом вариации трудности зрительной задачи диктуют необходимость дифференциации требований к освещению с учётом особенностей экранов.

При определении уровней освещенности различных зон РМ необходимо также учитывать ряд противоречивых требований, в том числе целесообразность повышения освещённости на столе для улучшения условий зрительной работы с бумажным носителем и необходимость исключения неблагоприятных перепадов яркости между хорошо освещённой поверхностью стола и сравнительно тёмным экраном дисплея. Увеличение вертикальной освещённости в плоскости экрана, которое может облегчить считывание знаков, стимулируя рост остроты зрения, затрудняет считывание из-за одновременного падения при этом видимого контраста знаков.

Пульсация яркости объекта наблюдения на экране дисплея с частотой 50 Гц и более визуально незаметна, так как она немного выше критической частоты слияния мельканий, но, воздействуя на высшие отделы органа зрения, она вызывает их утомление, что является одной из причин специфического утомления работающих. Пульсация искусственного освещения может усугублять это утомление, а также приводить к снижению контрастности изображения или к его мельканию с низкой частотой за счёт стробоскопического эффекта. Повышение уровня освещённости от искусственного освещения и повышение яркости знаков на дисплее усиливают влияние пульсации.

Ввиду большой вредности блескости (как прямой, так и отражённой) ужесточаются требования по её ограничению. Применяемые осветительные приборы (ОП) общего освещения должны иметь повышенный защитный угол ($35\dots40^\circ$). Для ограничения ослеплённости за счёт прямой и отражённой блескости видимая яркость всех светящих элементов должна быть ограничена, особенно в углах излучения $50\dots90^\circ$. Для ограничения и снижения отражённой блескости средняя и максимальная яркости больших освещён-

ных поверхностей (потолок, стены и т. п.) в помещениях с видеодисплеями терминалами также не должны превышать этих значений. Такое ограничение относится к яркости солнцезащитных средств на окнах.

Первоначально освещение помещений с ВДТ проектировалось с использованием только системы общего освещения, поскольку применение комбинированного освещения имеет как преимущества, так и недостатки. Наличие местного освещения позволяет обеспечить лучшие условия работы с документацией за счёт увеличения горизонтальной освещённости стола. При этом не происходит дополнительной засветки экрана и работающий получает возможность регулировать (в определённых пределах) уровень освещённости и направление падения светового потока в соответствии с индивидуальными потребностями. Расход электроэнергии в системе комбинированного освещения уменьшается. Однако увеличение перепада яркости в поле зрения, наступающее при комбинированном освещении, может несколько ухудшить комфортность зрительной работы. За рубежом разработан ряд специальных осветительных приборов местного освещения для РМ с ВДТ. Имеются ОП местного освещения с компактными ЛЛ, регулируемые по высоте и устанавливаемые на струбцине ОП с компактными ЛЛ, а также специальные ОП местного освещения смешанного света с компактной ЛЛ и ЛН.

В помещениях с ВДТ общее освещение всегда должно решаться как общее локализованное. Оно может быть реализовано двумя способами – освещение прямым светом и отражённое освещение. В первом случае для сохранения должного качества освещения необходимо обеспечить падение света на РМ сбоку. Для этого могут быть использованы определённым образом располагаемые приборы, имеющие максимум силы света под углами 25...35° к вертикали. В этом случае целесообразно применять зеркальные приборы с параболическими или параболоцилиндрическими отражателями и такими же решётками, но имеющими не абсолютно зеркальное, а направленно-рассеянное отражение, что обеспечивает уменьшение неравномерности распределения яркости в поле зрения за счёт отсутствия резких теней. При этом для исключения вредного действия пульсаций следует применять модификации с высокочастотными ПРА. Целесообразно пользоваться модификацией “кососвет”, обеспечивающей возможность уменьшения пульсации освещённости за счёт сдвига токов в соседних лампах по фазе.

Отражённое освещение рекомендуется использовать в основном в помещениях малой площади и небольшой высоты. Его целесообразно выполнить с помощью специальных напольных ОП либо ОП, встроенных в оборудование, на котором имеются дисплеи. Осветительные приборы должны направлять световой поток только в верхнюю полусферу и иметь широкое или полуширокое светораспределение. При отражённом освещении ОП должны обеспечивать равномерное освещение потолка со средней его яркостью, не превышающей $200 \text{ кд}/\text{м}^2$.

Для местного освещения должны использоваться ОП с непросвечивающим отражателем и большим защитным углом (не менее 40°), имеющие достаточное число степеней свободы, позволяющее каждому работающему устанавливать их в соответствии с индивидуальными потребностями.

На основании результатов различных исследований, а также изложенных ранее соображений и рекомендаций, сформулированы следующие требования к освещению помещений с ВДТ, закреплённые в СНиП 2.09.08-90 на проектирование зданий вычислительных центров и помещений для размещения ЭВМ:

1. Для освещения помещений с ВДТ может применяться как система общего, так и система комбинированного освещения.

2. Общее освещение и общее освещение в системе комбинированного должны выполняться в виде локализованного (при использовании ОП прямого света) и в виде равномерного (при использовании ОП отражённого света) освещения.

3. Местное освещение в системе комбинированного следует использовать исключительно для освещения зоны горизонтальной поверхности стола, где производится работа с бумажным носителем информации. Для местного освещения следует применять ОП с непросвечивающими отражателями, имеющими защитный угол не менее 40° .

4. Уровни нормируемой освещённости при ВДТ с положительным контрастом изображения (светлый знак на тёмном фоне) приведены в табл. 10.

Таблица 10

Характеристики дисплея и зрительной работы		Нормируемая освещенность, лк, в плоскости стола E_{ct} и экрана E_{ek} , при системе освещения				
Дисплей	Время работы за дисплеем, % длительности смены	общего		комбинированного		
		E_{ct} не менее	E_{ek}	E_{ct} , не менее	в том числе E_{ct} от общего	E_{ek}
Алфавитно-цифровой одноцветный	Более 50	300	100...150	400	300	100...150
Алфавитно-цифровой многоцветный	Менее 50	400	150...200	500	400	150...200
Графический: одноцветный многоцветный	Более 50 Менее 50	300	75...100 —	— 200	200	— 75...100

5. Коэффициент запаса для ОП общего освещения с РЛ в помещениях с нормальными условиями среды не должен превышать 1.3, в производственных помещениях с тяжёлыми условиями среды – 1.5.

6. Коэффициент пульсации освещённости от общего освещения или общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 5 %.

7. Коэффициент пульсации освещенности от местного освещения во всех случаях не должен превышать 5 %.

8. Общее локализованное освещение следует использовать при определённой компоновке РМ. Рекомендуется применять ОП с полушироким специальным светораспределением, желательно двухламповыми “кососветами” с максимумом силы света под углами 25...40°, яркость которых в зоне углов излучения 50...90° не более 200 кд/м².

9. Равномерное отражённое освещение целесообразно использовать только в достаточно низких помещениях (до 4 м), преимущественно там, где обеспечить требования по специальному расположению РМ и экранов ВДТ невозможно.

10. ОП общего локализованного освещения в целях ограничения отражённой блескости целесообразно располагать сбоку от РМ с ВДТ. При этом требуется регулярное размещение РМ с одинаковой ориентацией экранов ВДТ, а значит, и линии зрения работающих. РМ с ВДТ для ограничения прямой и отражённой блескости от светопроёмов целесообразно располагать в помещениях с односторонним остеклением, имеющим солнцезащитные устройства (шторы, жалюзи и т. п.), и по возможности в максимальном удалении от окон. При этом экраны ВДТ должны быть ориентированы перпендикулярно остеклённой стене.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

Освещение преследует три главные цели (при зримом воздействии на органы зрения):

- Создание оптимальных условий для работы зрения.
- Обеспечение зрительного комфорта.
- Обеспечение эстетичности восприятия помещения или территории.

Кроме этого следует учитывать незримое воздействие света и создавать стимулирующее освещение, повышающее умственную деятельность и производительность труда. Так, увеличение освещённости с необходимого минимума до значения, превышающего его в 3-4 раза, может привести к улучшению работоспособности, увеличению производительности труда и длительности непрерывной работы в 2-3 раза.

Но эти две задачи часто вступают в противоречие. Оптимальное их решение может быть обеспечено как результат некоторого компромисса. Желательно, чтобы осветительные установки создавали биологически стимулирующее освещение и вместе с тем отвечали традиционным рекомендациям, касающимся зрительной работы.

Приступая к расчёту и проектированию систем освещения необходимо разделять:

- Проектирование внутреннего освещения с целью обеспечения выполнения какой-либо деятельности (производственные помещения, склады, офисы, классы, коридоры, лестницы и т. п.).
- Проектирование внутреннего освещения (музеи, галереи, церкви и т. п.) с целью реализации художественного или дизайнерского замысла.
- Проектирование наружного освещения с целью освещения дорожного покрытия.
- Проектирование наружного освещения с целью освещения территории и находящихся на ней объектов (стадионы, открытые склады, открытые эстрады, портовые сооружения и т. п.).

Напомним, что целью расчёта является выбор оптимального метода обеспечения зрительного комфорта для участников зрительной работы. Поэтому в том случае, когда объекты в поле зрительной работы являются жёстко привязанными к месту и наблюдатель относительно них занимает определённую позицию, целью проектирования является выбор оптимальной яркости объектов наблюдения. Этот случай характерен для наружного освещения дорог (положения водителя и пешехода на дороге и необходимые им зоны обзора прогнозируются в зависимости от рельефа местности и от рекомендуемой скорости движения) и (отчасти) для архитектурно-художественных объектов, расположение которых относительно зрителя может быть спрогнозировано. Для внутреннего производственного и бытового освещения, а также для наружного освещения производственных и культурных зон яркость будет определяться переменными по характеру, габаритам и т. д. объектами наблюдения, и, следовательно, целью проектирования является выбор уровня освещённости.

Введение в методы проектирования внутреннего освещения

Цель проектирования внутреннего освещения – гарантировать выполнение зрительной работы, визуальный комфорт или требуемое их сочетание при высокой энергетической эффективности и экономии электроэнергии и денежных средств на приобретение систем освещения и их установку.

Исходным данным для расчёта системы внутреннего освещения является требуемый уровень освещённости. Само проектирование сводится к выбору качественных характеристик применяемых источников света, расчёту количества источников света и к определению их пространственного расположения в помещении.

Известно (см. ранее), что уровень необходимой освещённости зависит:

- от вида деятельности в помещении. Определяется вид деятельности, для которой должно обеспечиваться освещение. Одновременно устанавливается расположение поверхностей, на которых выполняется зрительная работа;

- от характеристики зрительной работы. Определяются контрасты и размеры объектов различения, а также длительность выполнения зрительной работы;
- от коэффициентов отражения поверхностей проектируемой зоны. Все поверхности помещения влияют на перераспределение светового потока. Кроме того, на поверхностях могут возникать блики, мешающие выполнению зрительной работы. Поэтому при проектировании обязательно должны учитываться коэффициенты отражения поверхностей помещения, рабочей поверхности, а также поверхностей предметов.

В зависимости от этих показателей (от точности предполагаемой зрительной работы) выбирается нормированное значение минимальной (или оптимальной) освещённости.

Расчёт освещённости, как правило, касается только выбора стационарной системы освещения. Иными словами, под понятием “*проектирование системы внутреннего освещения*” понимается только расчёт “*общего освещения*”, и приведённые нормы выбираются только для “*общего освещения*”.

Уровень освещённости обычно определяется (и затем проверяется) на горизонтальной поверхности на высоте 0.8 м от пола – для рабочих мест и на высоте 0.2 м – для проходов. При этом коэффициент равномерности освещённости не должен быть ниже 0.8, а отношение между значениями освещённости любых двух смежных помещений не должно превышать 5:1.

Оценочный (грубый) метод выбора или расчёта системы внутреннего освещения

Рассматриваемый метод чаще носит название “*метода удельной мощности*”. Он основан на использовании данных о светоотдаче каждого типа источников света (ламп), т. е. о значении светового потока, создаваемого лампой данного типа и данной электрической мощности. Пример таких характеристик и параметры ламп общего назначения приведены в табл. 11.

По этим данным можно рассчитать примерную необходимую мощность источников света того или иного типа при данной их высоте подвеса над расчётной (рабочей) поверхностью. В этих расчётах надо учесть:

- что в качестве расчётной высоты подвеса источника света здесь следует выбирать расстояние от источника света до расчётной поверхности;
- увеличение мощности источника света в n раз (или увеличение количества источников в n раз) приводит к увеличению освещённости на расчётной высоте подвеса относительно табличного значения примерно в n раз;
- использование источников света с рефлекторами приводит к увеличению (за счёт перераспределения светового потока) силы света (а следовательно, и освещённости) в направлении максимума излучения в 1.5-3 раза.

Таблица 11

Тип лампы	Обозначение	Световой поток Φ , лм	Светоотдача, лм/Вт	Освещённость E , лк, на расстоянии h , м		
				2 м	3 м	5 м
Накаливания	В-220-25	220	8.8	4.7	2.1	0.8
	Б-220 -75	960	12.8	19.7	8.6	3.1
	БК-200-60	800	13.3	16.1	7.1	2.6
	Б-220-100	1380	13.8	27.5	12.3	4.5
	Г-220-150	2090	13.9	41.6	18.6	6.7
	Ц-230-25	190	7.6	4.4	2.0	0.8
	ЗК-220-60	950	15.8	28.9	12.4	5.2
	ЗД-220-100	700	7.0	22.3	10.1	4.4
	ЗШ-220-300	1100	3.7	36.1	14.7	6.0
Галогенные накаливания	GLN-12-35	850	24.3	17.1	7.7	2.8
	GLN-12-50	1250	25.0	25.6	11.2	4.0
	GLN-220-75	1700	22.7	34.7	15.1	5.5
	GLN-220-150	3000	20.0	61.1	26.8	9.7
	ГЛН-2000	5000	25.0	103.0	45.4	16.2
Люминесцентные газоразрядные	ЛБ-18	1250	69.5	25.8	11.2	4.1
	ЛД-18	850	47.2	17.2	7.6	2.7
	ЛДЦ-18	850	47.2	17.2	7.6	2.7
	ЛБ-20	1200	60.0	25.0	10.7	4.0
	ЛД-20	865	43.2	17.3	7.7	2.8
	ЛДЦ-20	850	42.5	17.2	7.6	2.7
	ЛБ-36	3050	84.7	62.0	27.3	9.8
	ЛД-36	2200	61.1	44.5	19.7	7.1
	ЛДЦ-36	2150	59.7	44.2	19.6	7.0
	ЛБ-40	3200	80.0	65.4	28.5	10.3
	ЛД-40	2200	55.0	44.7	19.9	7.2
	ЛДЦ-40	2190	54.7	44.7	19.8	7.2
	PL40	3500	88.0	70.9	31.2	11.2
	FL 140	7300	104.0	148.0	65.1	23.5
СС	ML500	13 000	26.0	265.0	116.0	41.7
РЛВД	HP 1000	58 000	58.0	1170.0	520.0	186.0
МГЛ	MHN 2000	189 000	95.0	3790.0	1690.0	605.0
НЛНД	SOX180	33 000	200.0	660.0	294.0	106.0
НЛВД	SON1000	130 000	138.0	2600.0	1160.0	416.0
	SDW100	4800	48.0	97.0	42.9	15.7
Индукционная	85	6000	70.0	120.0	54.0	19.6

По этим данным можно рассчитать примерную необходимую мощность источников света того или иного типа при данной их высоте подвеса над расчётной (рабочей) поверхностью. В этих расчётах надо учесть:

- что в качестве расчётной высоты подвеса источника света здесь следует выбирать расстояние от источника света до расчётной поверхности;
- увеличение мощности источника света в n раз (или увеличение количества источников в n раз) приводит к увеличению освещённости на

расчётной высоте подвеса относительно табличного значения примерно в n раз;

- использование источников света с рефлекторами приводит к увеличению (за счёт перераспределения светового потока) силы света (а следовательно, и освещённости) в направлении максимума излучения в 1.5-3 раза.

Такой грубый расчёт дает возможность выбрать желаемый тип источников света и определить потребляемую системой освещения электрическую мощность. При выборе необходимо также учитывать желательный спектр света, опасность ослепления наблюдателя, ожидаемые условия эксплуатации и т. д. Но этот расчёт не позволяет с приемлемой точностью выбрать даже количество источников света, не говоря уже об их расположении.

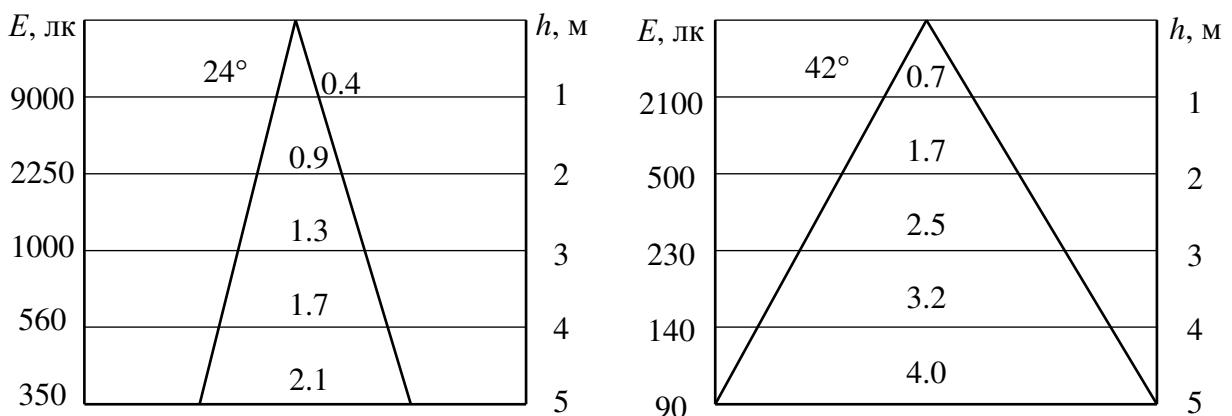


Рис. 30. Примеры круглосимметричных диаграмм половинной интенсивности для светильников с разной шириной диаграммы
(под диаграммой приведены диаметры кругов, освещённость на границе которых составляет половину от освещённости в центре круга)

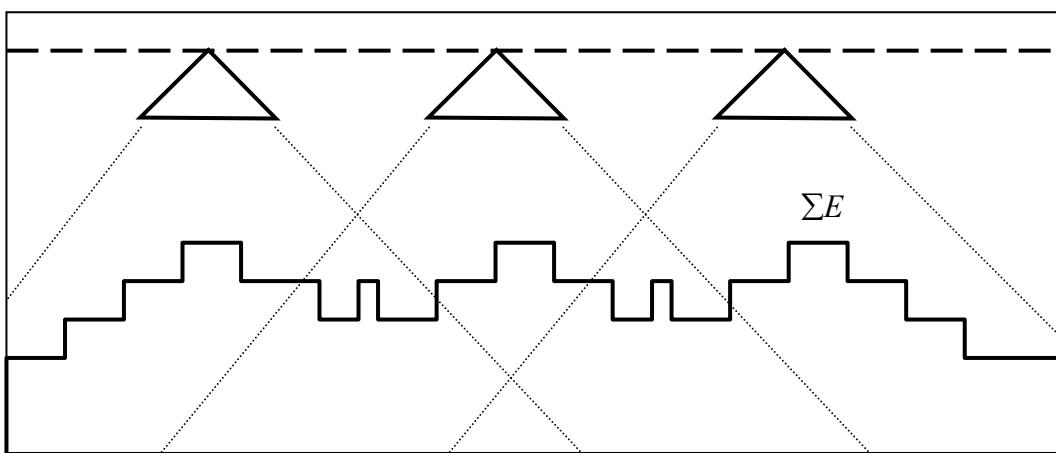


Рис. 31. Способ определения суммарной освещённости от нескольких источников света

Если же расположение источника света в помещении определяется некоторыми иными, например конструктивными или технологическими ограничениями (т. е. когда позиция светильника не рассчитывается, а выбирается), а

также если следует учесть характеристики не только источника света, но и всего светильника, то используются либо пространственные кривые условной горизонтальной освещённости для различных типов КСС, либо кругло-симметричные диаграммы половинной интенсивности (см. рис. 30).

С их помощью можно оценить суммарную освещённость от нескольких источников света (рис. 31).

Такой способ также является приближённым, но позволяет уже более точно оценить суммарную освещённость в разных зонах помещения с учётом взаимного расположения светильников.

Приближённый расчёт освещения с учётом коэффициента использования

Исходные данные для расчёта:

- требуемые характеристики освещения (уровень освещённости, требования по яркости, допускаемая ослеплённость, цвет и т. д.);
- знание полярных кривых силы света и коэффициента использования светильника с соответствующим источником света в нём.

Прежде всего выбираются уровень освещённости и класс ослеплённости.

Далее определяются характеристики выбранного светильника (см. ранее).

Для прямоугольной комнаты длиной a , шириной b и расстоянием от рабочей поверхности до светильника h определяется “индекс помещения”:

$$\Phi = ab/h(a + b).$$

Необходимое количество светильников может быть вычислено по формуле

$$N = Eab/(\Phi \eta K_3),$$

Таблица 12

Элемент	Коэффициент отражения									
Потолок	0.8	0.5	0.7	0.8	0.5...0.3	0.0				
Стена	0.5...0.3	0.5...0.3	0.5	0.5...0.3	0.5...0.3	0.0				
Пол	0.3			0.2		0.1		0.0		
Индекс Φ	η									
0.60	0.36	0.30	0.34	0.30	0.35	0.34	0.29	0.33	0.29	0.25
0.80	0.46	0.40	0.44	0.39	0.44	0.43	0.38	0.42	0.37	0.34
1.0	0.51	0.46	0.49	0.44	0.49	0.48	0.43	0.46	0.42	0.38
1.25	0.58	0.53	0.55	0.51	0.55	0.54	0.50	0.52	0.48	0.45
1.5	0.62	0.57	0.59	0.55	0.58	0.57	0.53	0.55	0.52	0.48
2.0	0.67	0.62	0.63	0.59	0.62	0.60	0.57	0.58	0.55	0.52
2.5	0.71	0.67	0.66	0.63	0.66	0.63	0.61	0.61	0.58	0.55
3.0	0.75	0.71	0.69	0.67	0.68	0.65	0.63	0.63	0.61	0.58
4.0	0.77	0.74	0.71	0.69	0.70	0.67	0.69	0.65	0.62	0.60
5.0	0.80	0.77	0.73	0.71	0.72	0.68	0.67	0.66	0.64	0.62

где E – требуемая средняя освещённость, лк; Φ – световой поток источника, лм; η – коэффициент использования, зависящий от индекса помещения и отражающих свойств его поверхностей (некоторые значения η для использования светильников типа ЛДОР приведены в табл. 12); K_z – коэффициент запаса.

Общий метод потока позволяет вычислять только:

- среднее значение освещённости на горизонтальной поверхности;
- количество светильников при регулярном расположении;
- освещение помещений только прямоугольной формы.

Точный точечный метод расчёта внутреннего освещения

Точечный метод расчёта является достаточно трудоёмким для простого ручного расчёта и применяется при создании соответствующих компьютерных средств расчёта. Точные вычисления основываются на точечном методе, в основе которого лежит зависимость освещённости данной точки пространства от расположения точечного источника:

$$E_p = I \cos \alpha / d^2,$$

где E_p – освещённость, лк, в точке p , I – сила света, кд, в направлении p ; d – расстояние, м, между световым источником и точкой p .

Горизонтальная и вертикальная освещённости (рис. 32) определяются выражениями:

$$E_{\Gamma} = I \cos^3 \alpha / h^2; \quad E_{\text{в}} = I \sin \alpha \cos^2 \alpha / h^2$$

или, в случае вертикальной поверхности, сдвинутой на угол β :

$$E_{\text{в}} = I \sin \alpha \cos^2 \alpha \cos \beta / h^2.$$

Суммарное действие N светильников создаёт в точке p освещённости:

$$E_{p\Gamma} = \sum_{i=1}^n E_{\Gamma i}; \quad E_{p\text{в}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{в}i}.$$

Произведя серию подобных вычислений для различных точек рабочей поверхности, можно определить среднюю освещённость.

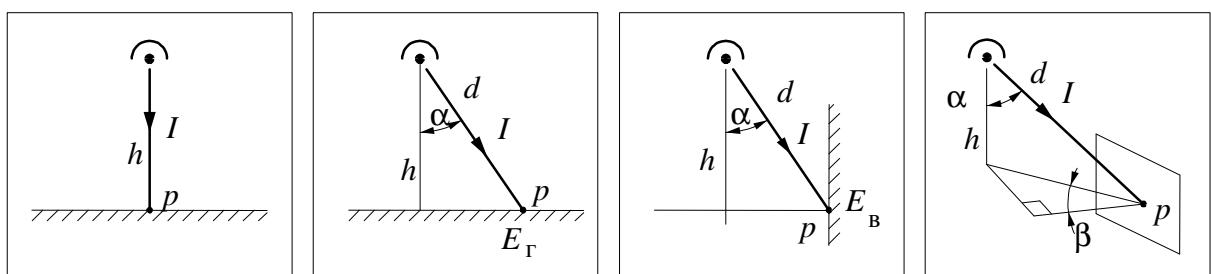


Рис. 32. Горизонтальная и вертикальная освещённости, создаваемые в точке p точечным источником

Формулы могут учитывать прямую и отражённую составляющие светового потока. Для предварительной оценки освещённости можно учитывать только среднее значение вклада отражённого светового потока:

$$E_{\text{отр}} = (\sum \Phi / \sum A) \rho_{\text{ср}} / (1 - \rho_{\text{ср}}),$$

где $\sum \Phi$ – суммарный световой поток всех светильников; $\sum A$ – общая площадь поверхностей помещения; $\rho_{\text{ср}}$ – средний коэффициент отражения поверхностей помещения, определённый как $\rho_{\text{ср}} = (\sum \rho_{\text{п}} A_{\text{п}}) / \sum A_{\text{п}}$.

Здесь $\rho_{\text{п}}$ – коэффициент отражения поверхности $A_{\text{п}}$ помещения.

Равномерность освещённости может быть оценена как $U_p = E_{\min} / E_{\text{ср}}$.

Прямая и отражённая освещённости могут полностью учитываться даже при множественных переотражениях с ограничениями только по быстродействию и по объёму памяти компьютера. Для моделирования отражений, теней, яркости источников используется *метод конечных элементов* для разбиения поверхностей и определения соответствующих коэффициентов формы (метод “Radiosity&Ray-Tracing” – точек и лучей).

Компьютерные методы расчёта внутреннего освещения

В настоящее время имеется ряд коммерческих программ (например, программа “Litestar 4.0” итальянской фирмы “Oxytech” и др.), предназначенные

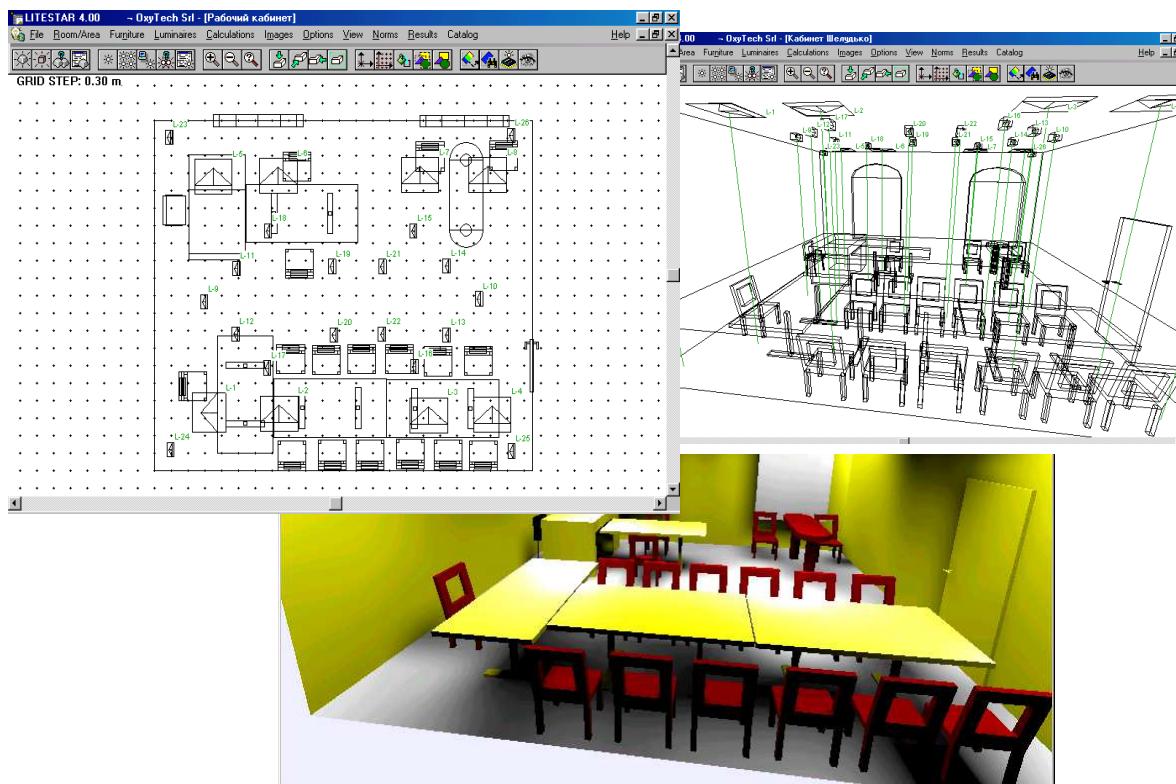


Рис. 33. Пример экранной формы с результатами расчёта с использованием пакета “Litestar”

ных для проектирования систем освещения, которые основаны на точечном методе расчёта освещённости. Пример экранной формы, демонстрирующей интерфейс пользователя и возможности пакета, представлен на рис. 33.

Полные расчёты внутренних систем производить повсеместно не представляется возможным. Обычно пренебрегают полной моделью внутреннего освещения, учитывающей изменения уровня естественного освещения в течение дня, интеграцию светильников с системой кондиционирования воздуха, наличие центрального автоматического управления освещением (микропроцессорный блок или управляющая ЭВМ и компьютер), обеспечивающего поддержание необходимой освещённости с учётом соотношения естественной и искусственной составляющих, снижения эффективности ламп в процессе эксплуатации, а также производящего учёт потребления энергии, и т. д.

Подобным образом могут производиться расчёты освещения помещений только в критических случаях и/или с целью соответствовать передовым тенденциям развития техники.

Основы проектирования наружного освещения. Освещение автодорог

Коэффициент яркости q точки p дорожного покрытия определяется положением наблюдателя относительно источника света (рис. 34).

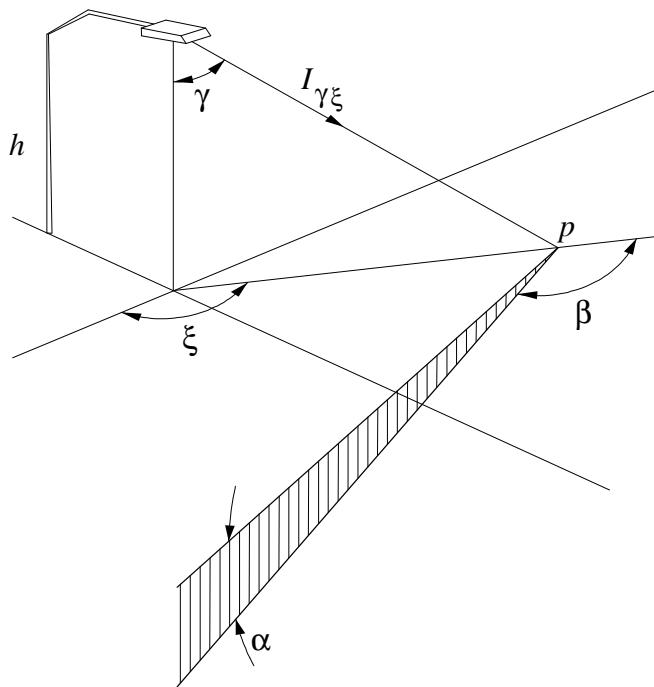


Рис. 34. Схема формирования углов, от которых зависит коэффициент яркости

На рисунке: α – угол наблюдения (к горизонтали); β – угол между плоскостью падения света и плоскостью наблюдения; γ – угол падения света.

Коэффициент яркости рассчитывается как отношение яркости L в точке p к горизонтальной освещённости E в той же самой точке:

$$q = L/E = q(\alpha, \beta, \gamma) \equiv q(\beta, \gamma).$$

Яркость определяется следующим выражением:

$$L = qE = \frac{qI \cos^3 \gamma}{h^2} = \frac{rI}{h^2},$$

где $r = q \cos^3 \gamma$ – относительный коэффициент яркости дорожного покрытия, $\text{кд}/\text{м}^2/\text{лк}$; I – сила света светильника в направлении точки p , кд .

Кривая силы света каждого источника света должна быть приведена к координатам “ $\xi - \gamma$ ” (см. рис. 34).

Значения r определяются через коэффициенты отражения (S_1) и поглощения (Q_0):

$$S_1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)}; \quad Q_0 = \left(\frac{1}{\Omega_0} \right) \int_0^{\Omega_0} q d\Omega,$$

где Ω_0 – телесный угол, включающий все направления падения света в точке дорожного покрытия, принимаемые во внимание при усреднении (рис. 35); $r(0, 2)$ – относительный коэффициент яркости для $\beta = 0$ и $\tan \gamma = 2$; $r(0, 0)$ – относительный коэффициент яркости для $\beta = 0$ и $\tan \gamma = 0$.

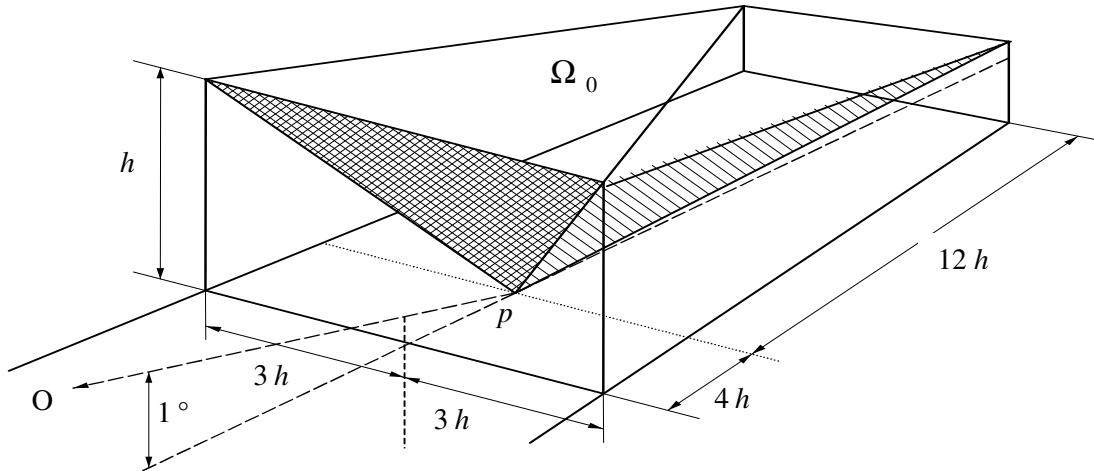


Рис. 35. Телесный угол, принимаемый во внимание при вычислении яркости в точке p

В качестве критериев для оценки визуальной эффективности и визуального комфорта водителя используются общая ($U_o = L_{\min} / L_{cp}$) и продольная ($U_1 = L_{\min} / L_{\max}$) равномерность освещения. Минимальное значение яркости (L_{\min}) и её среднее значение (L_{cp}) должны быть вычислены согласно схеме на рис. 36. При этом значения L_{\min} и L_{\max} рассматриваются только по оси собственного движения наблюдателя.

Для оценки уровня ослеплённости достаточно рассмотреть вклад только тех источников, которые попадают в поле зрения под углом до 20° относительно горизонтальной плоскости (рис. 37).

Указанные вычисления могут производиться:

- с использованием компьютерных программ, гарантирующих быстродействие и точность;
- с использованием типовых схем, разработанных производителями светильников. Они включают полный набор данных для разных способов применения (тип светильника и источника света; типичный перекрёсток дорог; класс дорог и дорожного покрытия; способ и высота установки; специфическая позиция наблюдателя; характеристики яркости, освещённости и слепимости).

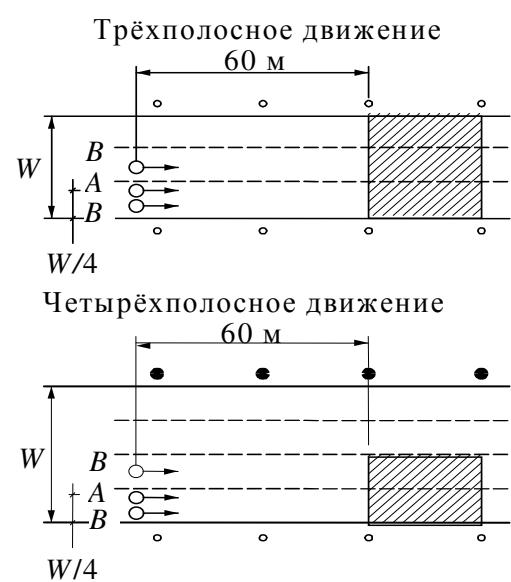
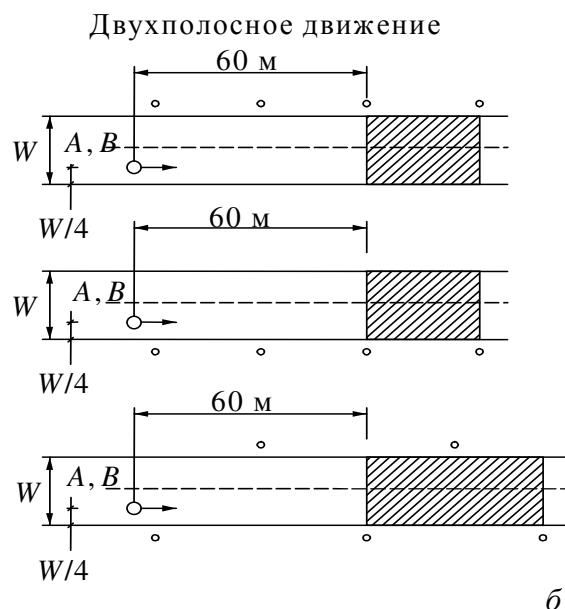
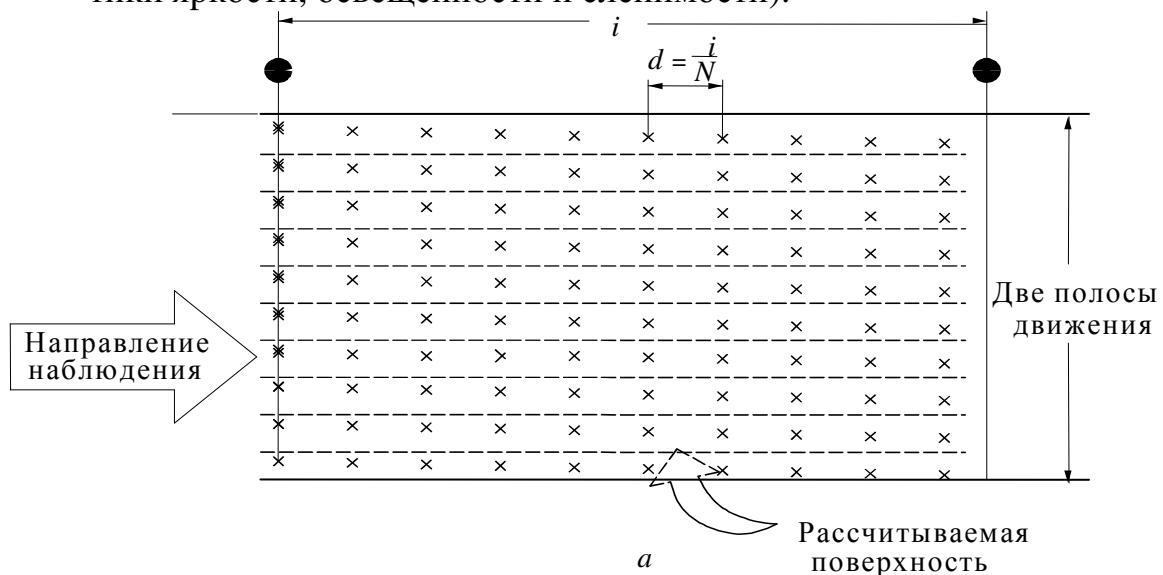


Рис. 36. Схема дороги для расчёта: *a* – точки вычислений освещённости и яркости; *б* – позиция наблюдателя ($N = 10$, если $i \leq 50$ м)

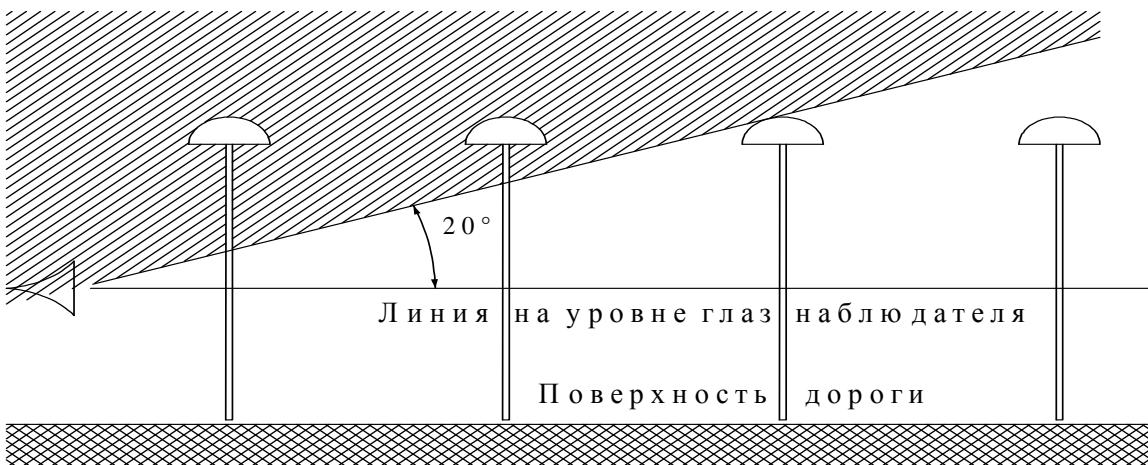


Рис. 37. Источники света, учитываемые при расчёте ослеплённости

Существует много коммерческих программ, позволяющих проектировать дорожное освещение.

В базы данных таких программ включены фотометрические характеристики применяемых светильников и источников света.

Установив требуемые средние значения яркости и освещённости, выбрав класс дороги и дорожного покрытия, можно быстро оптимизировать расположение источников света (т. е. их высоту и расстояния между ними) для любой комбинации светильников и используемых ламп.

Программы позволяют также проверять любой другой качественный показатель, например, показатель дискомфорта (G), неспособность превышения яркостью порога комфорта (TI), удельную энергетическую и экономическую эффективности.

Основные составляющие энергосберегающего эффекта

Вопрос сбережения энергии становится все более актуальным как на государственном уровне, так и на уровне отдельных организаций. Применительно к системам освещения это означает необходимость поиска путей снижения электропотребления при обеспечении требуемого санитарными нормами качества освещения.

Уровень энергопотребления систем освещения определяется, с одной стороны, энергоёмкостью установленного оборудования, а с другой – режимами его эксплуатации, которые задаются пользователями, исходя из производственных и личных интересов и потребностей. Первая составляющая энергопотребления определяется энергоёмкостью осветительных установок – приоритет следует отдавать более современным и менее энергоёмким. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. С 01 января 2011 г. не допускается применение для освещения ламп накаливания общего назначения мощностью 100 Вт и более.

Световая отдача источников света для общего искусственного освещения помещений при минимально допустимых индексах цветопередачи не должна быть меньше значений, приведенных в табл. 13.

Таблица 13

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт, не менее, при минимально допустимых индексах цветопередачи Ra			
	Ra ≥ 80	Ra ≥ 60	Ra ≥ 45	Ra ≥ 25
Дуговые ртутные лампы	–	–	55	–
Компактные люминесцентные лампы	70	–	–	–
Люминесцентные лампы	65	75	–	–
Металлогалогенные лампы	75	90	–	–
Натриевые лампы высокого давления	–	75	–	100
Светодиодные лампы	60	65	–	–
Светодиодные модули	70	80	–	–

Вторая составляющая энергопотребления систем освещения зависит от возможностей регулирования освещения.

При анализе организационно-технических аспектов энергопотребления систем освещения следует рассматривать, по крайней мере, четыре основных составляющих:

- *режимная составляющая*, связанная с возможностью изменения режимов работы осветительного оборудования по времени и величине энергопотребления в заданных периодах суток с целью минимизации расходов на дежурное освещение;
- *технологическая составляющая*, связанная с неэффективным использованием осветительного оборудования (максимальное энергопотребление и повышенная освещённость, не соответствующая классу решаемых зрительных задач) по объективным и субъективным причинам.
- *личностная составляющая*, связанная с возможностью изменения режимов работы осветительного оборудования пользователем в зависимости от специфики выполняемых в данный момент работ и личных потребностей.
- *бесхозная составляющая*, связанная с незаинтересованностью, безразличием людей к энергопотерям разного вида.

В различных учреждениях указанные составляющие энергопотерь имеют разный удельный вес, но в целом могут достигать 15...30 % и более от общего энергопотребления систем освещения.

Выбор стратегии управления освещением

Реализация технологий энергосбережения может опираться на следующие стратегии управления освещением:

1. *Стратегия планового регулирования*. В помещениях с неизменным режимом использования осветительные приборы могут включаться по заран-

нее разработанному графику (коридоры, холлы, читальные залы, столовые, территории внутренних дворов). Такая стратегия может уменьшить расходы на освещение пространства в отсутствие людей. Примером может служить система централизованного автоматического перевода систем освещения здания в ночное время в режим дежурного освещения. Это позволит не только уменьшить прямые потери электроэнергии из-за забывчивости сотрудников, но и сэкономить на установке отдельной системы дежурного освещения.

2. Стратегия учёта (использования) естественного (дневного) света. Обычно днем часть пространства помещения вблизи оконных проёмов может освещаться естественным солнечным светом. В этих зонах, регулируя уровень искусственной освещённости в соответствии с изменением яркости дневного света, можно уменьшить расход электроэнергии (рис. 38).

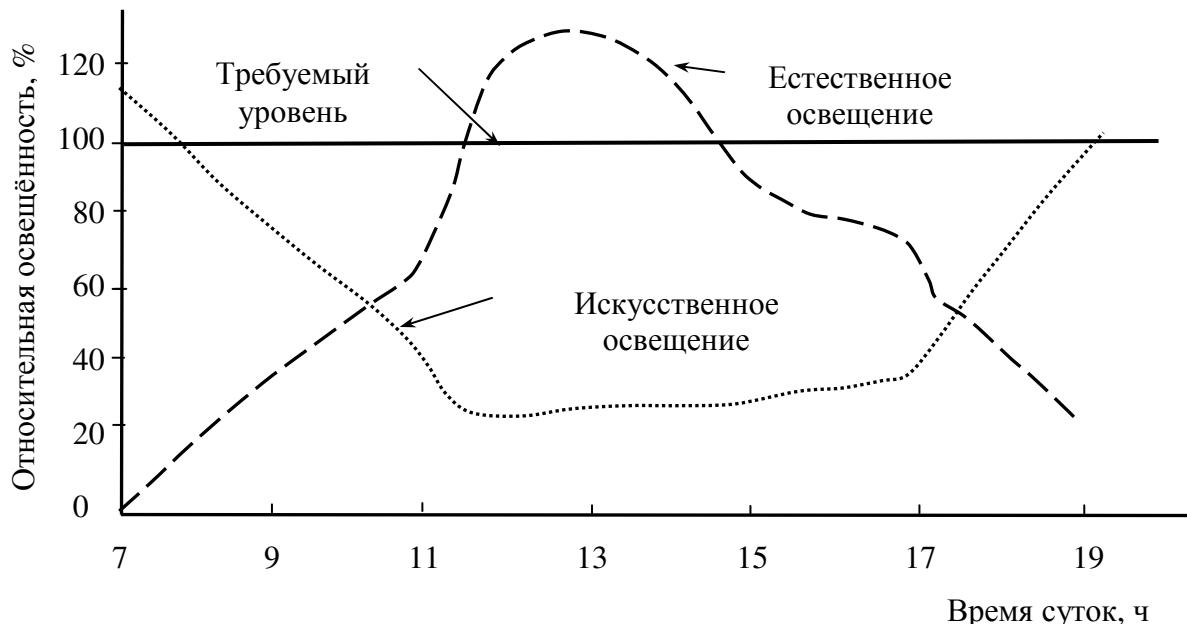


Рис. 38. Стратегия поддержания постоянного уровня освещённости (соответственно изменению естественной освещённости) с использованием управляемых фотоэлементом регуляторов

Экономия электроэнергии за счёт естественного освещения зависит от многих факторов, таких как климатические условия, форма и ориентация окон, дизайн здания. Размер и форма зон управления освещением обычно ограничены резким снижением горизонтальной освещённости при удалении от окон – обычно это полоса вдоль окон глубиной до 4 м. Наибольшая экономия электроэнергии достигается при применении автоматических систем регулирования светового потока светильников в локальных зонах вдоль окон, управляемых фотодатчиками освещённости.

3. Стратегия непредсказуемого управления. События эпизодического появления людей во вспомогательных помещениях (архивах, туалетных комнатах, некоторых коридорах) непредсказуемы и непланируемы. Системы автоматического управления с датчиками присутствия в таких условиях могут обеспечить экономию энергии по сравнению с вариантом ручного управле-

ния. Для безопасности и комфорта пользователей освещение в этих местах лучше выполнять тускнеющим, переходящим в режим дежурного освещения, а не выключающимся полностью. Наибольший эффект от такой стратегии управления достигается в помещениях с нелимитированным кругом пользователей, тогда как для служебных помещений с постоянными рабочими местами в большинстве случаев целесообразнее ручное управление.

4. Стратегия стабилизации светового потока. Системы освещения обычно проектируются из расчёта поддержания необходимого уровня освещённости с запасом 20...35 % на амортизацию светильников (снижение световой отдачи ламп, загрязнение осветительной арматуры, снижение коэффициента отражения поверхностей помещения). Эта стратегия управления предполагает уменьшение начального светового потока новой системы до установленного минимального уровня. По мере амортизации светильников увеличивается количество энергии, подводимой к лампам, в результате чего поддерживается постоянство их светового потока. Полная мощность подаётся только в конце периода эксплуатации светильника, тем самым снижая израсходованную энергию за срок службы лампы (рис. 39).

5. Стратегия функционального управления. Например, административные и учебные помещения часто являются универсальными по применению. При этом при выполнении разных задач возникают разные требования к качеству освещения. В учебных аудиториях или в залах заседаний повышенная освещённость может требоваться для письменных работ или чтения документов, а при демонстрации слайдов освещённость должна быть уменьшена в десять раз или более. Средство управления должно настроить освещение в соответствии с текущей задачей визуальной деятельности человека – необходимый уровень освещённости в помещении должен зависеть от заданного персоналом разряда зрительной работы.

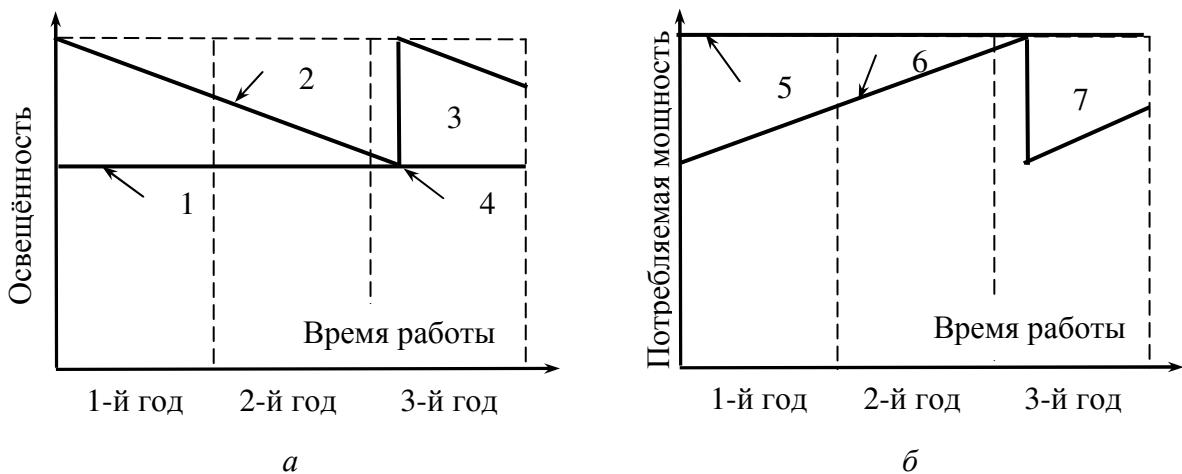


Рис. 39. Стратегия стабилизации светового потока

а – схема изменения светового потока при постоянной мощности; *б* – схема, обеспечивающая экономию энергии путём стабилизации светового потока;

1 – требуемый уровень освещённости; 2 – текущий уровень; 3 – избыток освещённости; 4 – чистка светильника и смена ламп; 5 – максимальная мощность; 6 – текущее значение потребляемой мощности; 7 – экономия энергии

Системы управления, реализующие указанные стратегии управления, различаются по степени автоматизации от ручного управления (настенные выключатели) до высоко автоматизированных. Для сокращения расхода энергии эффективно автоматическое управление, так как оно не связано с человеческой инициативой, но его применение не всегда эффективно по отношению к стоимости и к удобствам пользователей помещений.

Технологии управления освещением

Выбором структуры системы управления определяется выбор аппаратуры, который осуществляется по трём главным направлениям:

- переключение или плавное управление;
- локальный или центральный пульт управления;
- степень автоматизации управления.

Чаще всего практикуется ручное управление освещением. Так как управление зависит от инициативы пользователей, удобство и гибкость переключения очень сильно влияют на эффективность энергосбережения. При проектировании должны учитываться следующие обстоятельства:

- каждое отдельное помещение должно иметь собственный переключатель освещения (с учётом дневного освещения – двухуровневый);
- при использовании многоламповых осветительных арматур, лампы каждого светильника должны быть помещены в разные контуры управления для обеспечения пространственной равномерности освещенности при ступенчатом изменении светового потока;
- зоны пространства, требующие повышенных уровней освещённости, должны управляться отдельными выключателями;
- светильники вблизи окон должны быть объединены в отдельный независимый контур управления.

Таймеры (от простых механических до микропроцессорных, позволяющих программировать последовательность событий на несколько часов вперёд) должны программироваться с некоторым “перерегулированием” на случай отклонений от предварительно устанавливаемого графика. Функция таймера – управлять освещением в ответ на известные или намеченные последовательности событий.

Фоточувствительные элементы обычно содержат электронные компоненты, преобразовывающие световой поток в электрический сигнал. Выходной сигнал может обрабатываться по релейному закону либо обеспечивать непрерывное управление. Система с фоточувствительными элементами и релейным законом управления должна иметь зону нечувствительности. Порог освещённости, при превышении которой выключаются лампы, должен быть выше порога освещённости, ниже которой они включаются. Это предотвратит нестабильность работы системы управления около пороговых

уровней освещённостей. Системы, непрерывно изменяющие световой поток в ответ на изменяющийся сигнал фоточувствительного элемента, наиболее эффективны для учёта дневного света и стабилизации светового потока. Фоточувствительный элемент конструктивно может быть интегрирован в осветительную арматуру или установлен отдельно от светильника или группы светильников, работой которых он управляет.

Главная функция *датчиков присутствия* – автоматически выключить освещение, когда в зоне наблюдения нет людей. Появление людей вызывает локальное включение светильников. Присутствие людей может определяться акустическими или оптическими средствами. При выборе типа датчика и места его размещения проектировщик должен гарантировать, что все важные движения в пределах контролируемой зоны будут обнаружены, а ложные сигналы (в ответ на движение неодушевлённых объектов внутри зоны или людей вне зоны) – исключены.

Центральные процессоры выполняют операции сбора информации, рассчитывают управляющее воздействие и передают команды исполнительным органам. Наиболее сложные процессоры могут формировать несколько различных режимов работы освещения, собирать информацию о потреблении энергии, передавать итоговые сообщения для составления счетов арендатора и домоуправления. Порядок работы всех процессоров в принципе однотипен – с датчиков собираются информационные сигналы, данные анализируются в соответствии с предопределенным сводом правил, команды на изменение режимов работы осветительных прибороврабатываются самим процессором. Процессоры могут управлять ступенчатым или плавным изменением светового потока светильников, а кроме того могут реагировать на ручное управление, автоматически изменять режимы освещения в зависимости от времени суток или от условий освещённости.

Заключение

Таким образом, оптическое излучение, и в частности свет, является тем физическим полем, которое обычно несёт для человека наибольший объём информации и может воздействовать на него как весьма благоприятно (поднимать его настроение, повышать производительность), так и неблагоприятно (приводить к утомлению, вредно воздействовать на органы зрения).

Для обеспечения комфортных условий труда и удовлетворения требованиям безопасности и безвредности применительно к зрительным работам, выполняемых человеком в процессе своей деятельности, желательно учитывать не только требования действующих в РФ нормативных документов, но и ориентироваться на качественные показатели освещения, действующие в развитых странах мира.

При проектировании систем света необходимо правильно выбрать источники света с учётом их основных характеристик и предложить оптимальную систему освещения. Причём оценочное проектирование (определение ориентировочного количества элементов системы освещения) можно провести методом удельной мощности. Итоговое же проектирование (выбор оптимальной по конфигурации системы освещения и определение лучшего расположения отдельных её элементов) целесообразно осуществлять точным точечным методом с использованием ПЭВМ и современных пакетов программ проектирования, учитывающих переотражения светового потока от освещаемых поверхностей, в том числе и от элементов обстановки. Важным элементом в принятии окончательного решения по осветительной системе является также экономия электроэнергии за счёт учёта различных факторов.

Список рекомендуемой литературы

СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. Ввод в действие 20.05.2011 / ОАО ЦПП, М., 2011.

Вейнерд Д. Светодиодное освещение: Справочник/ Philips Solid-State Lighting Solution, 2010.

Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. Справочная книга по проектированию электрического освещения. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.

Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006.

Энциклопедия по безопасности и гигиене труда / Пер. с англ. М.: Профиздат, 1986.

Буканин Владимир Анатольевич,
Павлов Владимир Николаевич,
Трусов Александр Олегович

Безопасные и эффективные системы освещения

Электронное учебное пособие

Подписано в печать 07.11.13. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 5,25.
Гарнитура “Times New Roman”. Тираж 100 экз. Заказ 240.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

1. Нормируемые параметры ЭМП.

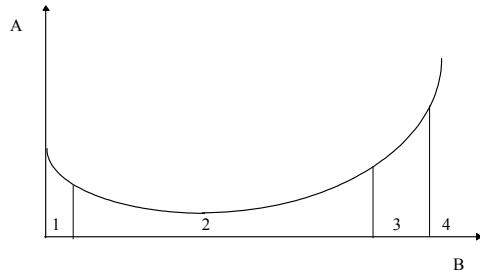
СанПиН 2.2.4.1191-03

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Устанавливают на рабочих местах:

- временные допустимые уровни (ВДУ) ослабления геомагнитного поля (ГМП),
- ПДУ электростатического поля (ЭСП),
- ПДУ постоянного магнитного поля (ПМП),
- ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц (ЭП и МП ПЧ),
- ПДУ электромагнитных полей в диапазоне частот $\geq 10 \text{ кГц} - 30 \text{ кГц}$,
- ПДУ электромагнитных полей в диапазоне частот $\geq 30 \text{ кГц} - 300 \text{ ГГц}$.

Временные допустимые уровни (ВДУ) ослабления геомагнитного поля (ГМП)



Изменение вредности (A) в зависимости от интенсивности ЭМП (B).

Временный допустимый коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля на рабочих местах персонала в помещениях (объектах, технических средствах) в течение смены

$$K_0^{\text{сп}} = H_0 / H_e \leq 2$$

где $|H_0|$ - модуль вектора напряженности магнитного поля в открытом пространстве;
 $|H_e|$ - модуль вектора напряженности магнитного поля на рабочем месте в помещении.

ПДУ электростатического поля (ЭСП)

Предельно допустимый уровень напряженности ЭСП равен **60 кВ/м** в течение ≤ 1 ч.

При напряженности менее **20 кВ/м** время пребывания в ЭСП не регламентируется.

В диапазоне напряженности 20...60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты (ч)

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{60}{A_{\text{раб}}} \right)^2$$

где E — фактическое значение напряженности ЭСП, кВ/м.

ПДУ постоянного магнитного поля (ПМП)

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0 - 10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

1 А/м $\sim 1,25$ мкТл, 1 мкТл $\sim 0,8$ А/м.

Напряженность МП линии электропередачи напряжением до 750 кВ

обычно не превышает 20...25 А/м.

ПДУ ЭМП промышленной частоты

ПДУ ЭП

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

- при Е= 5 ... 20 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП Т = (50/Е) - 2, час
- при 20 < Е < 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.
- пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.
- внутри жилых зданий 0,5 кВ/м;
- на территории жилой застройки 1 кВ/м;
- в населенной местности, вне зоны жилой застройки, а также на территории огородов и садов 5 кВ/м;
- на участках пересечения воздушных линий (ВЛ) с автомобильными дорогами 10 кВ/м;
- в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и частично посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) 15 кВ/м;
- в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения 20 кВ/м.

ПДУ МП

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
<= 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

ПДУ ЭМП радиочастотного диапазона (НЧ – ВЧ: 30 кГц-300 МГц) (СВЧ: 300 МГц - 300 ГГц)

В основу гигиенического нормирования положен принцип действующей дозы.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот $\geq 30 \text{ кГц} - 300 \text{ ГГц}$ осуществляется по величине **энергетической экспозиции** (ЭЭ).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот

- $\geq 30 \text{ кГц} - 300 \text{ МГц}$:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}\mathcal{E}F &= E^2 T, (\hat{A} / i)^2 \div, \\ \mathcal{E}\mathcal{E}H &= H^2 T, (\hat{A} / i)^2 \div.\end{aligned}$$

- $\geq 300 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}\mathcal{E}\mathcal{P}\mathcal{E} &= P\mathcal{P}\mathcal{E} * T, (\text{Вт}/\text{м}^2)\text{ч}, (\text{мкВт}/\text{см}^2)\text{ч}, \\ \text{где } E &- \text{напряженность электрического поля (В/м),} \\ H &- \text{напряженность магнитного поля (А/м),} \\ T &- \text{время воздействия за смену (час.).} \\ \mathcal{P}\mathcal{P}\mathcal{E} &- \text{плотность потока энергии (Вт}/\text{м}^2, \text{ мкВт}/\text{см}^2).\end{aligned}$$

Предельно допустимые значения
энергетической экспозиции для рабочих мест

Диапазоны частот	По электрической составляющей		По магнитной составляющей		По плотности потока энергии.	
	ЭЭЕ (В/м)2 ч	E В/м T≥8 ч T≤0.08 ч	ЭЭН (А/м)2 ч	H А\м T≥8 ч T≤0.08 ч	ЭЭППЭ (мкВт/см2) ч	ППЭ мкВт/см2 T≥8 ч T≤0.2 ч
30 кГц-3 МГц	20000.0	50	500	200	5.0	50
3-30 МГц	7000.0	30	296	-	-	
30-50 МГц	800.0	10	80	0.72	0.3	3
50-300 МГц	800.0	10	80	-	-	
300 МГц-300 ГГц	—	—	---	—	—	—
					200.0	25 1000

2. Виды действия электромагнитных полей на человека.

Характер воздействия ЭМП на организм определяется:

- **частотой** излучения;
- **интенсивностью** потока энергии (E, H, ППЭ)
- **продолжительностью** и режимом воздействия;
- размером облучаемой поверхности тела;
- индивидуальными особенностями организма;
- наличием сопутствующих вредных факторов, таких как: температура окружающей среды, шум, загазованность и другие факторы, которые снижают сопротивляемость организма.

ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

- Тепловое
- Нетепловое (информационное)

Тепловое:

ЭМП вызывает повышенный нагрев тканей человека, и если механизм терморегуляции не справляется с этим явлением, то возможно повышение температуры тела. Тепловое воздействие наиболее опасно для мозга, глаз, почек, кишечника. Облучение может вызвать помутнение хрусталика глаза (катаракту).

Нагрев может происходить в результате протекания электрического тока, в результате эффекта поляризации.

При СВЧ: $\lambda \approx r_t$, где r_t -длина тела, ткани с плохим кровоснабжением могут перегреваться.

Нетепловое (информационное)

Плохо (не до конца) изучено.

Под действием ЭМП изменяются микропроцессы в тканях, ослабляется активность белкового обмена, происходит торможение рефлексов, снижение кровяного давления, а в результате - головные боли, одышка, нарушение сна.

- *Влияние на нервную систему*
- *Влияние на иммунную систему*
- *Влияние на эндокринную систему и нейрогуморальную реакцию*
- *Влияние на половую функцию*

3. Понятия теплового порога ЭМП и допустимой энергетической нагрузки на организм человека.

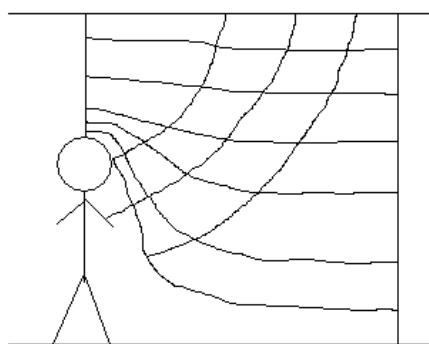
Тепловое воздействие – ЭМП вызывает повышенный нагрев тканей человека и если механизм терморегуляции не справляется с этим, то возможно повышение температуры тела.

Опасно для мозга, глаз, почек, кишечника. Может вызвать катаракту.

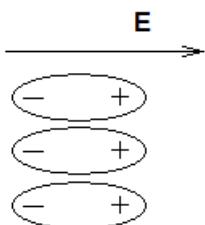
Причины теплового воздействия

- нагрев в результате протекания Эл. Тока через ткань.

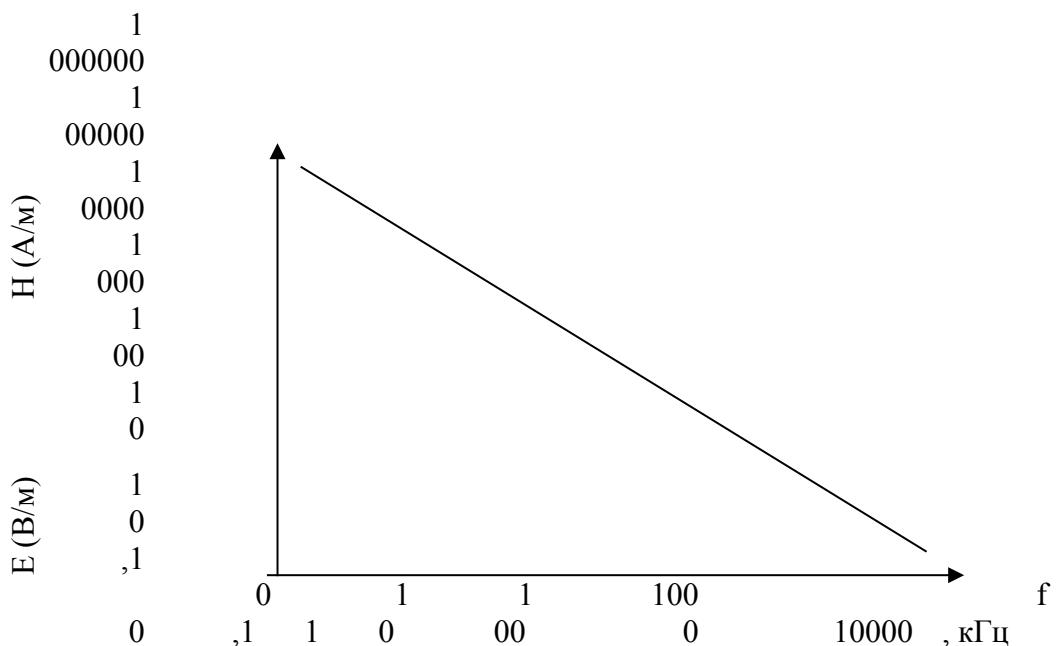
$$I = \epsilon_0 \frac{dE}{df}$$



- нагрев в результате поляризации вещества ткани



Тепловой порог:



f	Гц	k	$0,05$	10	100	1000	$*10^8$	3
E	A/m	A	6	1	3	0	$,3$	
S	T/m^2	B	50000	000	0	$,3$		1

4. Технические защитные мероприятия от воздействия электромагнитных полей на человека.

Инженерно-технические защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования электромагнитных полей непосредственно в местах пребывания человека либо на мероприятиях по ограничению эмиссионных параметров источника поля. *Последнее, как правило, применяется на стадии разработки изделия, служащего источником ЭМП.*

Одним из основных способов защиты от электромагнитных полей является их экранирование в местах пребывания человека. Два типа экранирования:

- экранирование источников ЭМП от людей
- экранирование людей от источников ЭМП.

Защитные свойства экранов основаны на эффекте ослабления напряженности и искажения электрического поля в пространстве вблизи заземленного металлического предмета.

Защита от электрического поля промышленной частоты, создаваемого системами передачи электроэнергии, осуществляется путем установления санитарно защитных зон для линий электропередачи и снижением напряженности поля в жилых зданиях и в местах возможного продолжительного пребывания людей путем применения защитных экранов.

Защита от магнитного поля промышленной частоты практически возможна только на стадии разработки изделия или проектирования объекта, как правило, снижение уровня поля достигается за счет векторной компенсации, поскольку иные способы экранирования магнитного поля промышленной частоты чрезвычайно сложны и дороги.

Основные требования к обеспечению безопасности населения от электрического поля промышленной частоты, создаваемого системами передачи и распределения электроэнергии, изложены в Санитарных нормах и правилах «Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» №2971-84.

При экранировании ЭМП в радиочастотных диапазонах используются разнообразные радиоотражающие и радиопоглощающие материалы.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Эти материалы используются в виде листов, сетки, либо в виде решеток и металлических трубок. Экранирующие свойства листового металла выше, чем сетки, сетка же удобнее в конструктивном отношении. **д.** Защитные свойства сетки зависят от величины ячейки и толщины проволоки: чем меньше величина ячеек, чем толще проволока, тем выше ее защитные свойства. Отрицательным свойством отражающих материалов является то, что они в некоторых случаях создают отраженные радиоволны, которые могут усилить облучение человека.

Более удобными материалами для экранировки являются **радиопоглощающие материалы**. Листы поглощающих материалов могут быть одно- или многослойными. Многослойные — обеспечивают поглощение радиоволн в более широком диапазоне.

Для улучшения экранирующего действия у многих типов радиопоглощающих материалов с одной стороны впрессована металлическая сетка или латунная фольга. При создании экранов эта сторона обращена в сторону, противоположную источнику излучения.

В некоторых случаях стены покрывают специальными красками, содержащими серебро, медь, графит, алюминий, порошкообразное золото. Обычная масляная краска обладает довольно большой отражающей способностью (до 30%), гораздо лучше в этом отношении известковое покрытие.

Для экранирования смотровых окон, окон помещений, застекления потолочных фонарей, перегородок применяется **металлизированное стекло, обладающее экранирующими свойствами**. Такое свойство стеклу придает тонкая прозрачная пленка либо окислов металлов, чаще всего олова, либо металлов — медь, никель, серебро и их сочетания. Пленка обладает достаточной оптической прозрачностью и

химической стойкостью. Будучи нанесенной на одну сторону поверхности стекла, она ослабляет интенсивность излучения в диапазоне 0,8 – 150 см на 30 дБ (в 1000 раз). При нанесении пленки на обе поверхности стекла — ослабление достигает 40 дБ (в 10000 раз).

Для защиты населения от воздействия электромагнитных излучений в строительных конструкциях в качестве защитных экранов могут применяться металлическая сетка, металлический лист или любое другое проводящее покрытие, в том числе и специально разработанные строительные материалы. В ряде случаев достаточно использования заземленной металлической сетки, помещаемой под облицовочный или штукатурный слой.

Радиоэкранирующими свойствами обладают практически все строительные материалы.

В последние годы в качестве радиоэкранирующих материалов распространение получили **металлизированные ткани** на основе синтетических волокон. Их получают методом химической металлизации (из растворов) тканей различной структуры и плотности. Экранирующие текстильные материалы обладают малой толщиной, легкостью, гибкостью; они могут дублироваться другими материалами (тканями, кожей, пленками), хорошо совмещаются со смолами и латексами.

Организационные защитные мероприятия от воздействия электромагнитных полей на человека.

- нормирование параметров облучения
- выбор рациональных режимов работы установок;
- ограничение времени нахождения в зоне облучения;
- предупредительные надписи и знаки

Защита временем. Применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения в данной точке до предельно допустимого уровня. Путем обозначения, оповещения и т.п. ограничивается время нахождения людей в зоне выраженного воздействия электромагнитного поля. В действующих нормативных документах предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

Защита расстоянием. Применяется, если невозможно ослабить воздействие другими мерами, в том числе и защитой временем. Метод основан на падении интенсивности излучения, пропорциональном квадрату расстояния до источника. Защита расстоянием положена в основу нормирования санитарно-защитных зон – необходимого разрыва между источниками поля и жилыми домами, служебными помещениями и т.п.

5. Учет длительности пребывания человека в ЭМП при нормировании интенсивности электромагнитных полей.

Предельно допустимые значения Е и Н в диапазоне частот 60 кГц - 300 МГц на рабочих местах персонала следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам

$$E_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}H_{\text{пд}}}{T}}$$

$$H_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}E_{\text{пд}}}{T}}$$

где $E_{\text{пд}}$ и $H_{\text{пд}}$ - предельно допустимые значения напряженности электрического, В/м, и магнитного, А/м, поля;

Т - время воздействия, ч;

$\mathcal{E}H_{\text{пд}}$ и $\mathcal{E}E_{\text{пд}}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня, $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ и $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$.

Максимальные значения $E_{\text{пд}}$, $H_{\text{пд}}$ и $\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}$, $\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}$ указаны в таблице.

Параметр	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	св. 30 до 300
$E_{\text{ПД}}, \text{В/м}$	500	300	80
$H_{\text{ПД}}, \text{А/м}$	50	-	-
$\mathcal{E}H_{E_{\text{ПД}}} (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800
$\mathcal{E}H_{H_{\text{ПД}}} (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	-	-

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне частот от 0,06 до 3 МГц следует считать допустимым при условии

$$\frac{\mathcal{E}H_E}{\mathcal{E}H_{E_{\text{ПД}}}} + \frac{\mathcal{E}H_H}{\mathcal{E}H_{H_{\text{ПД}}}} \leq 1,$$

где $\mathcal{E}H_E$ и $\mathcal{E}H_H$ - энергетические нагрузки, характеризующие воздействия электрического и магнитного полей.

1.3. Предельно допустимые значения ППЭ ЭМП в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формуле

$$ППЭ_{\text{пд}} = K \cdot \frac{\mathcal{E}H_{\text{ппэ}_{\text{пд}}}}{T},$$

где $ППЭ_{\text{пд}}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/ м^2 ($\text{мВт}/\text{см}^2$, $\text{мкВт}/\text{см}^2$);

$\mathcal{E}H_{\text{ппэ}_{\text{пд}}}$ - предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная 2 Вт · ч/ м^2 ($200 \text{ мкВт} \cdot \text{ч}/\text{см}^2$);

K - коэффициент ослабления биологической эффективности, равный:

1 - для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

10 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50;

T - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение $ППЭ_{\text{пд}}$ не должно превышать 10 Вт/ м^2 ($1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$).

Таблица 1. Нормы облучения УВЧ и СВЧ

Плотность потока мощности энергии а, Вт/м ²	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП	Примечание

До 0,1	Рабочий день	В остальное рабочее время плотность потока энергии не должна превышать 0,1 Вт/м ² При условии пользования защитными очками. В остальное рабочее время плотность потока энергий не должна превышать 0,1 Вт/м ²
0,1-1	Не более 2 ч	
1-10	Не более 10 мин	

Таблица 2. Предельно допустимое время с напряжением 400 кВ и выше

Электрическая напряженность Е, кВ/м	Допустимое время пребывания, мин	Примечание
<5	Без ограничений	Остальное время рабочего дня человек
5—10 10—15	(рабочий день) <180	находится в местах, где
15—20 20—25	<90 <10 <5	напряженность электрического поля меньше или равна 5 кВ/м

Если напряженность поля на рабочем месте превышает 25 кВ/м или если требуется большая продолжительность пребывания человека в поле, чем указано в табл. 2, работы должны производиться с применением защитных средств — экранирующих устройств или экранирующих костюмов.

6. Понятие "дозы" излучения ЭМП. Нормирование длительности пребывания в зоне воздействия ЭМП по показателю дозы.

Эти поля, известные также под названием неионизирующих излучений, создаются такими устройствами, как дисплеи, широковещательные передатчики, сотовые и мобильные телефоны, электробытовые приборы и линии электропередач.

Источники ЭМП естественные: атмосферное электричество, космические лучи, излучение солнца. Искусственные: генераторы, трансформаторы, антенны, лазерные установки, микроволновые печи, мониторы компьютеров и др.

ДОЗОВЫЕ УРОВНИ.

Существует четыре уровня дозовых величин:

1. Предел дозы (для населения).
2. Переносимая и предельно допустимая доза (для профессиональных работников).
3. Доза оправданного риска.
4. Критическая доза.

Последние две категории доз могут относиться только к профессиональному облучению. Особый смысл имеет понятие «Критическая доза», впервые она была предложена Ю. Г. Григорьевым для космонавтов. Критическая доза по уровню может быть близка к дозе оправданного риска.

Предельно допустимой дозой для человека принята такая доза, которая в свете современных знаний несёт в себе очень незначительную возможность тяжёлых генетических последствий.

Ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле представляет собой так называемую “защиту временем”

Предельно допустимые уровни электромагнитного поля частотой 50 Гц

1. Оценка ЭМП ПЧ (50 Гц) осуществляется раздельно по напряженности электрического поля (Е) в кВ/м, напряженности магнитного поля (Н) в А/м или индукции магнитного поля (В), в мкТл.

Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцированно в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле.

2. Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

3. При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП Т (час) рассчитывается по формуле:

$$T = (50/E) - 2,$$

где

Е - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

Т - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

4. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

5. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

6. При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) МП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

7. Допустимое время пребывания может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня.

Для условий воздействия импульсных магнитных полей 50 Гц (таблица 1) предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности поля (Нпду) дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену (Т) и характеристики импульсных режимов генерации:

Режим I - импульсное с $\tau_{\text{ай}} \geq 0,02$ с, $t_{\text{п}} \leq 2$ с,

Режим II - импульсное с 60 с $\geq \tau_{\text{ай}} \geq 1$ с, $t_{\text{П}} > 2$ с,

Режим III - импульсное $0,02$ с $\leq \tau_{\text{ай}} < 1$ с, $t_{\text{П}} > 2$ с,

где $\tau_{\text{ай}}$ - длительность импульса, сек.,

$t_{\text{П}}$ - длительность паузы между импульсами, сек.

Таблица 1

ПДУ воздействия импульсных магнитных полей частотой 50 Гц в зависимости от режима генерации

T, ч	Нпду [А/м]		
	Режим I	Режим II	Режим III
<= 1,0	6000	8000	10000
<= 1,5	5000	7500	9500
<= 2,0	4900	6900	8900
<= 2,5	4500	6500	8500
<= 3,0	4000	6000	8000
<= 3,5	3600	5600	7600
<= 4,0	3200	5200	7200
<= 4,5	2900	4900	6900
<= 5,0	2500	4500	6500
<= 5,5	2300	4300	6300
<= 6,0	2000	4000	6000
<= 6,5	1800	3800	5800
<= 7,0	1600	3600	5600
<= 7,5	1500	3500	5500
<= 8,0	1400	3400	5400

Предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот $\geq 10 - 30$ кГц

1. Оценка и нормирование ЭМП осуществляется раздельно по напряженности электрического (Е), в В/м, и магнитного (Н), в А/м, полей в зависимости от времени воздействия.

2. ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при воздействии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м, соответственно.

3. ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при продолжительности воздействия до 2-х часов за смену составляет 1000 В/м и 100 А/м, соответственно.

Предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот
кГц - 300 ГГц

≥ 30

1. Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).

2. Энергетическая экспозиция в диапазоне частот ≥ 30 кГц - 300 МГц рассчитывается по формулам:

$$\text{ЭЭe} = E^2 \times T, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч},$$

$$\text{ЭЭh} = H^2 \times T, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч},$$

Где

E - напряженность электрического поля (В/м),

H - напряженность магнитного поля (А/м), плотности потока энергии (ППЭ, Вт/м², мкВт/см²),

T - время воздействия за смену (час.).

3. Энергетическая экспозиция в диапазоне частот ≥ 300 МГц - 300 ГГц рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭЭппэ} = \text{ППЭ} \times T, (\text{Вт/м}^2) \cdot \text{ч}, (\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{ч}, \text{ где ППЭ - плотность потока энергии (Вт/м}^2, \text{ мк Вт/см}^2\text{).}$$

В табл. 2 приведены предельно допустимые плотности потока энергии электромагнитных полей (ЭМП) в диапазоне частот 300 МГц—300000 ГГц и

Таблица 2. Нормы облучения УВЧ и СВЧ

Плотность потока мощности энергии a, Вт/м ²	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП	Примечание
До 0,1	Рабочий день	В остальное рабочее время
0,1-1	Не более 2 ч	плотность потока энергии не должна превышать 0,1 Вт/м ² При условии
1-10	Не более 10 мин	пользования защитными очками. В остальное рабочее время плотность потока энергий не должна превышать 0,1 Вт/м ²

время пребывания на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием ЭМП.

В табл. 3 приведено допустимое время пребывания человека в электрическом поле промышленной частоты сверхвысокого напряжения (400 кВ и выше).

Таблица 3. Предельно допустимое время с напряжением 400 кВ и выше

Электрическая напряженность E, кВ/м	Допустимое время пребывания, мин	Примечание
<5	Без ограничений	Остальное время рабочего дня
5—10 10—15	(рабочий день) <180 <90	человек находится в местах, где
15—20 20—25	<10 <5	напряженность электрического поля меньше или равна 5 кВ/м

7. Экранирование как способ защиты от ЭМП.

Инженерные защитные мероприятия строятся на использовании явления **экранирования электромагнитных полей**, либо на **ограничении эмиссионных параметров источника поля** (снижении интенсивности излучения). При этом второй метод применяется в основном на этапе проектирования излучающего объекта. Электромагнитные излучения могут проникать в помещения через оконные и дверные проемы (явление дисперсии электромагнитных волн).

При экранировании **ЭМП в радиочастотных диапазонах** используются разнообразные радиоотражающие и радиопоглощающие материалы.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Эти материалы используются в виде листов, сетки, либо в виде решеток и металлических трубок. Экранирующие свойства листового металла выше, чем сетки, сетка

же удобнее в конструктивном отношении, особенно при экранировании смотровых и вентиляционных отверстий, окон, дверей и т.д. Защитные свойства сетки зависят от величины ячейки и толщины проволоки: чем меньше величина ячеек, чем толще проволока, тем выше ее защитные свойства. Отрицательным свойством отражающих материалов является то, что они в некоторых случаях создают отраженные радиоволны, которые могут усилить облучение человека.

Более удобными материалами для экранировки являются радиопоглощающие материалы. Листы поглощающих материалов могут быть одно- или многослойными. Многослойные - обеспечивают поглощение радиоволн в более широком диапазоне. Для улучшения экранирующего действия у многих типов радиопоглощающих материалов с одной стороны впрессована металлическая сетка или латунная фольга. При создании экранов эта сторона обращена в сторону, противоположную источнику излучения.

Характеристики некоторых радиопоглощающих материалов приведены в табл.1.

Таблица1

Характеристики некоторых радиопоглощающих материалов

Наименование материалов	Тип марок	Диапазон поглощенных волн, см	Коэффициент отражения по мощности, %	Ослабление проходящей мощности, %
Резиновые коврики	В2Ф-2	0,8 - 4	1 - 2	98 - 99
Магнитодиэлектрические пластины	ХВ – 0,8	0,8	1 - 2	98 - 99
Поглощающие покрытия на основе поролона	«Болото»	0,8 – 100	1 - 2	98 - 99
Ферритовые пластины	СВЧ - 0,68	15 – 200	3 - 4	96 - 97

Несмотря на то, что поглощающие материалы во многих отношениях более надежны, чем отражающие, применение их ограничивается высокой стоимостью и узостью спектра поглощения.

В некоторых случаях стены покрывают специальными красками. В качестве токопроводящих пигментов в этих красках применяют коллоидное серебро, медь, графит, алюминий, порошкообразное золото. Обычная масляная краска обладает довольно большой отражающей способностью (до 30%), гораздо лучше в этом отношении известковое покрытие.

Радиоизлучения могут проникать в помещения, где находятся люди через оконные и дверные проемы. Для экранирования смотровых окон, окон помещений, застекления потолочных фонарей, перегородок применяется либо мелкоячеистая металлическая сетка (этот метод защиты не распространён по причине неэстетичности самой сетки и значительного ухудшения вентиляционного газообмена в помещении), либо металлизированное стекло, обладающее экранирующими свойствами. Такое свойство стеклу придает тонкая прозрачная пленка либо окислов металлов, чаще всего олова, либо металлов - медь, никель, серебро и их сочетания. Пленка обладает достаточной оптической прозрачностью и химической стойкостью. Будучи нанесенной на одну сторону поверхности стекла она ослабляет интенсивность излучения в диапазоне 0,8 – 150 см на 30 дБ (в 1000 раз). При нанесении пленки на обе поверхности стекла ослабление достигает 40 дБ (в 10000 раз). Металлизированное стекло горячего прессования имеет кроме экранирующих свойств повышенную механическую прочность и используется в особых случаях (например, для наблюдательных окон на атомных регенерационных установках).

Экранирование дверных проемов в основном достигается за счет использования дверей из проводящих материалов (стальные двери).

Для защиты населения от воздействия электромагнитных излучений могут применяться специальные строительные конструкции: металлическая сетка, металлический лист или любое другое проводящее покрытие, а также специально разработанные строительные материалы. В ряде случаев (защита помещений, расположенных относительно далеко от источников поля) достаточно использования заземленной металлической сетки, помещаемой под облицовку стен помещения или заделываемой в штукатурку.

Ослабление ЭМП с помощью строительных материалов

Материал	Толщина, см	Ослабление ППЭ, дБ		
		Длина волны, см		
		0,8	3,2	10,6
Кирпичная стена	70	-	2 1	16
Шлакобетонная стена	46	-	2 0,5	14 ,5
Штукатурная стена или деревянная перегородка	15	-	1 2	8
Слой штукатурки	1,8	12	8	-
Доска	5	-	-	8, 4
	3,5	-	-	5
	1,6	-	-	2, 8
Древесноволокнистая плита	1,8	-	-	3, 2
Фанера	0,4	2	1	-
Окно с двойными рамами, стекло силикатное	-	-	1 3	7
Стекло	0,28	2	2	-

В сложных случаях (защита конструкций, имеющих модульную или некоробчатую структуру) могут применяться также различные пленки и ткани с электропроводящим покрытием.

В последние годы в качестве радиоэкранирующих материалов получили металлизированные ткани на основе синтетических волокон. Их получают методом химической металлизации (из растворов) тканей различной структуры и плотности. Существующие методы получения позволяет регулировать количество наносимого металла в диапазоне от сотых долей до единиц мкм и изменять поверхностное удельное сопротивление тканей от десятков до долей Ом. Экранирующие текстильные материалы обладают малой толщиной, легкостью, гибкостью; они могут дублироваться другими материалами (тканями, кожей, пленками), хорошо совмещаются со смолами и латексами.

Механизм "отражения" ЭМП. Виды используемых материалов.

Механизм отражения

Отражение обусловлено в основном несоответствием волновых характеристик воздуха и материала, из которого изготовлен экран. Отражение электромагнитной энергии определяется через величины, выражаемые как отношение падающей энергии к отраженной (Вотр), которые обычно выражаются в децибелах, либо через коэффициент отражения, определяемый как величина, обратная (Вотр).

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Эти материалы используются в виде листов, сетки, либо в виде решеток и металлических трубок. Экранирующие свойства листового металла выше, чем сетки, сетка же удобнее в конструктивном отношении, особенно при экранировании смотровых и вентиляционных отверстий, окон, дверей и т.д. Защитные свойства сетки зависят от величины ячейки и толщины проволоки: чем меньше величина ячеек, чем толще проволока, тем выше ее защитные свойства. **Отрицательным свойством отражающих материалов** является то, что они в некоторых случаях создают отраженные радиоволны, которые могут усилить облучение человека.

Отражающие ЭМП РЧ экраны выполняются из металлических листов, сетки, проводящих пленок, ткани с микропроводом, металлизированных тканей на основе синтетических волокон или любых других материалов, имеющих высокую электропроводность.

Механизм "поглощения" ЭМП. Виды используемых материалов.

Поглощение ЭМП обусловлено диэлектрическими и магнитными потерями при взаимодействии электромагнитного излучения с радиопоглощающими материалами. В последних также имеют место рассеяние (вследствие структурной неоднородности Р. м.) и интерференция.

Виды радиопоглощающих материалов (Р. м.)

- Немагнитные Р. м. подразделяют на интерференционные, градиентные и комбинированные.
 - Интерференционные Р. м. состоят из чередующихся диэлектрических и проводящих слоев. В них интерферируют между собой волны, отразившиеся от электропроводящих слоев и от металлической поверхности защищаемого объекта.
 - Градиентные Р. м. (наиболее обширный класс) имеют многослойную структуру с плавным или ступенчатым изменением комплексной диэлектрической проницаемости по толщине (обычно по гиперболическому закону). Их толщина сравнительно велика и составляет $> 0,12 - 0,15 \lambda_{\text{макс}}$, где $\lambda_{\text{макс}}$ — максимальная рабочая длина волны. Внешний (согласующий) слой изготавливают из твёрдого диэлектрика с большим содержанием воздушных включений (пенопласт и др.), с диэлектрической проницаемостью, близкой к единице, остальные (поглощающие) слои — из диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (стеклотекстолит и др.) с поглощающим проводящим наполнителем (сажа, графит и т.п.). Условно к градиентным Р. м. относят также материалы с рельефной внешней поверхностью (образуемой выступами в виде шипов, конусов и пирамид), называемые шиловидными Р. м.; уменьшению коэффициента отражения в них способствует многократное отражение волн от поверхностей шипов (с поглощением энергии волн при каждом отражении).
 - Комбинированные Р. м. — сочетание Р. м. градиентного и интерференционного типов. Они отличаются эффективностью действия в расширенном диапазоне волн.
- Группу магнитных Р. м. составляют ферритовые материалы, характерная особенность которых — малая толщина слоя ($1 - 10 \text{ мм}$).

Различают Р. м. широкодиапазонные ($\lambda_{\text{макс}}/\lambda_{\text{мин}} > 3 - 5$), узкодиапазонные ($\lambda_{\text{макс}}/\lambda_{\text{мин}} \sim 1,5 - 2,0$) и рассчитанные на фиксированную (дискретную) длину волны (ширина диапазона $< 10 - 15\% \lambda_{\text{раб}}$); $\lambda_{\text{мин}}$ и $\lambda_{\text{раб}}$ — минимальная и рабочая длины волн.

Обычно Р. м. отражают $1 - 5\%$ электромагнитной энергии (некоторые — не более $0,01\%$) и способны поглощать потоки энергии плотностью $0,15 - 1,50 \text{ вт}/\text{см}^2$ (пенокерамические — до $8 \text{ вт}/\text{см}^2$). Интервал рабочих температур Р. м. с воздушным охлаждением от минус 60°C до плюс 650°C (у некоторых до 1315°C).

8. Санитарное нормирование шума. Принципы нормирования.

Санитарное нормирование шума — установление допустимых параметров шума на рабочем месте. Нормируемым параметром является уровень звукового давления. Уровнем звукового давления в децибелах называется величина

$$L = 20 * \lg(P/P_0)$$

где Р — среднеквадратичное значение звукового давления, дБ, P_0 — опорное значение звукового давления, равное $2 \cdot 10^{-5}$ дБ.

Допустимые значения уровней звукового давления устанавливаются для частотного интервала, который называется октавой. Окта́ва — это частотный интервал, в котором верхняя граничная частота $f_{\text{в}_\Gamma}$ больше нижней граничной $f_{\text{н}_\Gamma}$ в 2 раза:

$$f_{\text{в}_\Gamma} / f_{\text{н}_\Gamma} = 2$$

Окта́ву характеризуют среднегеометрической частотой.

$$f_{\text{с}_\Gamma} = \sqrt{(f_{\text{в}_\Gamma} * f_{\text{н}_\Gamma})}$$

Как правило, допустимые уровни представляют в виде кривых, называемых предельными спектрами (ПС). Предельный спектр получает номера по числу децибел, которые допускаются в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц (рис.). В зависимости от рода выполняемой работы различаются ПС-45, ПС-55, ПС-60, ПС-75. Для того, чтобы определить, удовлетворяет ли шум на рабочем месте санитарным нормам, нужно снять спектrogramму шума в октавных полосах и сравнить с допустимыми для данного вида работы ПС.

Для ориентировочной оценки шума введены допустимые уровни звука в децибелах по шкале А шумометра (дБА).

Так, предельному спектру ПС-45 соответствует допустимый уровень звука 50 дБА, предельному спектру ПС-75 — 80 дБА.

9. Понятие "Уровень звукового давления". Физический смысл нулевого уровня звукового давления.

Уровень звукового давления - Измеряется в дБ и является двадцатикратным десятичным логарифмом отношения эффективного значения звукового давления акустической системы к звуковому давлению, соответствующему порогу слышимости человека в тишине на частоте 1 кГц — 20 мкПа.

Нулевой уровень звукового давления (порог слышимости) - минимальная величина звукового давления, при которой звук данной частоты может быть ещё воспринят ухом человека. Величину порога слышимости принято выражать в децибелах, принимая за нулевой уровень звукового давления $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² или $2 \cdot 10^{-4}$ Н/м² при частоте 1 кГц (для плоской звуковой волны). Порог слышимости зависит от частоты звука. При действии шумов и других звуковых раздражений порог слышимости для данного звука повышается, причём повышенное значение порога слышимости сохраняется некоторое время после прекращения действия мешающего фактора, а затем постепенно возвращается к исходному уровню. У разных людей и у одних и тех же лиц в разное время порог слышимости может различаться в зависимости от возраста, физиологического состояния, тренированности. Измерения порога слышимости обычно производятся методами аудиометрии.

10. Опасность и вред производственного шума. Нормирование широкополосного и тонального шума.

По временным характеристикам шум подразделяется

Постоянный шум, уровень звука которого за выбранный отрезок времени изменяется во времени не более чем на 5 дБА

Непостоянный шум, уровень звука которого за выбранный отрезок времени изменяется более чем на 5 дБА

- **Колеблющийся** во времени, уровень звука которого непрерывно меняется во времени
- **Прерывистый**, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более, причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет более 1 сек)
- **Импульсный**, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый из которых длительностью менее 1 сек, при этом уровни звука, измеренные на импульсной характеристике шумометра, отличаются не менее чем на 7 дБА

Санитарное нормирование шума

ГОСТ 12.1.1.003-83* “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности”. СН 2.2 4/22.1.8.562-96

”Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территориях жилой застройки”

Ведется

- По предельному спектру, ПС, дБ, в октавных полосах частот

Нормируемыми параметрами шума являются уровни среднеквадратических звуковых (дБ) в октавных полосах с частотой 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

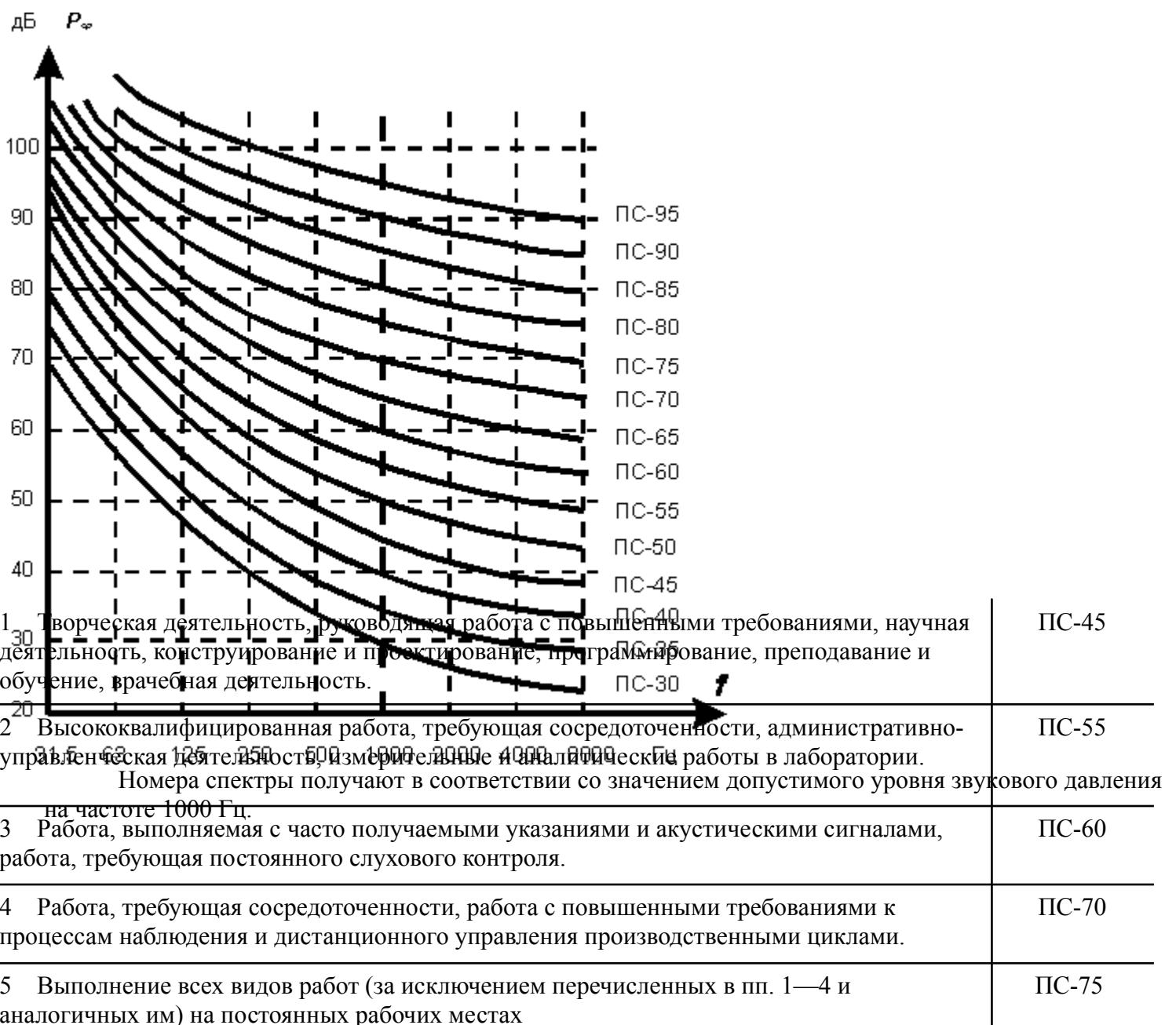
- По эквивалентному уровню звука, дБА . без частотного анализа по шкале А шумометра, которая приблизительно соответствует частотной характеристике слуха человека.

11. Предельный спектр шума. Различия в предельных спектрах шума для различных видов деятельности.

Одним из способов санитарного нормирования шума является нормирование по предельному спектру(ПС) в октавных полосах частот.

Нормируемыми параметрами шума являются уровни звуковых давлений (дБ) в октавных полосах со средней частотой 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Семейство нормировочных кривых шума (ПС), рекомендованных ISO:



12. Уровень звука. Физический смысл показателя. Связь нормируемого уровня звука с ПС.

Шум – вредный производственный фактор, влияющий на нервную и сердечно-сосудистую системы человека. Он является одним из видов загрязнения окружающей среды. Ограничению его вредного воздействия служат санитарное нормирование шума – установление допустимых параметров шума на рабочем месте. Нормируемым параметром является **уровень звукового давления**. Уровнем звукового давления в децибелах называется величина

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0},$$

где P – среднеквадратичное значение звукового давления, дБ, P_0 – опорное значение звукового давления, равное $2 \cdot 10^{-5}$ дБ.

Допустимые значения уровней звукового давления устанавливаются для частотного интервала, который называется октавой. Октава – это частотный интервал, в котором верхняя граничная частота $f_{\text{вр}}$ больше нижней граничной $f_{\text{нр}}$ в 2 раза:

$$f_{\text{вр}} / f_{\text{нр}} = 2.$$

Октаву характеризуют среднегеометрической частотой

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{нр}} \cdot f_{\text{вр}}}.$$

Как правило, допустимые уровни представляют в виде кривых, называемых предельными спектрами (**ПС**). Предельный спектр получает номера по числу децибел, которые допускаются в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц (рис. 1).

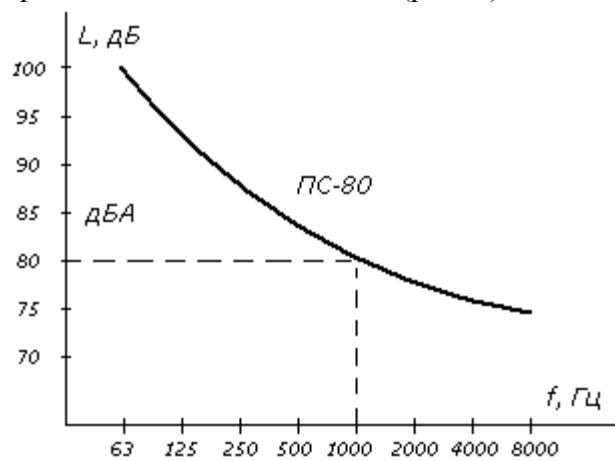


Рис.1. Кривая предельного спектра ПС-80

В зависимости от рода выполняемой работы различаются ПС-45, ПС-55, ПС-60, ПС-75. Для того, чтобы определить, удовлетворяет ли шум на рабочем месте санитарным нормам, нужно снять спектrogramму шума в октавных полосах и сравнить с допустимыми для данного вида работы ПС.

Для ориентировочной оценки шума введены допустимые уровни звука в децибелах по шкале А шумометра (дБА). Так, предельному спектру ПС-45 соответствует допустимый уровень звука 50 дБА, предельному спектру ПС-75 – 80 дБА.

V. Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

5.1. В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

5.2. В помещениях всех образовательных и культурно-развлекательных учреждений для детей и подростков, где расположены ПЭВМ, уровни шума не должны превышать допустимых значений, установленных для жилых и общественных зданий.

5.3. При выполнении работ с использованием ПЭВМ в производственных помещениях уровень вибрации не должен превышать допустимых значений вибрации для рабочих мест (категория 3, тип "в") в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

В помещениях всех типов образовательных и культурно-развлекательных учреждений, в которых эксплуатируются ПЭВМ, уровень вибрации не должен превышать допустимых значений для жилых и общественных зданий в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

5.4. Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровень шума которого превышает нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Приложение 1**Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ**

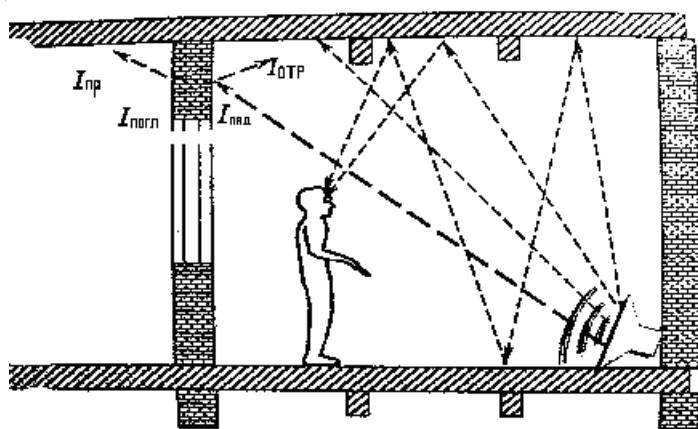
Таблица 2

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ

Измерение уровня звука и уровней звукового давления проводится на расстоянии 50 см от поверхности оборудования и на высоте расположения источника(ков) звука.

Источники:

Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. СН 2.2.4/2. 1.8.562-96

13. Звукоизоляция. Принцип снижения шума. Примеры материалов и конструкций.

Согласно представленной схеме уравнение баланса звуковой энергии выглядит так:

$$I_{\text{пад}} = I_{\text{погл}} + I_{\text{отп}} + I_{\text{пр}}$$

Т.е. интенсивность падающего звука равна сумме интенсивностей поглощенного, отраженного и прошедшего звука.

Отношение интенсивности прошедшего звука к интенсивности падающего наз-ся коэффициентом звукопроводимости:

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}}$$

Звукоизоляцией называется величина, обратная звукопроводимости. Звукоизоляция обозначает процесс отражения звука и служит для того, чтобы не пропускать звук через преграду. Значение звукоизоляции ЗИ,дБ; определяется след. образом:

$$ЗИ=10\lg(1/\tau)$$

Звукоизоляционные материалы, как правило, твердые ,не пропускающие звук из одного объема в другой. Поглощение звука в изолирующей конструкции может быть небольшим, ее действие основано на отражении звука от конструкции.

Механизм прохождения звука через ограждение заключается в том, что под воздействием падающих звуковых волн ограждение приводится в колебательное движение и само излучает звук.

Звукоизоляция следует так называемому закону масс, показывающему, что она возрастает с увеличением поверхностной массы преграды. Возрастание составляет 6дБ на каждое удвоение массы. эта же закономерность возрастания звукоизоляции проявляется при двукратном увеличении частоты.

$$m=p_{np}h_{np}$$

m -поверхностная масса

p_{np} -удельная масса преграды, кг/м³

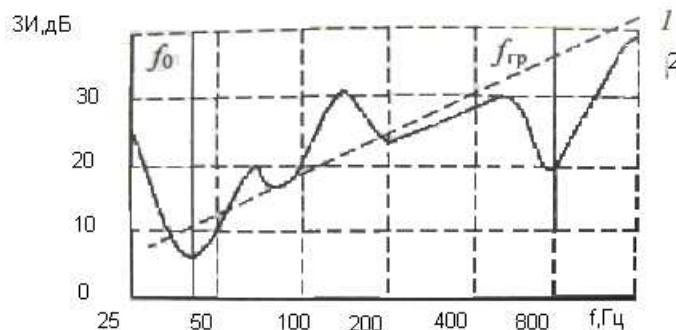
h_{np} -ее толщина в м.

Зависимость звукоизоляции от массы и частоты:

$$ЗИ=20\lg(mf)-60.$$

На определенных частотах закон массы нарушается вследствие так называемого пространственного резонанса, связанного с усилением звукоизлучения ограждения и с влиянием помещения, в котором расположена звукоизолирующая преграда.

Наибольший провал звукоизоляции наблюдается на резонансной(граничной) частоте f_{rp} , что видно на рис:



Значение резонансной частоты, когда длина звуковой волны в воздухе равна длине изгибной волны в преграде(Гц):

$$f_{rp}=c^2/(1.8c_n h_{np})$$

c_n -скорость продольной волны в преграде ,м/с.

Когда звукоизоляция ухудшается, значение f_{rp} возрастает с уменьшением толщины преграды, а также с увеличением ее изгибной жесткости.например, для стали $f_{rp}=12000/h_n$.

Увеличения звукоизоляции в области f_{rp} можно добиться внесением потерь в изолирующую пластины(ограждение) за счет изменения жесткости материала или покрытия пластины вибродемптирующими материалами.

Дополнительная звукоизоляция достигается при замене одностенных ограждений двустенными(равной поверхностной массы) за счет появления дополнительной звукоизоляции воздушного промежутка. Звукоизоляция ухудшается при наличии в ограждении ребер жесткости(кроме области инфразвуковых частот), а особенно при наличии щелей, отверстий, проемов(снижение звукоизоляции $\Delta ЗИ$ зависит от их площади).

В качестве примеров звукоизолирующих материалов можно привести сталь, силикатное стекло, органическое стекло.

Значения звукоизоляции некоторых материалов:

Тип ограждения	Материал	Толщина, мм	ЗИ, дБ, в третьоктавных полосах частот со среднегеометрическими значениями, Гц																
			100	125	160	200	250	320	400	500	640	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	
Одинарные	Сталь	1,0	15	15	18	17	18	17	23	25	26	29	31	34	34	37	38	40	
		3,0	20	23	29	27	27	27	29	32	34	37	38	40	41	42	42	41	
Слоистые и двойные	Алюминий	3,0	11	10	18	17	20	21	23	23	25	26	28	29	30	31	31	31	
	Оргстекло	5,0	15	15	18	16	17	18	20	21	23	24	26	28	30	32	34	35	
Фанера		10,0	20	16	17	15	18	21	21	23	24	26	27	28	29	26	26	25	
	Алюминий с в/д слоем	2,0+	15	15	20	18	20	22	23	25	21	23	24	30	32	34	36	37	
Стекло		2,0	$h = 5,$ $d=20$	18	16	16	22	24	26	24	28	33	35	38	39	40	37	30	35
	Алюминий	$d=100,$ $h=2$		11	10	16	17	23	21	25	30	34	36	40	41	45	47	50	53

Примечание: в/д – вибродемпфирование; h – толщина слоя; d – толщина воздушного промежутка.

13. Звукопоглощение. Принцип снижения шума. Примеры материалов и конструкций. (Шульженко)

Звукопоглощение

Звукопоглощение – способность материала ослаблять интенсивность звука. Звукопоглощающая способность материала характеризуется потерей звуковой энергии при падении звуковых волн, и их распространении в материальной среде.

Звукопоглощающие материалы и конструкции служат для поглощения звука в объеме, где расположен источник звука, так и в соседних объемах.

Принцип снижения шума

В качестве звукопоглощающих, как правило, используются материалы, в которых происходит процесс перехода звуковой энергии в тепловую. Чаще всего это пористые и рыхлые волокнистые материалы, например маты из ваты из супертонкого стекловолокна, базальтового волокна и т.д. Падающие звуковые волны вызывают колебание воздуха в порах материала. Вследствие вязкости воздуха колебание его в таких порах сопровождается трением, и кинетическая энергия колеблющегося воздуха переходит в тепловую. Энергия, переносимая звуковыми волнами при уровнях, с которыми приходится иметь дело даже на очень шумных производствах, настолько мала, что увеличение температуры любого материала, полностью поглощающего звук, происходит на тысячные доли градуса.

Звукопоглощающие материалы принято характеризовать коэффициентом звукопоглощения α .

Коэффициент звукопоглощения материала - отношение поглощенной энергии к падающей энергии звука. Т.о. коэффициент звукопоглощения определяется отношением интенсивности поглощаемого в конструкции звука к интенсивности падающего:

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{пад}}}.$$

Коэффициент звукопоглощения зависит от частоты падающих звуковых волн и от угла их падения. При использовании звукопоглощающих облицовок важен так называемый диффузный коэффициент звукопоглощения, усредненный по разнообразным углам падения звуковых волн. Обычно указывается диффузный коэффициент звукопоглощения для частот 60, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, иногда строят частотные зависимости коэффициента звукопоглощения.

Примеры материалов и конструкций

Звукопоглощающий материал или поверхность	Толщина, мм	Значение α в октавных полосах частот							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Плиты ПАО минераловатные, акустические	20	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20
Сталь	-				0,01				
Маты из супертонкого базальтового	50	0,1	0,25	0,7	0,98	1,0	1,0	1,0	0,95

волокна									
Маты из отходов капронового волокна	50	0,02	0,15	0,46	0,82	0,92	0,93	0,93	0,93
Войлок строительный	25	0,05	0,15	0,22	0,54	0,63	0,57	0,52	0,45
Стеклопластик	-	0,01	0,01	0,12	0,014	0,015	0,016	0,017	0,016

14. Порядок расчета суммарного шума, созданного несколькими источниками с известными уровнями звука.

Сложение уровней звукового давления нескольких источников:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right)$$

Где L_i – уровни звука (или уровни звукового давления) источника шума, дБА(дБ)

15. Принципы нормирования освещенности рабочего места.

VI. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

6.1. Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

6.2. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

6.3. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

6.4. Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

6.5. Следует ограничивать отраженную блесткость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

6.6. Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20. Показатель дискомфорта в административно-общественных помещениях не более 40, в дошкольных и учебных помещениях не более 15.

6.7. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

6.8. Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

6.9. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 - 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

6.10. В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные.

6.11. Для освещения помещений с ПЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА). Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными

пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

При отсутствии светильников с ЭПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

6.12. Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

6.13. Коэффициент запаса (K_3) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

6.14. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

6.15. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

16. Естественное освещение. Общие требования. Нормируемые показатели.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Оно должно быть обеспечено при постоянном пребывании людей в помещении, подразделяются на боковое, верхнее и комбинированное.

Боковое естественное освещение – естественное освещение помещения через световые проемы в наружных стенах.

Верхнее естественное освещение – естественное освещение помещения через фонари, световые проемы в стенах, находящиеся в местах перепада высот здания.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в зависимости от времени суток, года, метеорологических условий. Поэтому в качестве критерия оценки естественного освещения принята относительная величина - коэффициент естественной освещенности КЕО, не зависящий от вышеуказанных параметров.

КЕО - это отношение освещенности в данной точке внутри помещения Е_{вн} к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности Е_н, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах, т.е.

КЕО = 100 Е_{вн}/Е_н.

Принято раздельное нормирование КЕО для бокового и верхнего естественного освещения. При боковом освещении нормируют минимальное значение КЕО в пределах рабочей зоны, которое должно быть обеспечено в точках, наиболее удаленных от окна; в помещениях с верхним и комбинированным освещением - по усредненному КЕО в пределах рабочей зоны.

Общие требования и нормируемые показатели (Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03)

1. Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение.
2. Естественное освещение подразделяется на следующие типы: боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое).
3. При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности. Расчетная точка принимается в геометрическом центре помещения или на расстоянии 1 м от поверхности стены, противостоящей боковому светопроеему.
4. При комбинированном естественном освещении допускается деление помещения на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производятся независимо друг от друга.

5. При двухстороннем боковом освещении помещений любого назначения нормированное значение КЕО должно быть обеспечено в геометрическом центре помещения (на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности).
6. В центральной части и исторических зонах города в помещениях жилых и общественных зданий с односторонним боковым освещением, кроме помещений, указанных в подпунктах 1 а), 2 а) и 3 а) (из требований к естественному освещению общественных зданий) настоящих норм, нормированное значение КЕО, равное 0,50%, должно быть обеспечено в центре помещения.
7. Расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и деревьев, а также при стопроцентном использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах. Допускается снижение расчетного значения КЕО от нормируемого КЕО (ен) не более чем на 10%.
8. Расчетное значение средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения следует принимать равным 0,5.
9. Неравномерность естественного освещения помещений с верхним или комбинированным естественным освещением не должна превышать 3:1. Расчетное значение КЕО при верхнем и комбинированном естественном освещении в любой точке на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения должно быть не менее нормированного значения КЕО (ен) при боковом освещении в соответствии с таблицами 1, 2.

Требования к естественному освещению помещений жилых зданий

1. При одностороннем боковом освещении в жилых зданиях нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для 4- и более комнатных квартир.
2. В остальных комнатах многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение КЕО при боковом освещении должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола.
3. При одностороннем боковом освещении жилых комнат общежитий, гостиных и номеров гостиниц нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола в геометрическом центре помещения.

Требования к естественному освещению общественных зданий

1. При одностороннем боковом освещении в помещениях детских дошкольных учреждений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:
 - а) в групповых и игровых помещениях - в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;
 - б) в остальных помещениях - в расчетной точке, расположенной в геометрическом центре помещения на рабочей поверхности.
2. При одностороннем боковом освещении помещений школ, школ-интернатов, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:
 - а) в учебных и учебно-производственных помещениях - в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;
 - б) в остальных помещениях - в расчетной точке, расположенной в геометрическом центре помещения на рабочей поверхности.
3. При одностороннем боковом освещении помещений учреждений здравоохранения нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:
 - а) в палатах больниц, в палатах и спальных комнатах объектов социального обеспечения (интернатов, пансионатов для престарелых инвалидов и т.п.), санаториев и домов отдыха - в

- расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;
- б) в кабинетах врачей, ведущих прием больных, в смотровых, в приемно-смотровых боксах, перевязочных - в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;
- в) в остальных помещениях - в расчетной точке, расположенной в центре помещения на рабочей поверхности.
4. В помещениях общественных зданий (за исключением помещений, указанных в пунктах 1 а), 2 а) и 3 а)) допускается деление помещений на зоны с достаточным и недостаточным естественным освещением.

17. Достоинства и недостатки освещения рабочих мест люминесцентными лампами

стандартными лампами накаливания Галогенными лампами Разрядными лампами высокого давления

Вид лампы	Достоинства	Недостатки
<i>Люминесцентные</i>	1. Самый длительный срок службы 2. Высокая световая отдача 3. Высокое качество цветопередачи 4. Низкие яркость и температура поверхности лампы	1. Пульсация светового потока
<i>Накаливания</i>	1. Простота и удобство эксплуатации 2. Низкая цена 3. Универсальность применения	1. Небольшой срок службы 2. Низкое качество цветопередачи 3. Низкая световая отдача
<i>Галогенные</i>	1. Длительный срок службы 2. Хорошая цветопередача 3. Стабильная светоотдача на протяжении всего срока службы	1. Высокая цена
<i>Разрядные</i>	1. Самая высокая световая отдача 2. Большой срок службы 3. Разнообразные спектры излучения 4. Широкий диапазон значений мощности, яркости и др.	1. Сложность включения в сеть 2. Зависимость характеристик от теплового режима

18. Пульсации светового потока ламп. Причины появления и способы защиты.

Пульсация светового потока ламп освещения вызывается колебаниями напряжения.

Лампа накаливания

При одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем газоразрядных ламп.

Её восприятие человеком - фликер - утомляет, снижает производительность труда и, в конечном счёте, влияет на здоровье людей.

Доза фликера - мера восприятия человеком пульсаций светового потока . Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц и размахах изменения напряжения $\delta U_t = 29\%$.

В качестве вероятного виновника колебаний напряжения ГОСТ 13109-97 указывает потребителя с переменной нагрузкой.

Мероприятия по снижению колебаний напряжения:

1. Применение оборудования с улучшенными характеристиками (снижение δU_t на шинах спокойной нагрузки (- Q) снижается на 50...60 %).
2. Снижение сопротивления питающего участка сети.

Газоразрядная лампа

Пульсация светового потока - недостаток газоразрядных ламп, являющейся причиной так называемого стробоскопического эффекта

Ослабление пульсации светового потока достигается включением ламп на разные фазы трехфазной сети (включение их по опережающе-отстающей схеме).

В некоторых лампах применяется резонансная схема питания лампы, которая позволяет уменьшить пульсации светового потока путем реализацией режима работы лампы - без токовых пауз (в 10 раз).

19. Напряженность зрительной работы и характеризующие ее показатели.

Использование при нормировании освещенности.

Для промышленных условий имеются восемь разрядов зрительной работы, которые зависят от наименьшего или эквивалентного размера объекта различения: I - наивысшей точности, II - очень высокой точности, III — высокой точности, IV — средней точности, V - малой точности, VI - грубая работа (очень малой точности), VII - работа с самосветящимися объектами и изделиями в горячих цехах, VIII - общее наблюдение за ходом производственного процесса и общее наблюдение за инженерными коммуникациями. Подразряды зрительной работы зависят от контраста объекта с фоном и характеристики фона, например, подразряд "а" означает малый контраст и тёмный фон и т. д.

Для непромышленных и бытовых условий принята следующая характеристика зрительной работы: различение объектов при фиксированной и нефиксированной линиях зрения (А — очень высокой точности, Б - высокой точности и В - средней точности), обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов независимо от размера объекта различения (Г - при высокой насыщенности, Д - при нормальной насыщенности и Е - при низкой насыщенности помещений светом), общая ориентировка в пространстве интерьера - Ж и общая ориентировка в зонах передвижения - З.

Одной из характеристик зрительной работы является объект различения. Это рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы. Как правило, этот параметр используется при условии, что объект различения расположен до глаз на расстоянии не более 50 см. Если это условие не соблюдается, размер объекта различения определяется по специальным поправочным таблицам.

В мировой практике при разработке нормативных документов показатели эффективности освещения (уровень производительности труда, вероятность правильного решения зрительной задачи, уровень видимости, безаварийности работы транспорта и т. д.) используются лишь как критерии нормирования, а в качестве регламентируемых характеристик принимаются количественные и качественные параметры освещения.

В качестве количественных характеристик используются яркость, освещённость, цилиндрическая освещённость, коэффициент естественного освещения. Качество освещения характеризуется ослеплённостью и дискомфортом, неравномерностью распределения яркости или освещённости, коэффициентом пульсации светового потока, спектральным составом излучения источников света.

20. Показатели, характеризующие качество освещения рабочего места.

К основным качественным показателям освещения относятся коэффициент пульсации, показатель ослеплённости и дискомфорта, спектральный состав света.

Величина освещенности должна быть постоянной во времени, чтобы не возникало утомления глаз за счет переадаптации. Характеристикой относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света является коэффициент пульсации освещенности Кп . Коэффициент пульсации характеризует изменение светового потока разрядного источника света во времени с частотой 100Гц при питании током промышленной частоты. Длительное пребывание в условиях освещения пульсирующим светом приводит к зрительной усталости, вызывает повышенное утомление, головные боли и т.д. Чем ближе значение коэффициента пульсации к нулю, тем лучше. Российскими нормами допускается коэффициент пульсации не более 10-15% для жилых и общественных помещений.

$$Кп (\%) = 100 \cdot (E_{max} - E_{min}) / 2E_{cp},$$

где E_{max} , E_{min} и $E_{ср}$ - максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания.

Ограничения на спектральные особенности, точнее - на цветопередачу, накладываются только в том случае, если речь идет о выполнении зрительных работ высокой точности. Правильную цветопередачу обеспечивают естественное освещение и искусственные источники света со спектральной характеристикой, близкой к солнечной.

В поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная блескость. Блескость - повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т.е. ухудшение видимости объектов. Прямая блескость связана с источниками света, отраженная возникает на поверхности с большим коэффициентом отражения или отражением по направлению глаза. Критерием оценки слепящего действия, создаваемого осветительной установки, является показатель ослепленности P_o , значение которого определяется по формуле

$$P_o = (S - 1) \cdot 1000,$$

где S - коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Критерием оценки дискомфорта блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, является показатель дискомфорта.

Качество естественного освещения характеризуют коэффициентом естественной освещенности (KEO). Он представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба, к значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода; выражается в процентах.

К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность и яркость.

Часть лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как свет, называется световым потоком Φ и измеряется в люменах (лм).

Световой поток Φ - поток лучистой энергии, оцениваемый по зрительному ощущению, характеризует мощность светового излучения.

Единица светового потока - люмен (лм) - световой поток, излучаемый точечным источником с телесным углом в 1 стерadian при силе света, равной 1 канделе.

Световой поток определяется как величина не только физическая, но и физиологическая, поскольку ее измерение основывается на зрительном восприятии.

Все источники света, в том числе и осветительные приборы, излучают световой поток в пространство неравномерно, поэтому вводится величина пространственной плотности светового потока - сила света I .

Сила света I определяется как отношение светового потока $d\Phi$, исходящего от источника и распространяющегося равномерно внутри элементарного телесного угла, к величине этого угла.

За единицу величины силы света принята кандела (кд).

Одна кандела - сила света, испускаемого с поверхности площадью $1/6 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ полного излучения (государственный эталон света) в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания платины (2046,65 К) при давлении 101325 Па.

Освещенность E - отношение светового потока $d\Phi$ падающего на элемент поверхности dS , к площади этого элемента

$$E = d\Phi/dS.$$

За единицу освещенности принят люкс (лк).

Яркость L элемента поверхности dS под углом относительно нормали этого элемента есть отношение светового потока $d2\Phi$ к произведению телесного угла $d\Omega$, в котором он распространяется, площади dS и косинуса угла ?

$$L = d2\Phi / (d\Omega \cdot dS \cdot \cos \theta) = dI / (dS \cdot \cos \theta),$$

где dI - сила света, излучаемого поверхностью dS в направлении θ .

Коэффициент отражения характеризует способность отражать падающий на него световой поток. Он определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока Фотр. к падающему на него потоку Фпад.

21. Способы предотвращения слепящего действия систем освещения

- применение защитных плафонов;
- применение люминесцентных ламп;
- использование для внутренней отделки интерьера помещений диффузно-отражающих материалов;
- сведение к минимуму блестящих элементов интерьера;
- правильное расположение рабочих мест относительно источников освещения.

22. Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

В ВЦ, как правило, применяется боковое естественное освещение.

Рабочие комнаты и кабинеты должны иметь естественное освещение. В остальных помещениях допускается искусственное освещение.

В тех случаях, когда одного естественного освещения не хватает, устанавливается совмещенное освещение. При этом дополнительное искусственное освещение применяется не только в темное, но и в светлое время суток.

Искусственное освещение по характеру выполняемых задач делится на рабочее, аварийное, эвакуационное.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Следует ограничивать отраженную блесткость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20. Показатель дискомфорта в административно-общественных помещениях не более 40, в дошкольных и учебных помещениях не более 15.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 - 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп мощностью до 250 Вт. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные.

Для освещения помещений с ПЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА). Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

При отсутствии светильников с ЭПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

23. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

1. Помещения для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем обосновании и наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения, выданного в установленном порядке.
2. Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.
3. Не допускается размещение мест пользователей ПЭВМ во всех образовательных и культурно-развлекательных учреждениях для детей и подростков в цокольных и подвальных помещениях.
4. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электроннолучевой трубы (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м², в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м². При использовании ПЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4-х часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м² на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования).
5. Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7 – 0,8; для стен – 0,5 – 0,6; для пола – 0,3 – 0,5.
6. Полимерные материалы используются для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ при наличии санитарно-эпидемиологического заключения.
7. Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (зануленiem) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.
8. Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ.

24. Требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ

- Ограничения по шуму:

Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ

Измерение уровня звука и уровней звукового давления проводится на расстоянии 50см от поверхности оборудования и на высоте расположения источника(ов) звука.

- Ограничения по ЭМП:

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5Гц-2кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2кГц-400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5Гц-2кГц	250нТл
	В диапазоне частот 2кГц-400кГц	25нТл
Напряженность электростатического поля		15кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500В

Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05м от экрана и корпуса ВДТ (на электроннолучевой трубке) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать $7,74 \cdot 10^{-12} \text{ А/кг}$ (100 мкР/час), что соответствует эквивалентной дозе, равной 1мкЗв / час

- Организация рабочего места

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ

С ВДТ на базе электроннолучевой трубке (ЭЛТ)	$\geq 6 \text{ м}^2$
С ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные)	$\geq 4,5 \text{ м}^2$
При использовании ПЭВМ в ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.) если $t_{\text{работы}} < 4$ часов в день	$\geq 4,5 \text{ м}^2$

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2м.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 – 2,0 м

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700мм, но не ближе 500мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования в учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

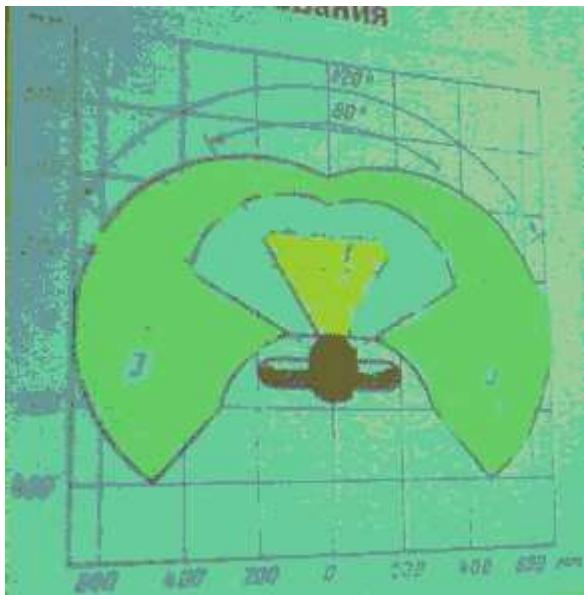
Модульными размерами рабочей поверхности столы для ПЭВМ на основании которых рассчитывается конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800, 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725мм.

ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

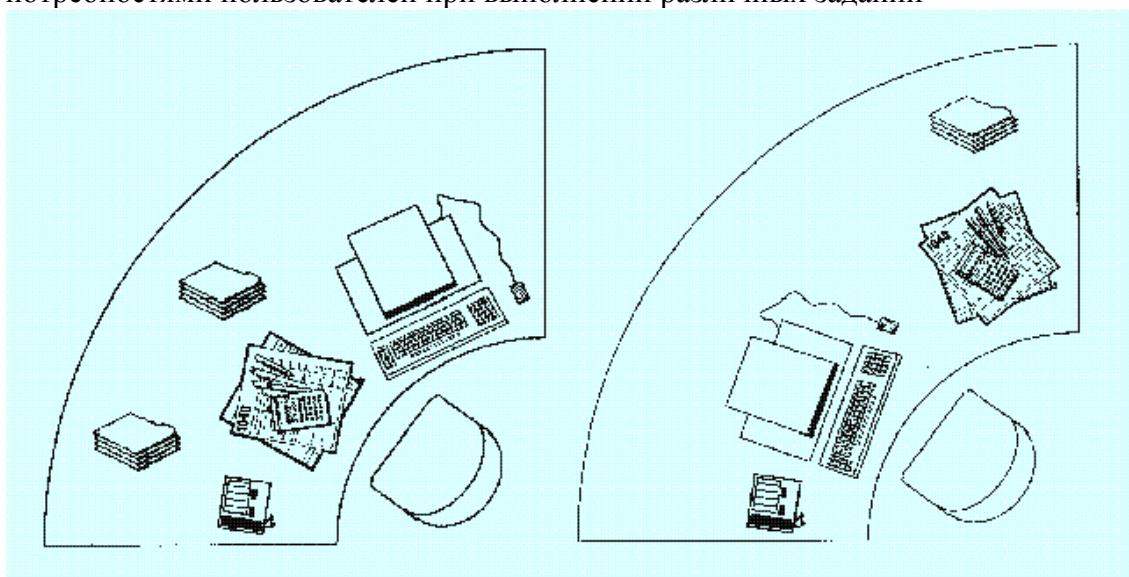
1 - зона для размещения наиболее важных и очень часто используемых органов управления (оптимальная зона моторного контроля)

2 – зона для размещения часто используемых органов управления (зона легкой досягаемости и моторного поля)

3 – зона для размещения редко используемых органов управления (зона досягаемости моторного поля)



Компоновка гибкого рабочего места – позволяет адаптировать его в соответствие с потребностями пользователей при выполнении различных заданий



Микроклимат

Микроклимат оценивают сочетанием четырёх факторов:

1. Температура воздуха t_b , $^{\circ}\text{C}$.
2. Скорость движения воздуха V_b , м/с.
3. Относительная влажность Φ , %.
4. Интенсивность теплового излучения $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Организм человека постоянно находится в состоянии теплообмена с окружающей средой.

Вследствие белкового, углеводного и жирового обмена в организме вырабатывается тепло (теплопродукция) Q_t , количество которого зависит от рода деятельности и интенсивности выполняемой работы. Это тепло для спокойного состояния человека составляет 80 - 100 вт.

Отдача тепла от тела человека

Теплопродукция организма отдаётся в окружающую среду посредством **конвекции**, **излучением** тепла и **испарением** влаги с поверхности кожи.

Тепло, передающееся **конвекцией** Q_k (вт) определяется:

$$Q_k = \alpha F (t_m - t_v),$$

где α - коэффициент теплоотдачи, который зависит от скорости движения воздуха, вт/(м²*град.); F - площадь поверхности тела, м²; t_m , t_v - температура тела и воздуха.

Конвективная отдача тепла зависит от скорости движения и температуры воздуха.

Отдача тепла **излучением** $Q_{изл.}$ (вт) происходит, если температура тела больше температуры стен.

Теплоотдача за счёт **испарения** влаги $Q_{\text{исп.}}$ (вт) с поверхности кожи зависит от влажности воздуха, а для открытых участков тела ещё и от скорости его движения.

Абсолютная влажность воздуха (A , г/кг) - это количество водяного пара, содержащегося в 1кг воздуха при данной температуре и давлении.

Максимальная влажность (F , г/кг) - это количество водяного пара, которое может содержаться в 1кг воздухе при тех же условиях.

Относительная влажность φ определяется:

$$\varphi = \frac{A}{F} \cdot 100, \%$$

Уравнение теплового комфорта

Нормальные для определённого вида деятельности теплоощущения человека характеризуются уравнением теплового комфорта:

$$Q_t = Q_k + Q_{изл.} + Q_{исп.}$$

В организме человека имеется психофизиологическая система **терморегуляции**, позволяющая ему адаптироваться к изменениям климатических факторов и поддерживать нормальную постоянную температуру тела. Терморегуляция осуществляется двумя процессами: выработкой тепла и теплоотдачей, течение которых регулируется ЦНС. При нарушении этого уравнения возможно ухудшение самочувствия, переохлаждение или перегрев организма.

Гипотермия

Гипотермия (переохлаждение) начинается, когда теплопотери становятся больше теплопродукции организма, а система терморегуляции не справляется с этими изменениями.

$$(Q_k + Q_{изл.} + Q_{исп.}) > Q_m$$

Нарушается кровоснабжение, что вызывает такие простудные заболевания, как невриты, радикулиты, заболевания верхних дыхательных путей.

В результате гипотермии наблюдается отклонение от нормального поведения, а затем апатия, усталость, ложное ощущение благополучия, замедленные движения, угнетение психики, а в тяжёлых случаях - потеря сознания и летальный исход.

Гипертермия

Гипертермия (перегрев) наблюдается при нарушении уравнения теплового комфорта, когда внешняя теплота $Q_{в.т}$ суммируется с теплопродукцией организма, и эта сумма превышает величину теплопотерь.

$$(Q_m + Q_{в.m}) > (Q_k + Q_{изл.} + Q_{исп.})$$

При гипертермии возникает головная боль, учащённый пульс, снижение артериального давления, поверхностное дыхание, тошнота. При тяжёлом поражении возможна потеря сознания. Эти симтомы характерны для теплового и для солнечного удара.

Повышенная влажность воздуха более 75% ускоряет развитие гипертермии и гипотермии.

Нормирование микроклимата

Климатические факторы действуют на человека комплексно. В то же время установлены комфортные значения для каждого фактора:

Температура воздуха 20 - 23 °C.

Относительная влажность 40 - 60 %.

Скорость движения воздуха для лёгкой работы 0,2 - 0,4 м/с.

Для производственных помещений факторы микроклимата (t_b , V_b , φ) нормируют как оптимальные и допустимые в зависимости от периода года (тёплый, холодный) и от категории работы по степени тяжести (лёгкая, средней тяжести и тяжёлая).

категории физических работ:

- I - легкие работы, не требующие физического напряжения.
 - Iа - энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт)
 - Iб - энергозатраты 121-150 ккал/ч (140-174 Вт)
- II - средней тяжести.
 - IIа - энергозатраты от 151 до 200 ккал/ч (175-232 Вт)
 - IIб - энергозатраты от 201 до 250 ккал/ч (233-290 Вт).
- III - тяжелые работы, связанные с систематическим физическим напряжением.

Расход энергии более 250 ккал/ч (290 Вт).

Категория работ	Период года	Температура, °С		Допустимая относительная влажность, не более, %	Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая		оптимальная, не более	допустимая
Легкая - Iа	х	22 - 24	21 – 25	75	0,1	≤ 0,1
	т	23 - 25	22 - 28	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2
Легкая - Iб	х	21 - 23	20 - 24	75	0,1	≤0,2
	т	22 - 24	21 - 28	60 (при 27°C)	0,2	0,1-0,3
Средней тяжести - IIа	х	18 - 20	17 - 23	75	0,2	≤0,3
	т	21 - 23	18 - 27	65 (при 26°C)	0,3	0,2-0,4
Средней тяжести - IIб	х	17 - 19	15 - 21	75	0,2	≤0,4
	т	20 - 22	16 - 27	70 (при 25°C)	0,3	0,2-0,5
Тяжелая - III	х	16 - 18	13 - 19	75	0,3	≤0,5
	т	18 - 20	15 - 26	75 (при 24°C)	0,4	0,2-0,6

Улучшение микроклимата

Улучшение микроклимата достигается:

В холодный период года применением теплоизолирующих материалов и систем отопления.

В тёплый период года использованием вентиляции и систем кондиционирования воздуха (**СКВ**).

Системы отопления делят на:

- паровые;
- водяные;
- воздушные;
- электрические;
- топливные.

Цель отопления - компенсировать потери теплоты.

Вентиляция по способу перемещения воздуха делится на:

- естественную;
- искусственную;
- смешанную.

Назначение вентиляции - это поглощение избыточной теплоты или нагревание воздуха.

Системы отопления

Потери теплоты в помещении Q_{π} складываются из потерь на ограждениях $Q_{огр.}$ и на остеклении $Q_{ост.}$. Система отопления должна иметь теплопроизводительность не меньше, чем величина теплопотерь.

$$Q_n = Q_{огр.} + Q_{ост.};$$

$$Q_{огр.} = F_{огр.} K_{огр.} (t_{вн.} - t_{нар.});$$

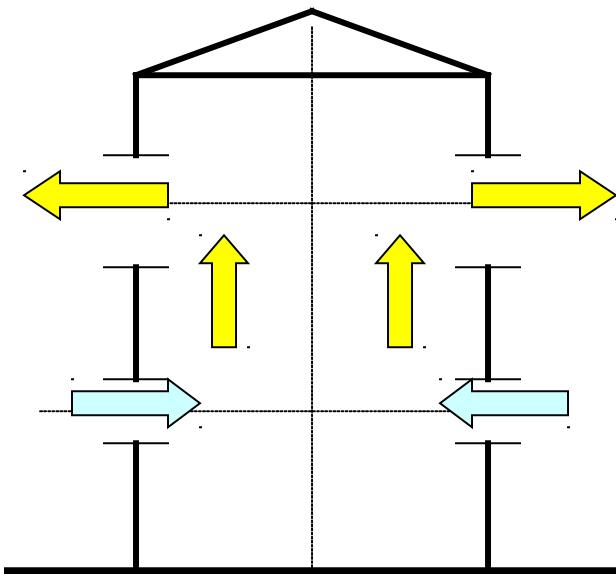
$$Q_{ост.} = F_{ост.} K_{ост.} (t_{вн.} - t_{нар.}),$$

где $F_{огр.}$, $F_{ост.}$ - площадь ограждений и остекления, м²;
 $K_{огр.}$, $K_{ост.}$ - коэффициенты теплопередачи, вт/(м²*град.);
 $t_{вн.}$, $t_{нар.}$ - температура внутреннего и наружного воздуха, °C.

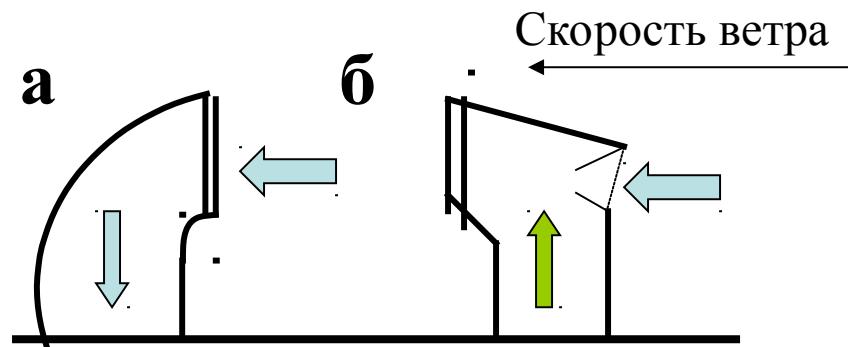
Естественная вентиляция

Естественная вентиляция осуществляется гравитационным давлением за счёт разности плотностей холодного и тёплого воздуха, а также ветровым напором.

Организованная естественная вентиляция - **аэрация**.

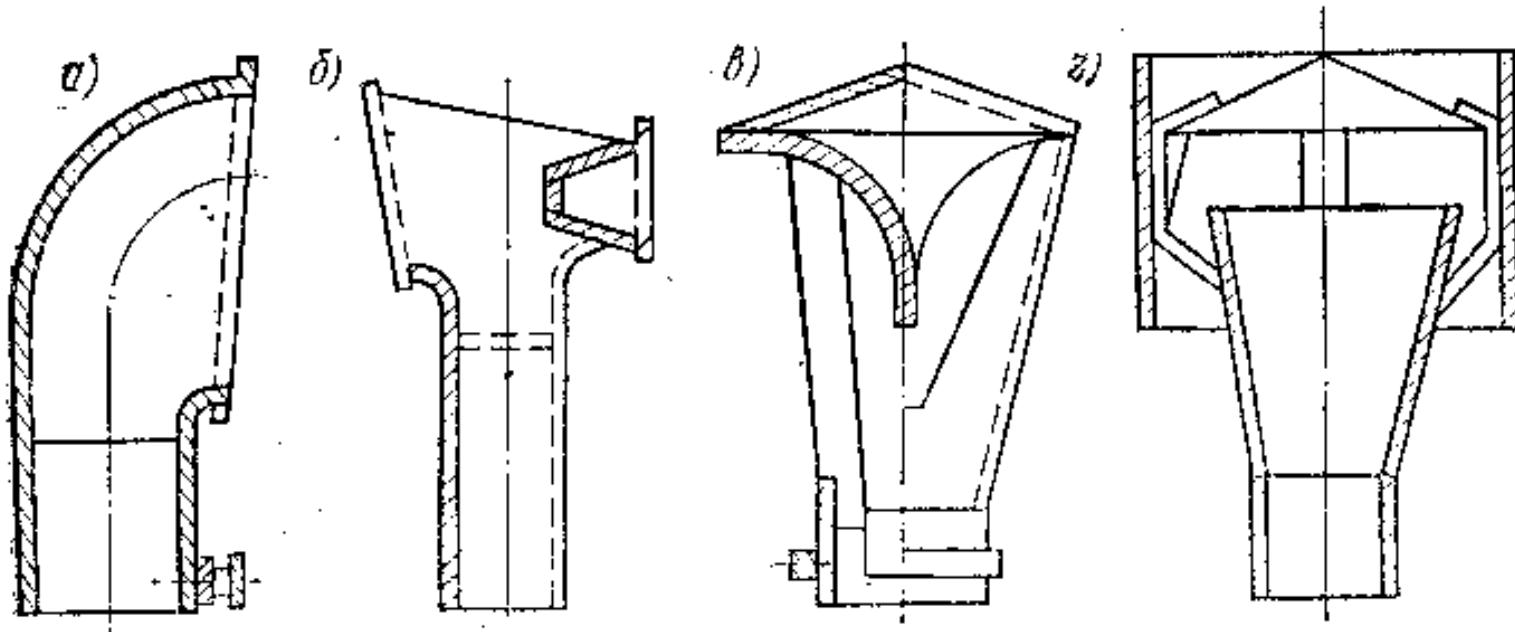


Естественная вентиляция дефлекторами



а - работает на приток;

б - эжекционный, работает на вытяжку



Дефлекторы

а - с плавным раструбом; б - эжекционный;
в - трёхгранный; г - круглый.

Искусственная вентиляция

При искусственной вентиляции воздух подаётся осевыми или центробежными (радиальными) вентиляторами.

Вентилятор характеризуется:

Производительность
вентилятора
определяется:

Производительностью (подачей) L , м³/ч.

Развиваемым давлением p , Па.

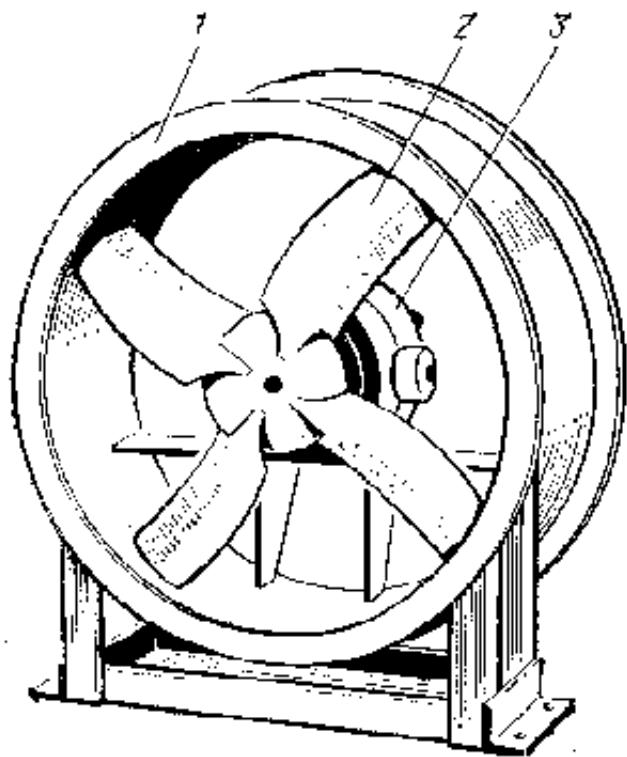
Электрической мощностью N , квт.

Коэффициентом полезного действия η .

$$L = 3600 F V ,$$

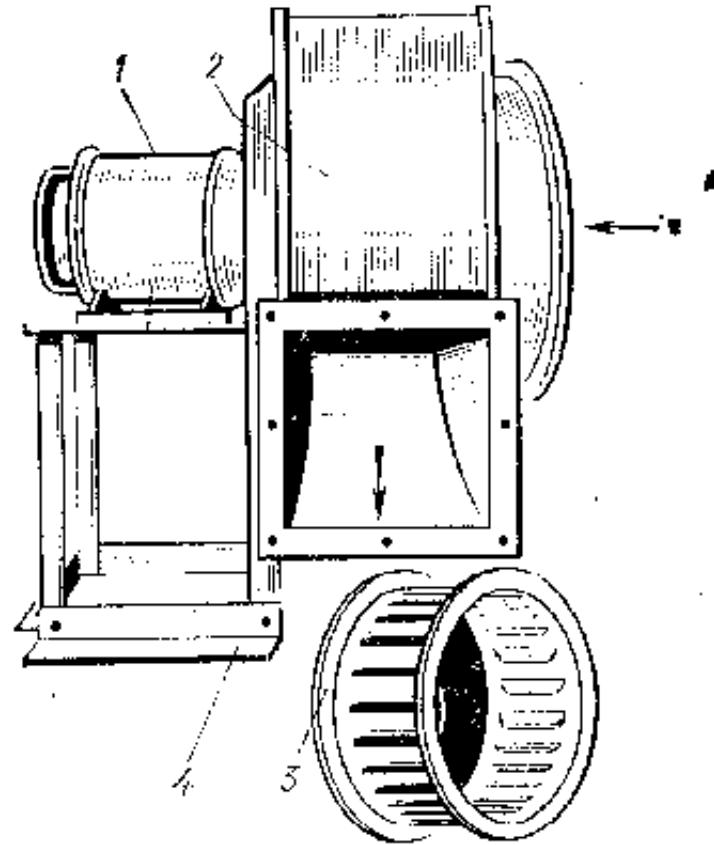
где F - площадь сечения вентиляционного патрубка, м²;

V - скорость движения воздуха, м/с.



Осевой вентилятор

1 - корпус; 2 - крылатка;
3 - электродвигатель.



Центробежный вентилятор

1 - электродвигатель; 2 - кожух;
3 - крылатка; 4 - станина.

Оевые вентиляторы применяют, когда требуется значительную производительность, а центробежные - для обеспечения высокого давления.

Поглощение избыточной теплоты

$Q_{изб.}$

Количество воздуха L , которое надо подать в помещение для поглощения избыточной теплоты определяется:

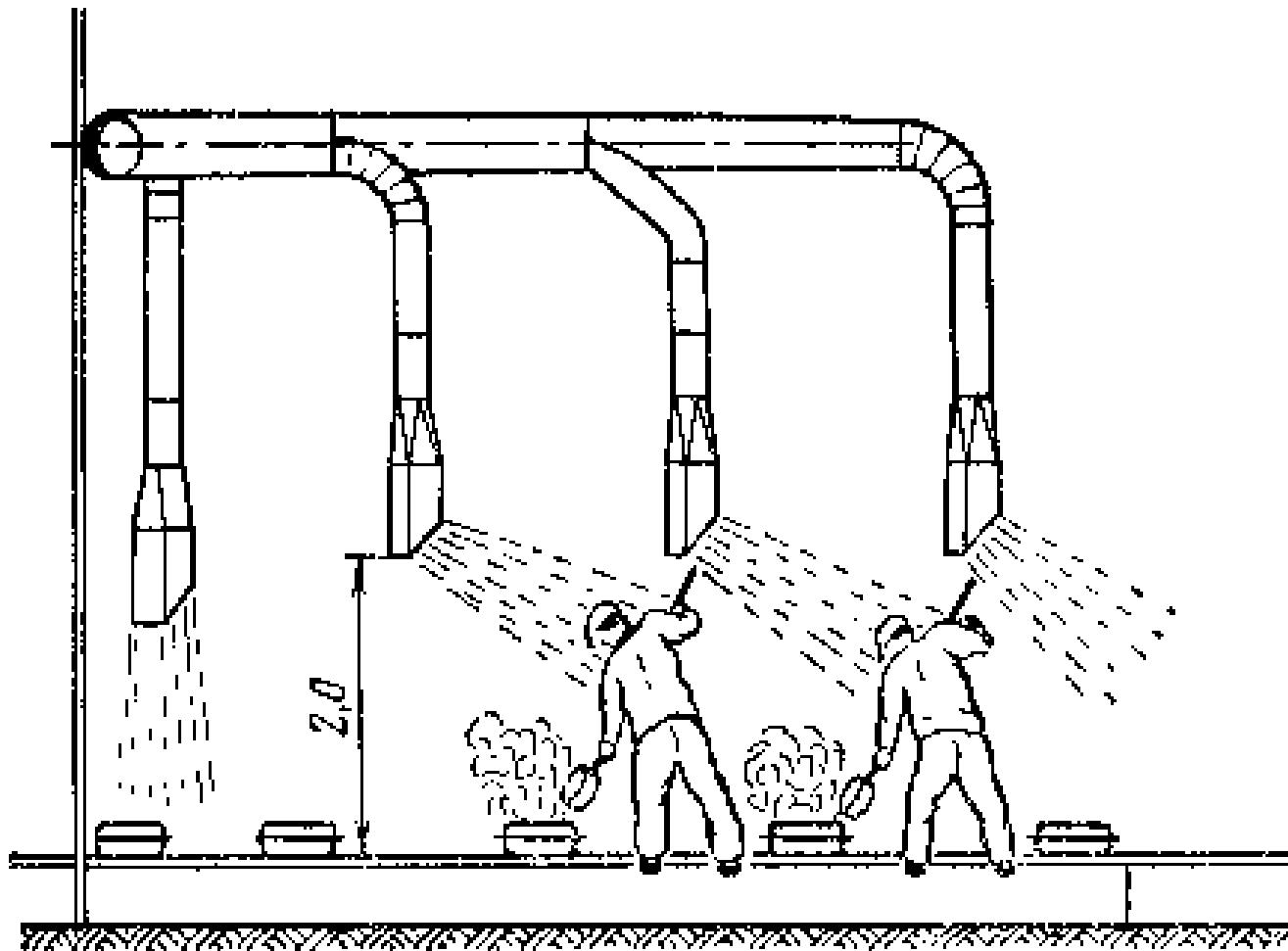
$$L = \frac{Q_{изб.}}{C \rho (t_{вн.} - t_{нар.})},$$

где C - удельная теплоёмкость воздуха, вт/кг*град.;

ρ - плотность воздуха, кг/м³.

Избыточная теплота определяется теплом, излучаемым от людей $Q_{люд.}$, оборудования $Q_{обор.}$, освещения $Q_{осв.}$, солнечной радиации $Q_{рад.}$, и теплом, выходящим через ограждения $Q_{огр.}$.

$$Q_{изб.} = Q_{люд.} + Q_{обор.} + Q_{осв.} + Q_{рад.} - Q_{огр.}$$



σι

Местная приточная вентиляция - воздушное душирование

Система кондиционирования воздуха (СКВ)

СКВ обеспечивает для человека оптимальный микроклимат

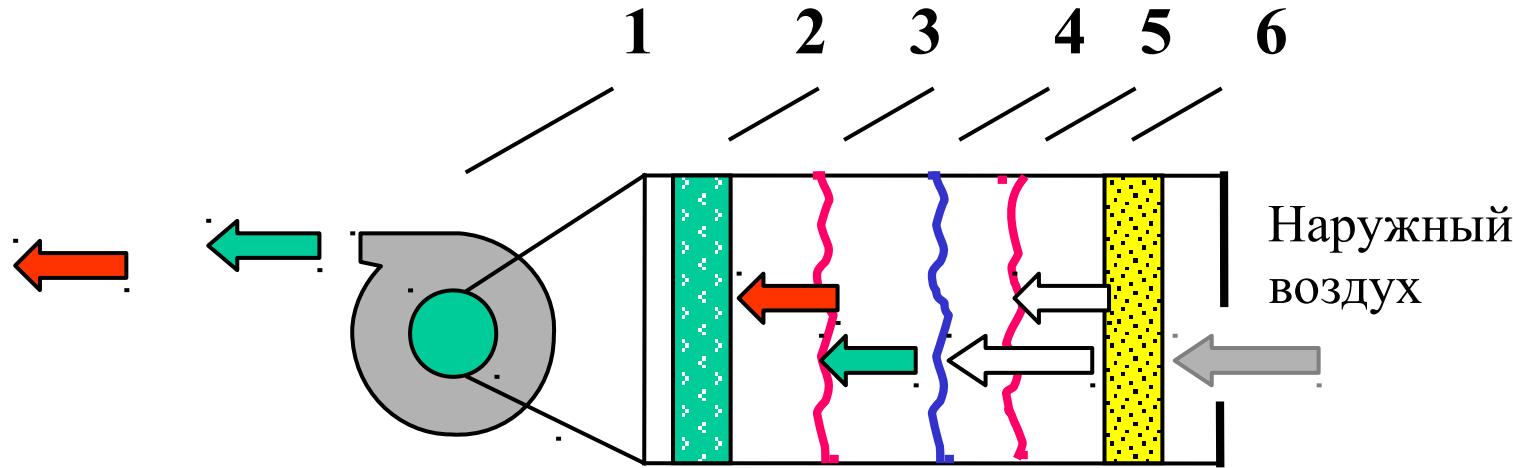


Рис. 2 Схема кондиционера

1 – вентилятор; 2 – увлажнитель; 3 – калорифер второй ступени; 4 – охладитель; 5 – калорифер первой ступени; 6 – воздушный фильтр.

В режиме охлаждения воздух охлаждается и осушается (4,3)

В режиме отопления воздух нагревается и увлажняется (5,2)

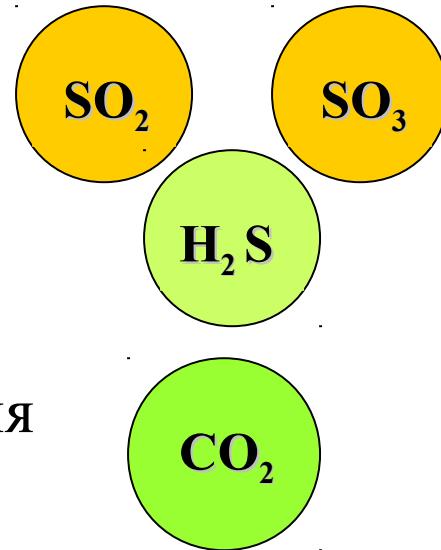
Вредные вещества

Химические вредные вещества по характеру воздействия на человека и по вызываемым последствиям делят на группы:

1. Общетоксичные (ртуть, соединения фосфора).
2. Раздражающие (кислоты, щёлочи, аммиак, хлор, сера).
3. Аллергенные (соединения никеля, алкалоиды).
4. Нервно-паралитические (аммиак, сероводород).
5. Удушающие (окись углерода, ацетилен, инертные газы).
6. Наркотические (бензол, дихлорэтан, ацетон, сероуглерод).
7. Канцерогенные (ароматические углеводороды, асбест).
8. Мутагенные (соединения свинца, ртути, формальдегид).
9. Влияющие на репродуктивную функцию (свинец, ртуть).

Действие вредных веществ на человека

Раздражение дыхательных путей, слизистых оболочек, приступы кашля, боли в горле.



Тошнота, рвота, одышка, учащённый пульс

Учащённое дыхание, уменьшение поступления кислорода в лёгкие

Уменьшение рабочей поверхности лёгких, профессиональные заболевания - пневмокониозы

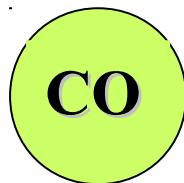
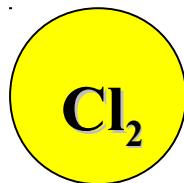
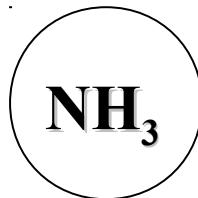
Фиброгенные
пыли - металлические, пластмассовые, кремниевые, древесные и др.

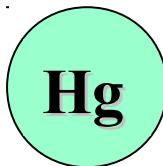
Раздражение глаз, тошнота, боль в груди, удушье, головокружение, рвота; летальный исход может наступить от сердечной недостаточности.

Раздражение дыхательных путей, поражение дыхательного центра, летальный исход наступает от отёка лёгких.

Эритроциты крови захватывают окись углерода и уже не переносят в достаточной степени кислород. Головная боль, тошнота, слабость, потеря сознания, летальный исход.

Неблагоприятные изменения в составе крови





Слабость, апатия, утомляемость (ртутная неврастения), ртутный тремор.

Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний - ртуть, свинец, кадмий, кобальт, никель, цинк, олово, сурьма, медь.

Соединение с гемоглобином, образование метагемоглобина, кислородное голодание

Отравление, обезвоживание, потеря сознания, паралич дыхания и двигательного центра.

Тяжёлые
металлы

Нитраты

Пестициды -
соединения
мышьяка,
хлора,
фосфора

Нормирование вредных веществ

Мерой содержания пылей и газообразных веществ в воздухе является их концентрация в мг/м³.

Устанавливаются нормативные показатели:

1. Относительно безопасные уровни воздействия (**ОБУВ**).
2. Предельно допустимая концентрация (**ПДК**) - это такая концентрация, при которой за рабочий стаж не должно возникнуть профессиональных заболеваний.
3. Средние смертельные дозы при попадании в желудок (**ССДЖ**), при нанесении на кожу (**ССДК**), концентрации в воздухе (**ССКВ**).

По наиболее высокому значению из этих показателей вредные вещества делят на четыре класса: **чрезвычайно опасные (1)**, **высоко опасные (2)**, **умеренно опасные (3)** и **малоопасные (4)**.

Уменьшение действия вредных веществ

Оздоровление воздушной среды достигается использованием:

1. Средств автоматизации производства.
2. Герметизацией вредных процессов.
3. Устройством укрытий, окрасочных камер.
4. Вентиляции для разбавления вредных веществ.
5. Местной вытяжной вентиляции закрытого и открытого типа для удаления вредных веществ.
6. Методов нейтрализации для очистки воздуха от продуктов сгорания топлива.
7. Фильтров и пылеуловителей.
8. Респираторов и противогазов.

Разбавление вредных веществ до допустимых концентраций

Количество воздуха L ($\text{м}^3/\text{ч}$), которое надо подать в помещение для разбавления вредных веществ определяется по формуле:

$$L = \frac{G}{q_{\text{ПДК}}},$$

где G - количество выделяющихся вредных веществ, $\text{мг}/\text{ч}$;
 $q_{\text{ПДК}}$ - предельно допустимая концентрация, $\text{мг}/\text{м}^3$.

В помещениях с постоянным пребыванием людей минимально необходимое количество воздуха определяется из расчёта разбавления **углекислого газа** до предельной концентрации. Для выполнения этого требования необходимо подать в помещение $33 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека.

Местная вентиляция

При локальном выделении вредных веществ применяют местную вытяжную вентиляцию, которая бывает:

1. Закрытого типа (вытяжные шкафы, окрасочные камеры, кожухи, укрывающие пылящее оборудование).
2. Открытого типа (вытяжные зонты, вытяжные панели).

Количество воздуха, которое надо удалить через устройство закрытого типа, определяется по формуле:

$$L = 3600 F V ,$$

где F - суммарная площадь сечения рабочих проёмов, м^2 ;
 V - скорость движения воздуха, которая принимается в пределах 0,15-1,5 м/с в зависимости от класса опасности вещества.

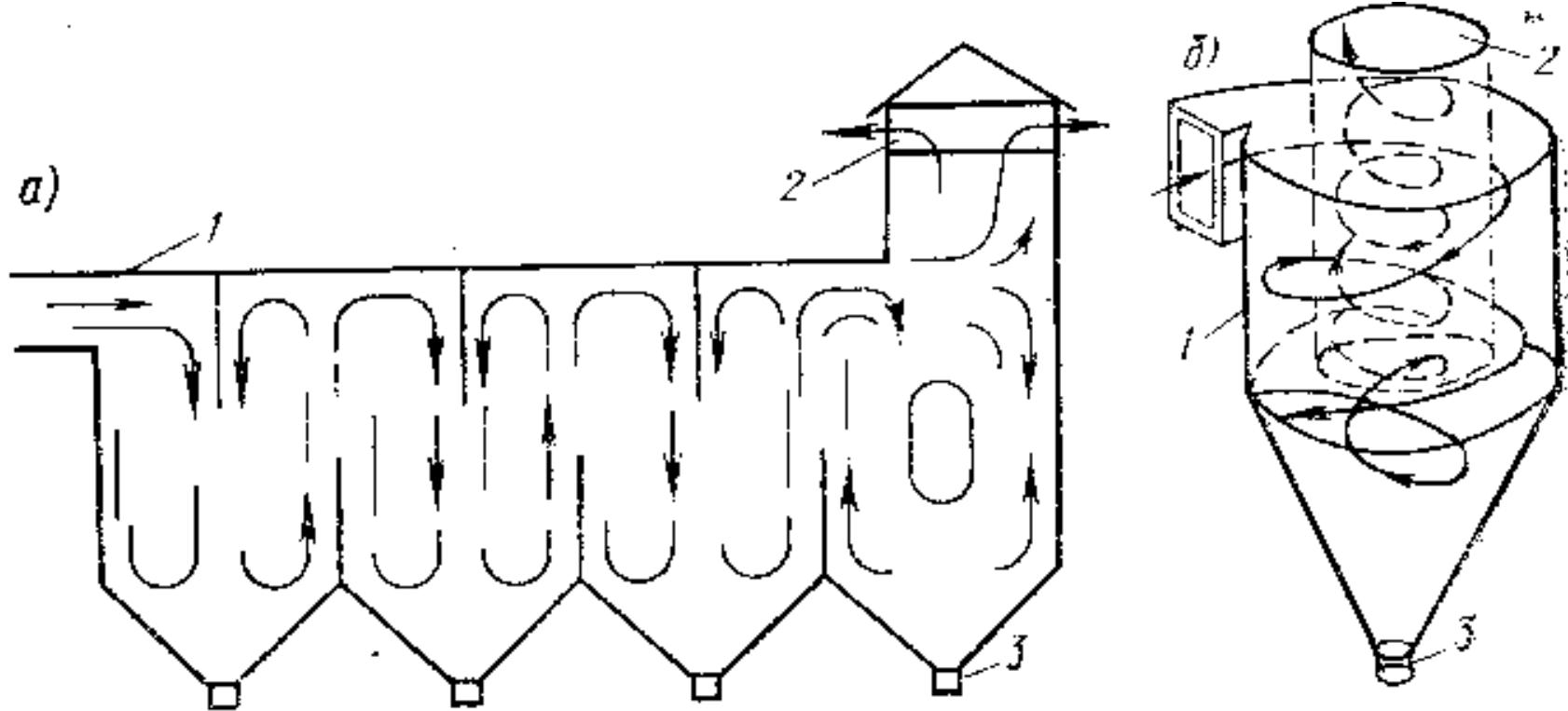


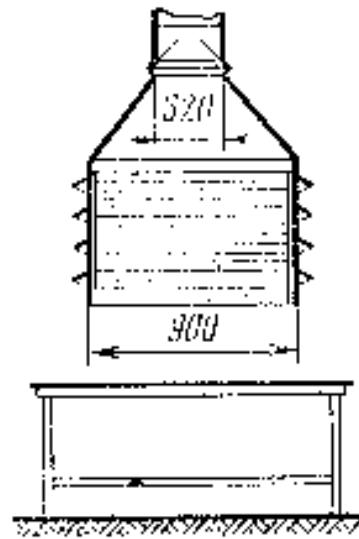
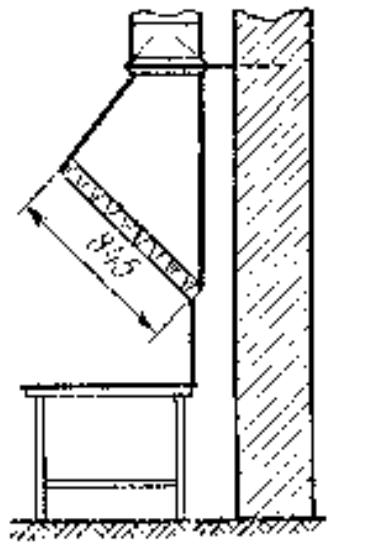
Схема устройств для очистки вентиляционных выбросов от пыли:

а - камера пылеосадочная; б - циклон.

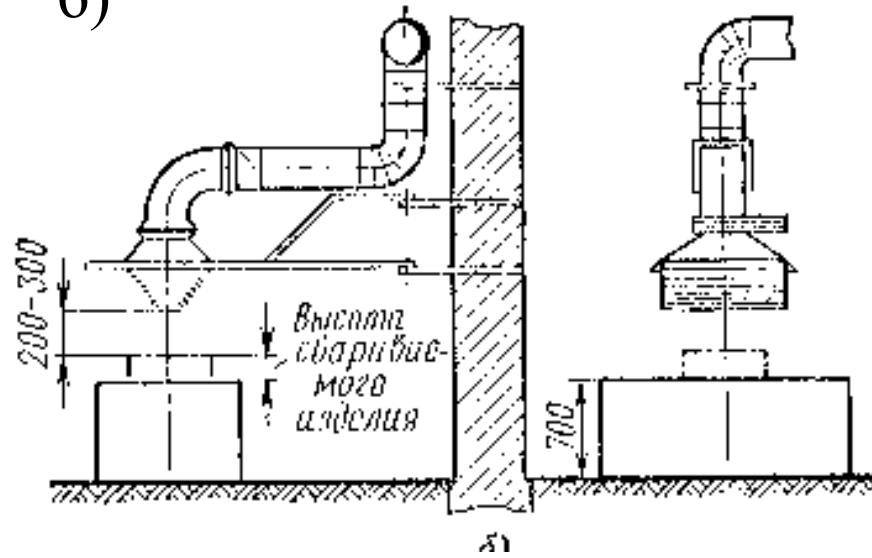
1 - корпус; 2 - удаление очищенного воздуха;

3 - удаление скопившейся пыли.

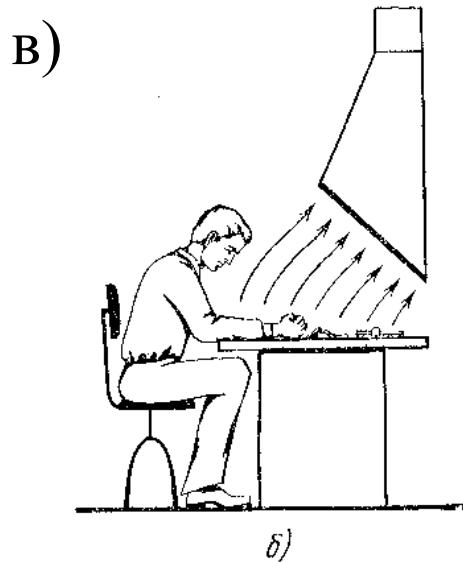
а)



б)



в)

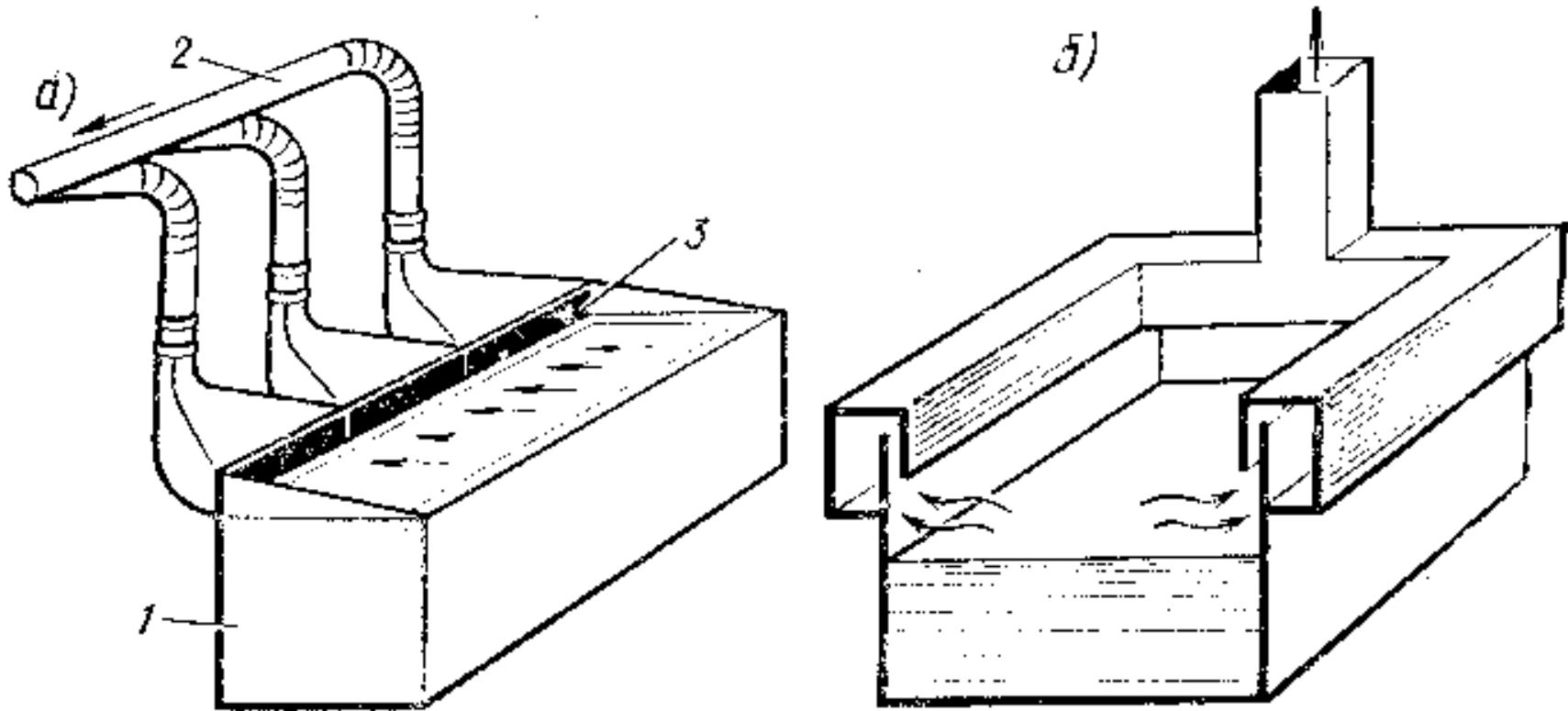


Местная вытяжная вентиляция

а - вытяжная панель;

б - поворотная панель;

в - установка вытяжной панели на рабочем месте.



Бортовые вытяжные устройства

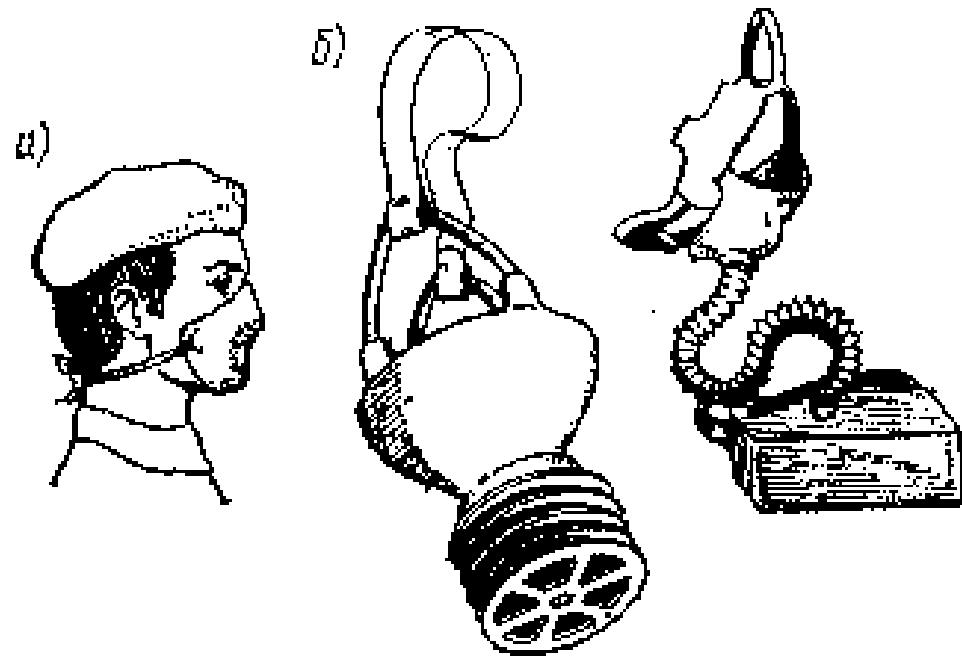
а - односторонняя вытяжка;

б - двусторонняя вытяжка;

1 - корпус гальванической ванны;

2 - воздуховоды;

3 - щели для прохождения загрязнённого воздуха.

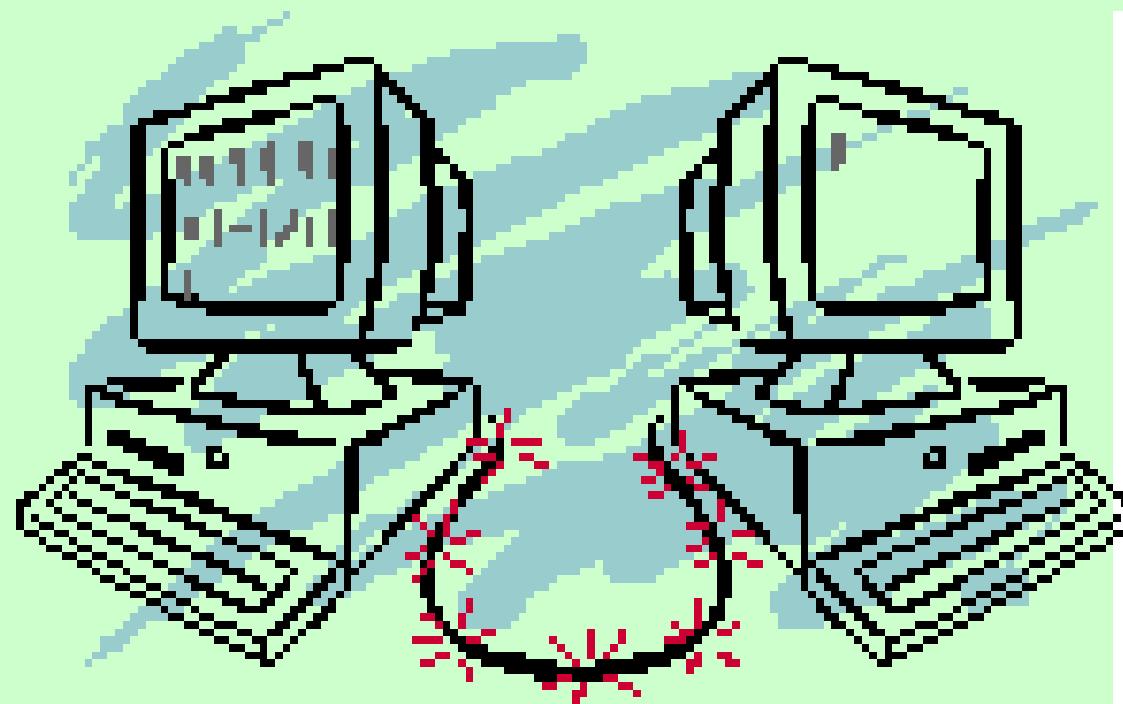


Индивидуальные средства защиты от вредных веществ

а - респиратор «Лепесток»;

б - универсальные респираторы РУ-60М.

Безопасная работа
на компьютере



Вредные факторы

1. обусловленные техническими характеристиками ПЭВМ

- шум,
- электростатические и электромагнитные поля,
- мелькающий свет дисплея,
- низкая разрешающая способность дисплея
- низкочастотное дрожание изображения,**
- недостаточное количество цветов и оттенков**
- недружественный интерфейс программного обеспечения

2. Обусловленные условиями среды

- нерациональная конструкция рабочего места,
- длительная статическая поза,
- неправильное освещение,
- запылённость и загазованность воздуха,
- неоптимальные параметры микроклимата (температура, влажность, подвижность воздуха)

Нежелательные последствия длительной работы на ЭВМ

- Нарушения зрения
 - резь в глазах,
 - быстрая утомляемость (астенопия)
 - проблемы с фокусировкой зрения
- Кожные заболевания
 - сыпь на лице,
 - аллергические реакции
- Заболевания костно-мышечного аппарата
 - синдром длительных статических нагрузок
 - запястный синдром
- Стресс
 - хронические головные боли
 - расстройства нервной системы,
- Нарушения в период беременности

Вид воздействия	Нарушения зрения	Кожные заболевания	Стресс	Нарушения в период беременности
Ультрафиолетовое излучение	+	?	?	?
Мерцание изображения	+	-	+	?
Яркий видимый свет	+	-	+	-
Блики и отражённый свет	+	-	+	-
Статическое электричество	+	+	?	?
ЭМП низких частот	?	-	?	+
Рентгеновские излучения	?	-	-	+

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ МАШИНАМ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ

**Санитарно-эпидемиологические правила и
нормативы**

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Таблица 2

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Измерение уровня звука и уровней звукового давления проводится на расстоянии 50 см от поверхности оборудования и на высоте расположения источника(ков) звука.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров	ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц 25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц 2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц 250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц 25 нТл
Напряженность электростатического поля	15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора	500 В

Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса ВДТ (на электроннолучевой трубке) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать $7.74 \cdot 10^{-12}$ А/кг (100 мкР/ч), что соответствует эквивалентной дозе, равной 1мкЗв/час .

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ

с ВДТ на базе электроннолучевой трубы (ЭЛТ) $\geq 6 \text{ м}^2$,

с ВДТ на базе плоских дискретных экранов
(жидкокристаллические, плазменные) $\geq 4,5 \text{ м}^2$.

При использовании ПВЭМ с ВДТ на базе ЭЛТ
(без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.)
если $t_{\text{работы}} < 4 \text{ часов в день}$ $\geq 4,5 \text{ м}^2$.

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.





Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Компьютерная мебель

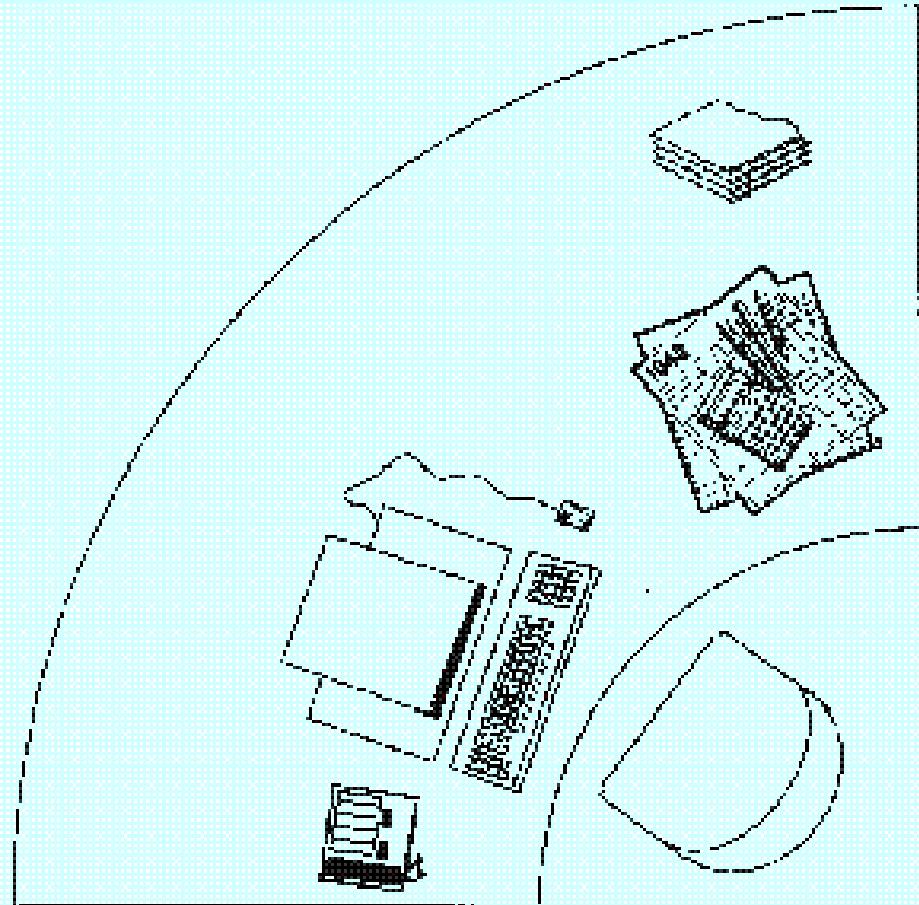
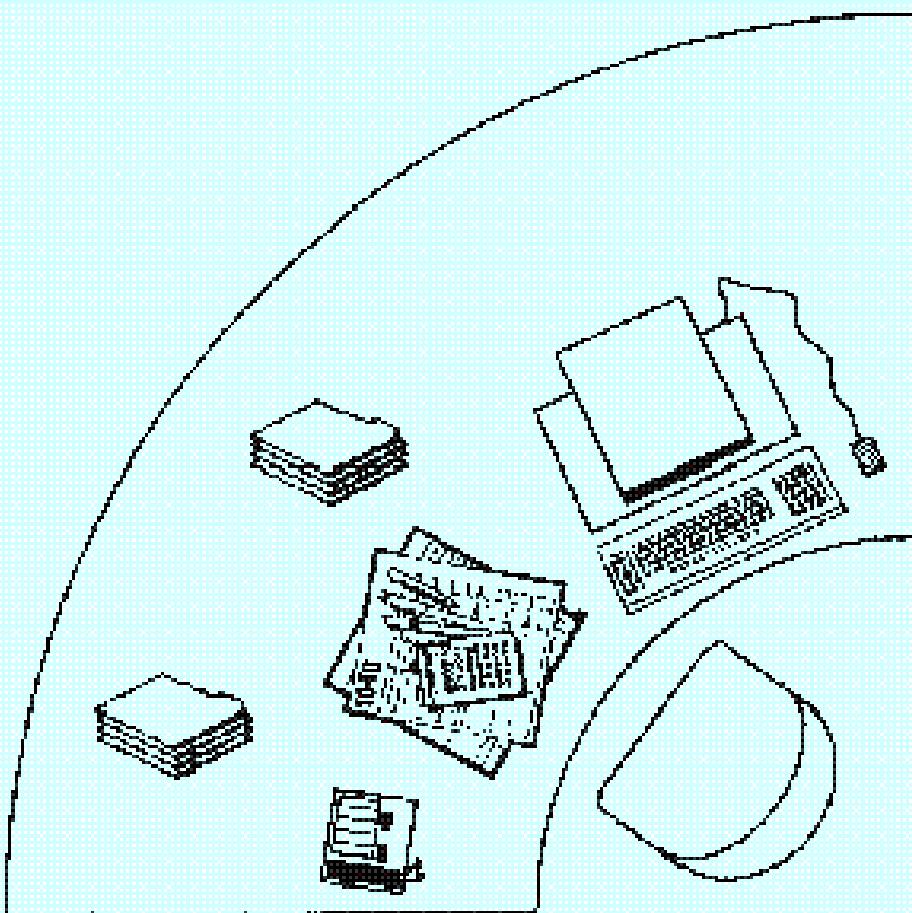


Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Компоновка гибкого рабочего места,

- позволяет адаптировать его в соответствии с потребностями пользователей при выполнении различных задач.



- Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.
- Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

9.6. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.



Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляющей и иметь надежную фиксацию.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

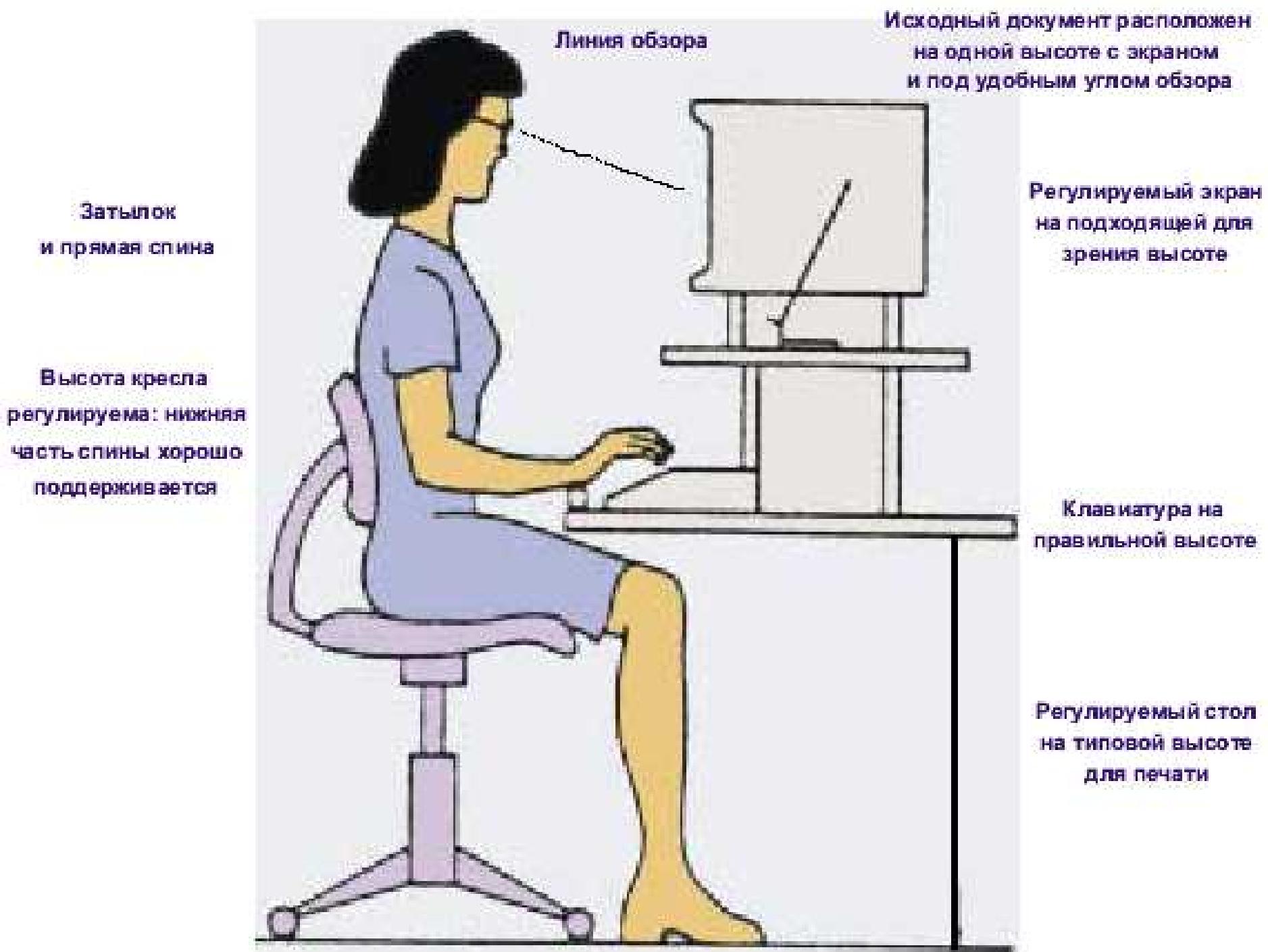
- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- высоту опорной поверхности спинки 300 - 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50 - 70 мм;



- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углом наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах 30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 - 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

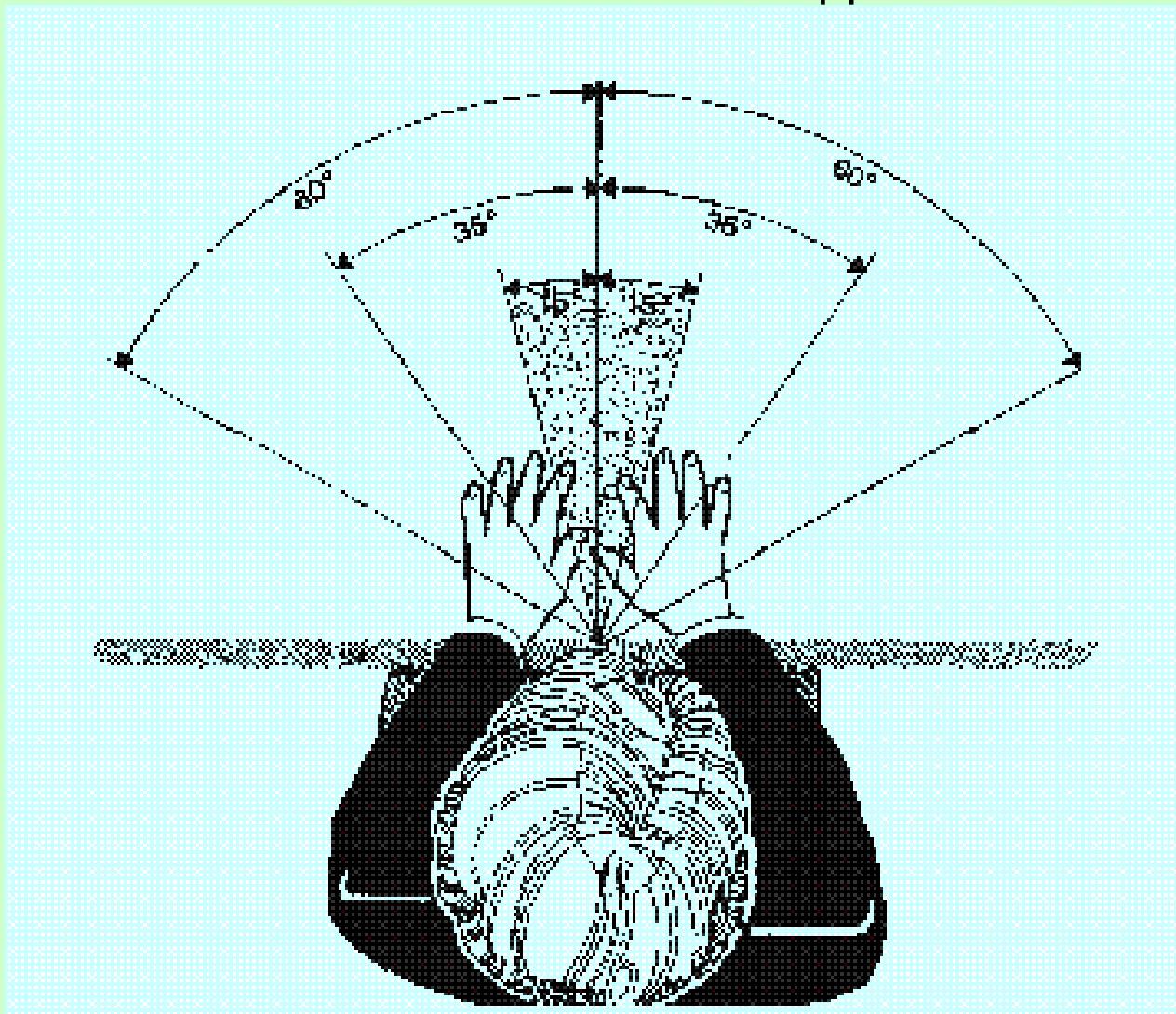
РАЗМЕЩЕНИЕ КЛАВИАТУРЫ

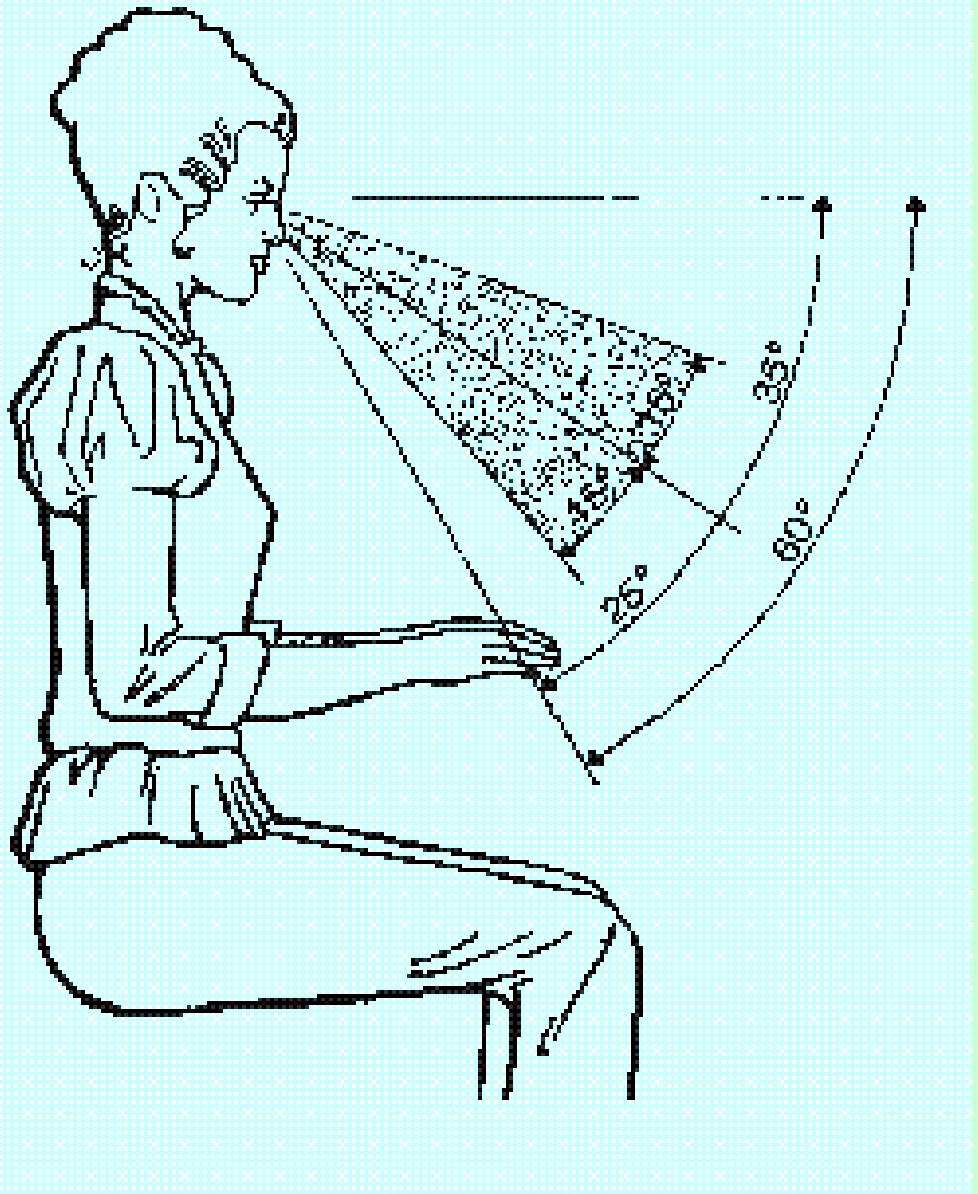




Распределение рабочего пространства

Пространственное распределение оборудования на рабочем месте должно планироваться после анализа задачи, с учетом важности и частоты использования каждого элемента .





Оптимальная линия зрения –
около 35° вниз от горизонтали
(20° - голова и 15° - глаза).

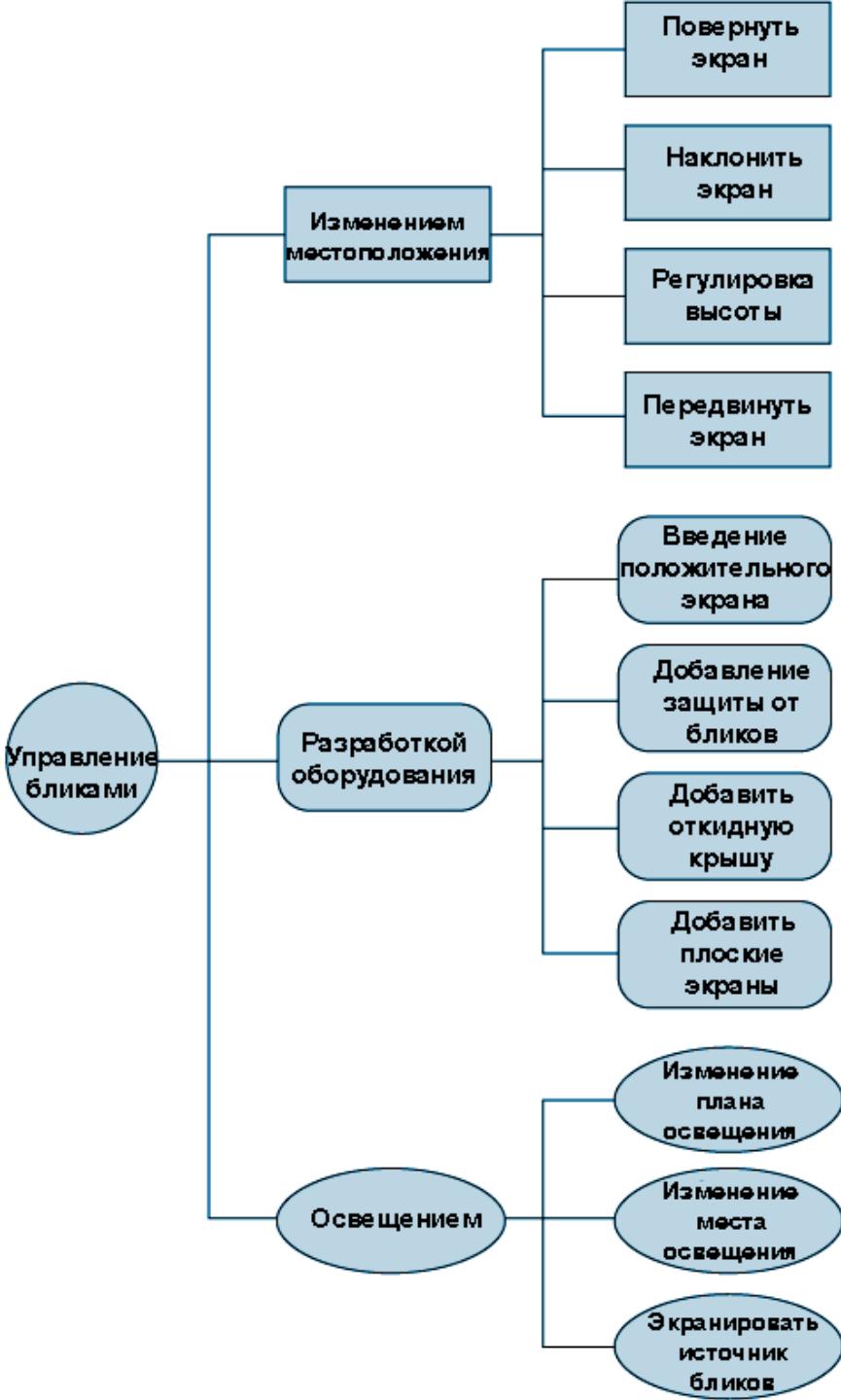
РАЗМЕЩЕНИЕ МОНИТОРА



ОСВЕЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА



Стратегии контроля отражения от экранов.



Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток.

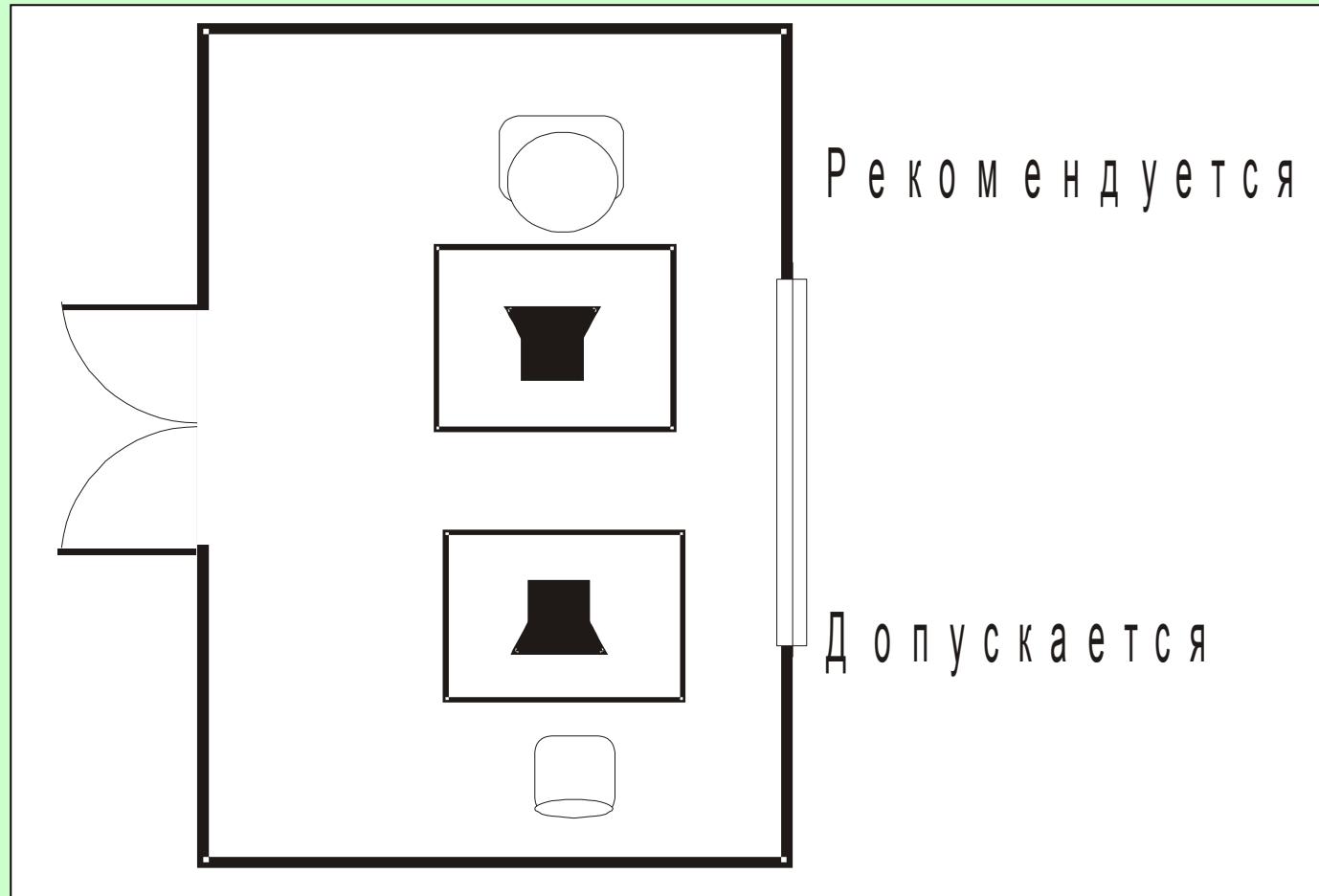
Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка - 0,7 - 0,8; для стен - 0,5 - 0,6; для пола - 0,3 - 0,5.

Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4 - 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики.

Конструкция ВДТ должна предусматривать регулирование яркости и контрастности.

6.1. Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.



- 6.2. Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

6.3. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

- 6.4. Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².
- 6.5. Следует ограничивать отраженную блесткость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

$$P = \left(\frac{\Delta L_{nopS}}{\Delta L_{nop}} - 1 \right) \cdot 10^3$$

где ΔL_{nopS} пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта при наличии в поле зрения блеского источника,
 ΔL_{nop} - пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта на фоне равномерной яркости

Зрительный дискомфорт является начальной стадией ослеплённости и оценивается показателем дискомфорта - критерием оценки дискомфортной блёскости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения и выражющийся формулой

$$M = \frac{L_c \omega^{0.5}}{\varphi_\Theta L_{ad}^{0.5}}$$

где L_c - яркость блёского источника, кд/м²;

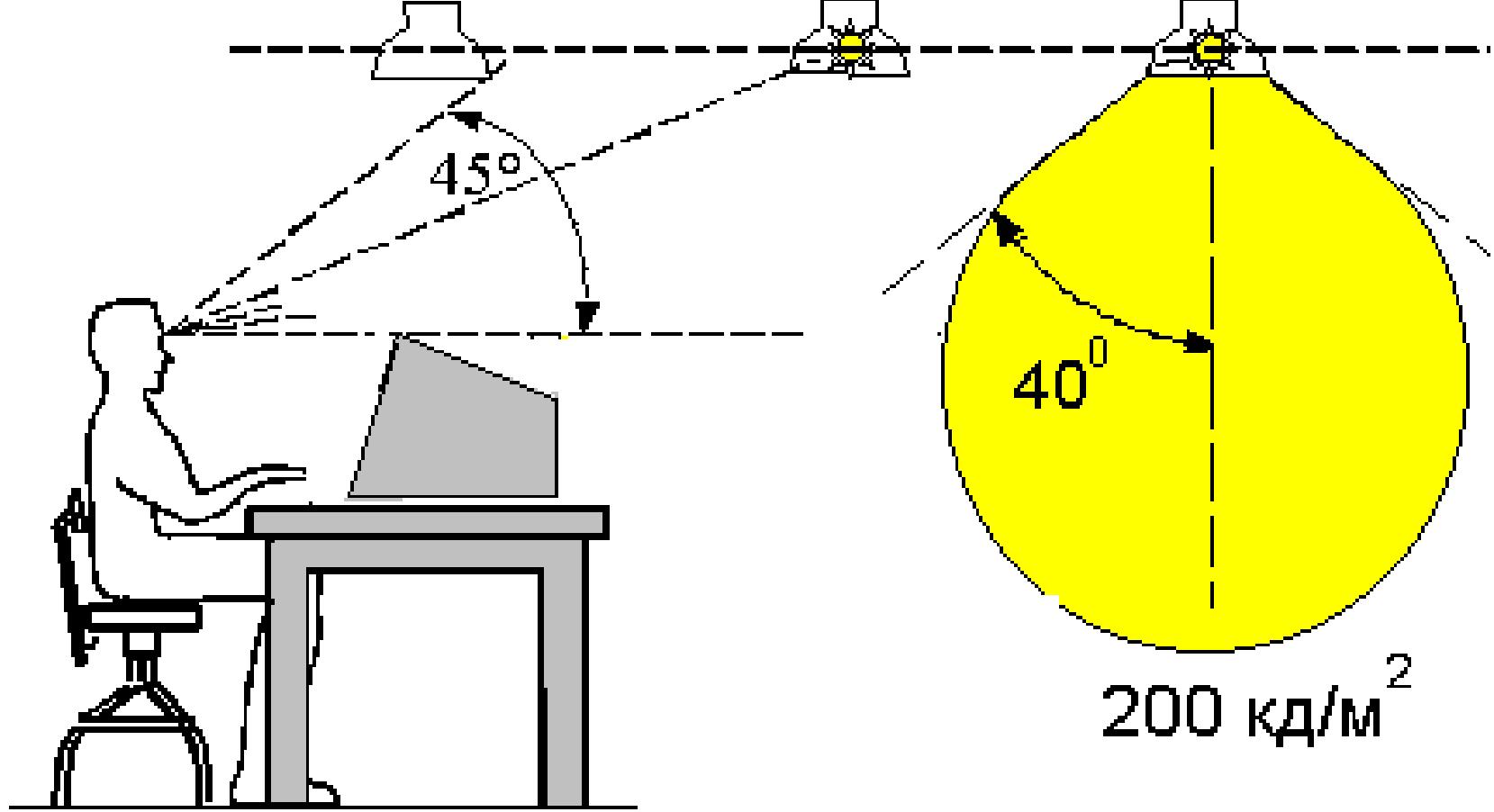
ω - угловой размер блёского источника, ср;

φ_Θ - индекс позиции блёского источника относительно линии зрения;

L_{ad} - яркость адаптации, кд/м².

В административно-общественных помещениях $M \leq 40$,

В дошкольных и учебных помещениях $M \leq 15$.



Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

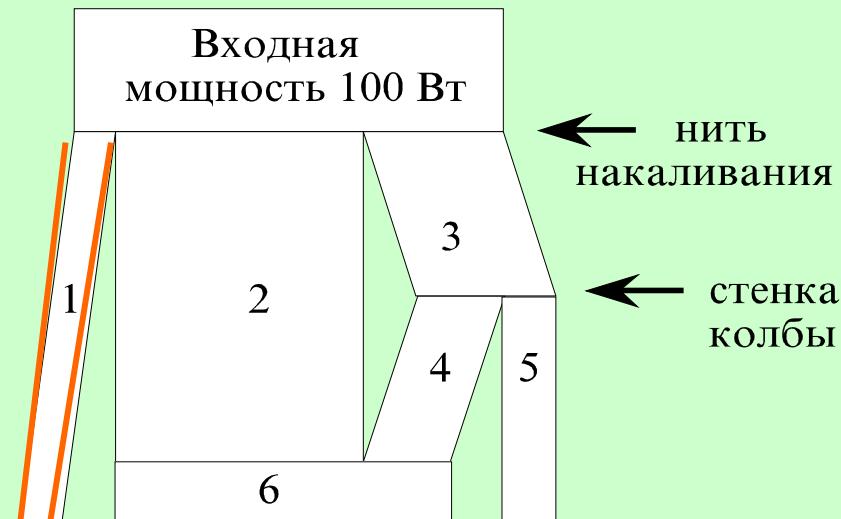
- 6.9. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 - 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

- 6.10. В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп.

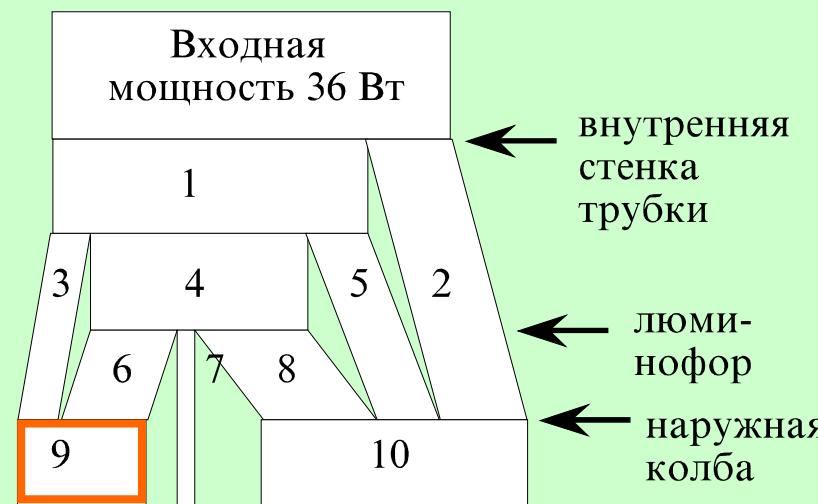
В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные.

- 1. Видимое излучение - 5 Вт**
- 2. Инфракрасное излучение при накаливании - 61 Вт**
- 3. Термальные потери от огнива до колбы - 34 Вт**
- 4. Инфракрасное излучение колбы - 22 Вт**
- 5. Общие тепловые потери - 12 Вт**
- 6. Общее инфракрасное излучение - 83 Вт**



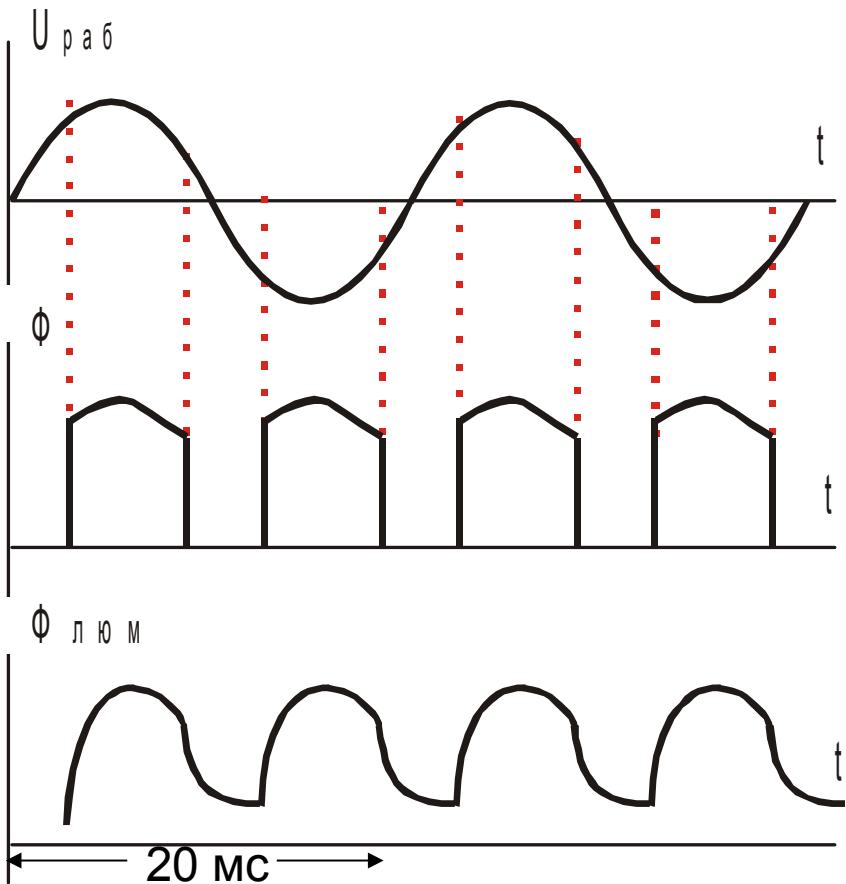
Энергетический баланс лампы накаливания GLS мощностью 100 Вт

- 1. Мощность разряда - 30.1 Вт**
- 2. Тепловые потери в электродах - 5.9 Вт**
- 3. Видимое излучение разряда - 1.2 Вт**
- 4. УФ-излучение разряда - 22.5 Вт**
- 5. Тепловые потери разряда - 6.5 Вт**
- Видимое излучение люминофора - 8.8 Вт**
- 7. УФ-излучение - 0.2 Вт**
- 8. ИК-излучение - 13.5 Вт**
- 9. Общее видимое излучение - 10 Вт**
- 10. ИК-излучение и тепловые потери - 25.8 Вт**

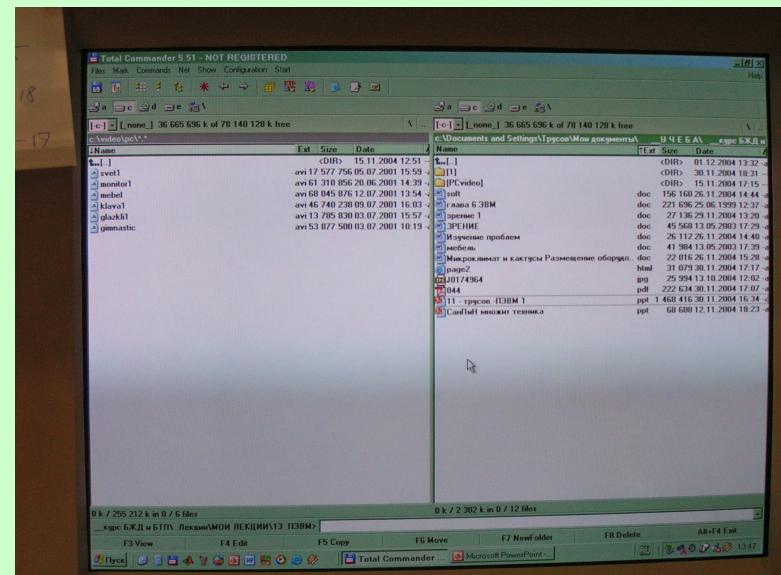


Энергетический баланс люминесцентной лампы мощностью 36 Вт

- 6.11. Для освещения помещений с ПЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА)

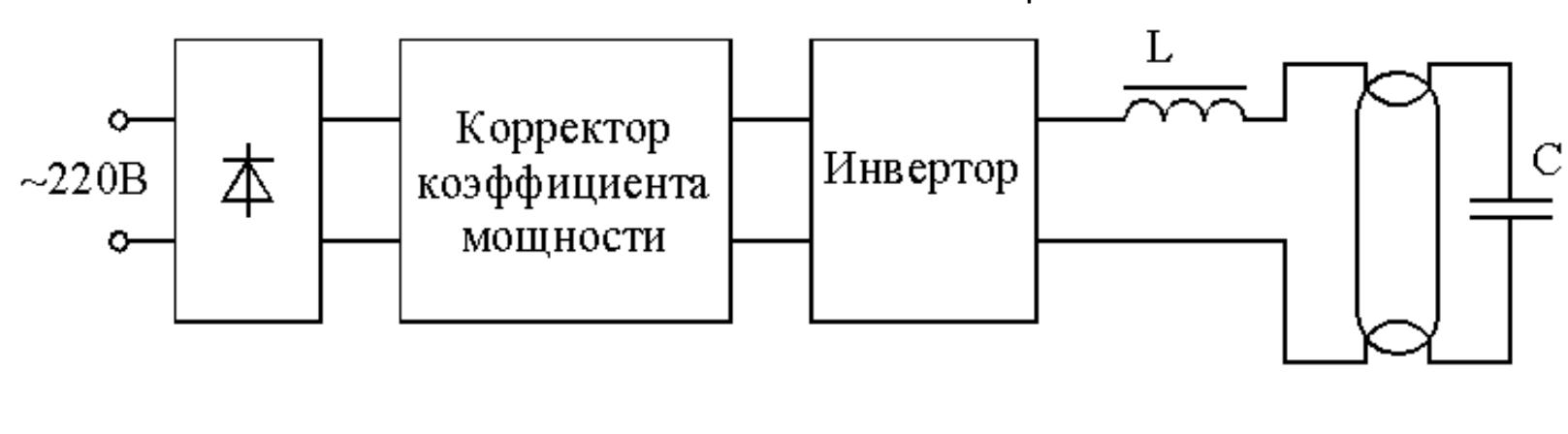


Стробоскопический эффект
газоразрядных ламп



Высокочастотный ЭПРА

$f_{раб} = 20\dots50$ кГц



$$k_f = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{cp}} \cdot 100\%$$

для ламп накаливания

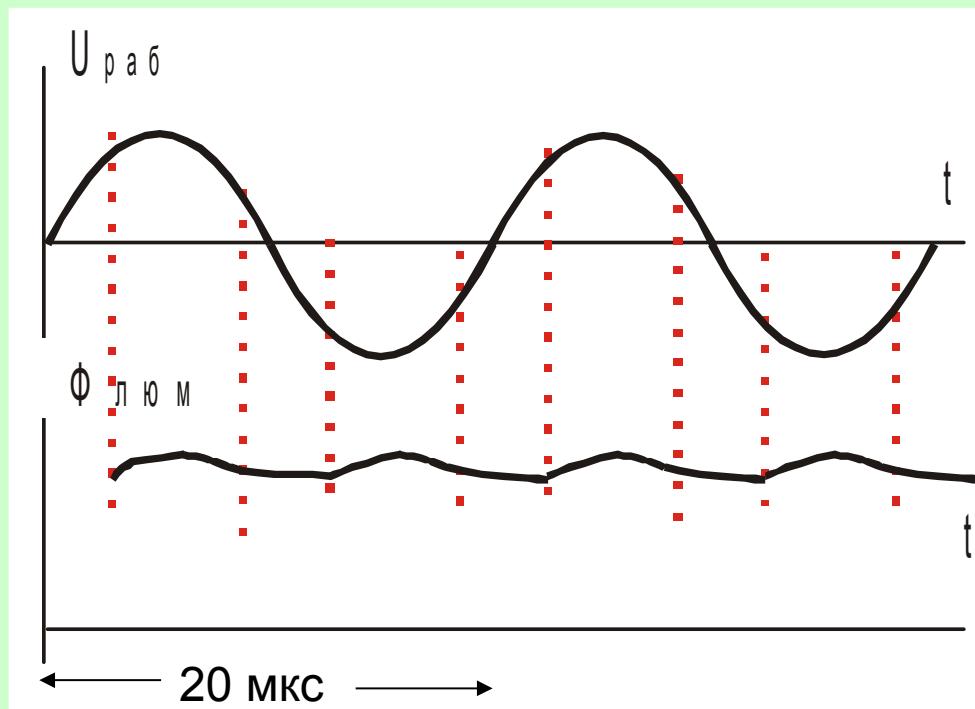
$\approx 7\%$

для галогенных ламп

$\approx 1\%$

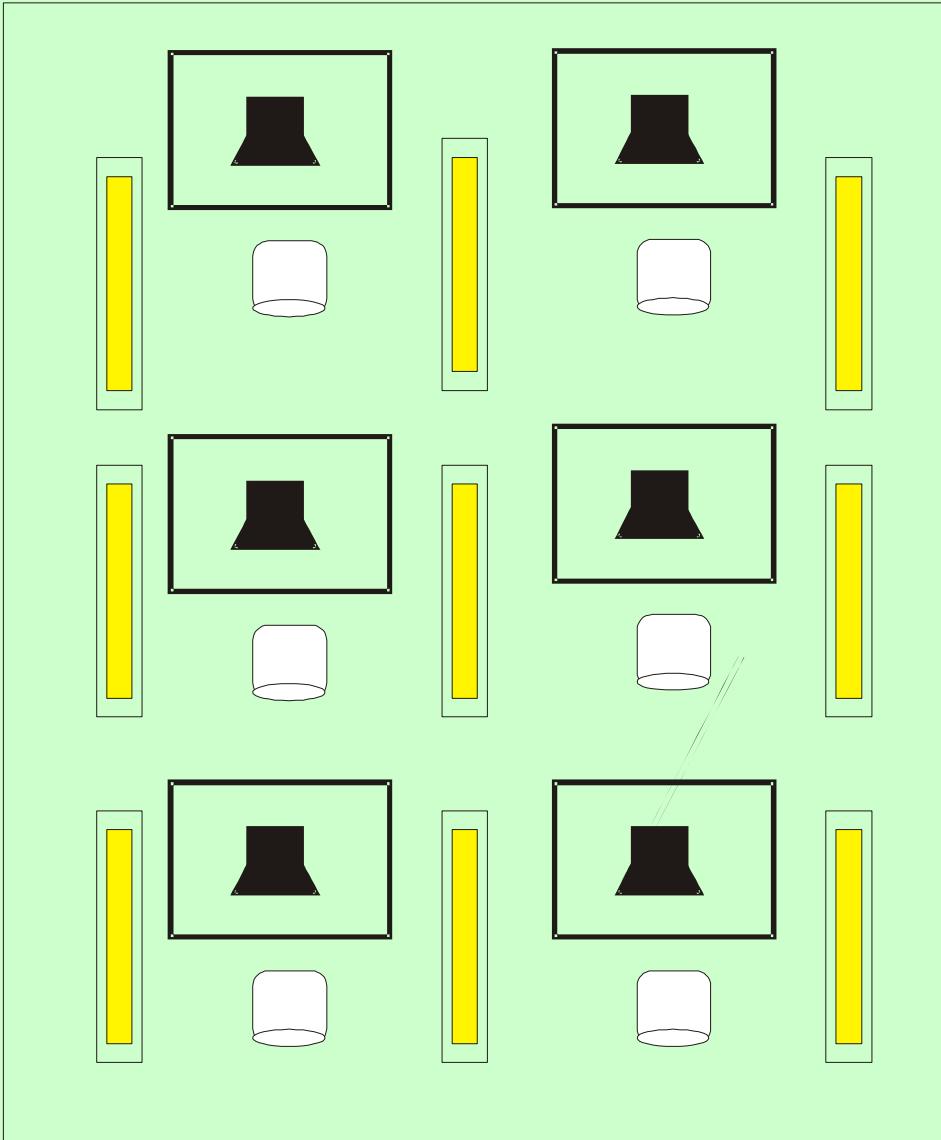
для люминесцентных ламп

с электромагнитным ПРА 25 - 65 %
и ВЧ ЭПРА <0.1%

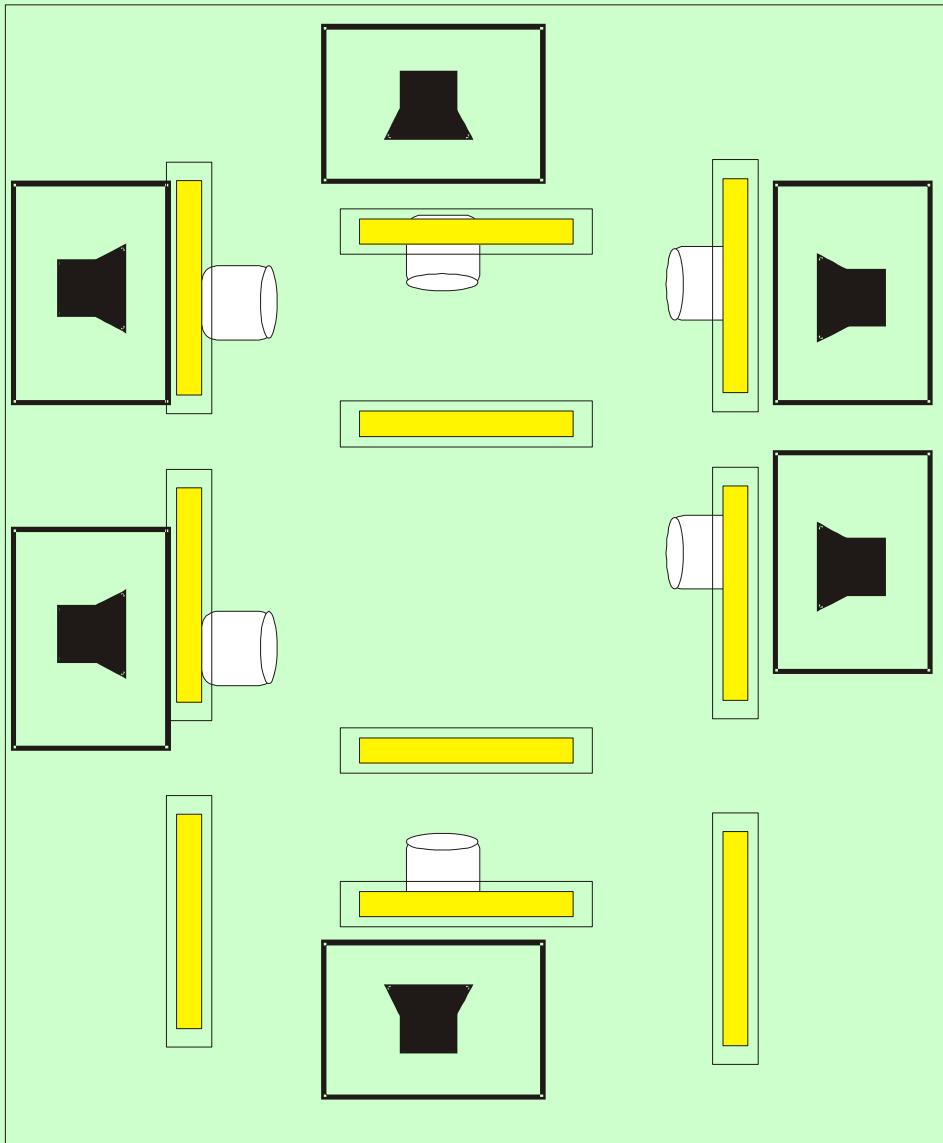


- Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами, состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.
- При отсутствии светильников с ЭПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов.

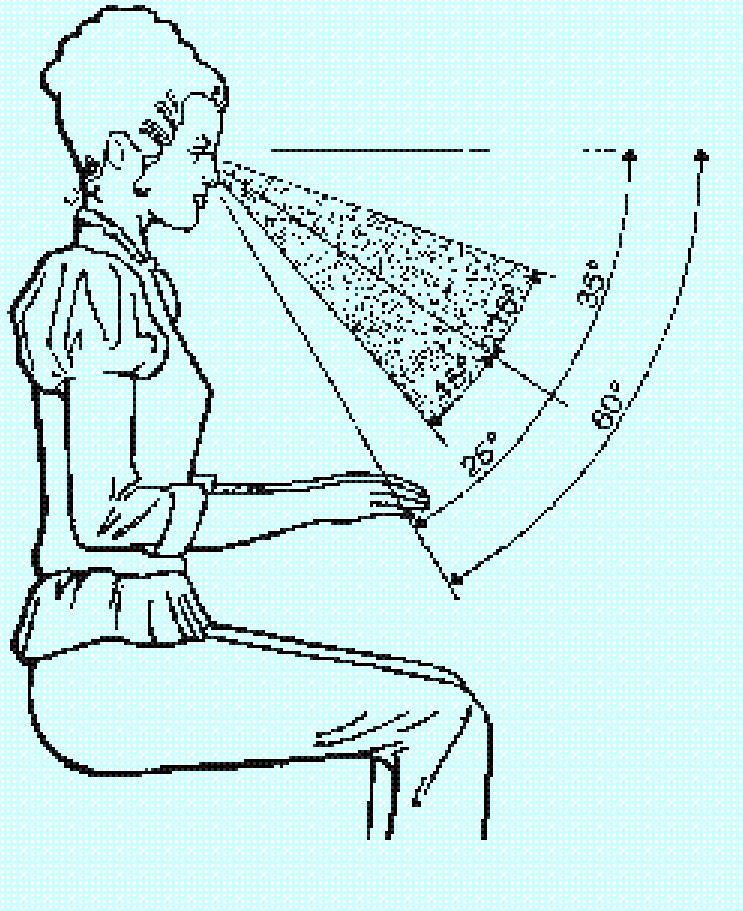


При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.



Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более 20%
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране)	Не более $2 \cdot 10^{-4}L$, где L- проектное расстояние наблюдения, мм
частота обновления изображения (при всех гарантированных режимах разрешения) дисплеи на ЭЛТ дисплеи на плоских дискретных экранах	не менее 75 Гц не менее 60 Гц



Оптимальный угловой размер знака
 $16' < \alpha < 60'$

Угловой размер знака - угол между линиями, соединяющими крайние точки знака по высоте и глаз наблюдателя.

Угловой размер знака определяется по формуле

$$\alpha = \arctg(h/2l)$$

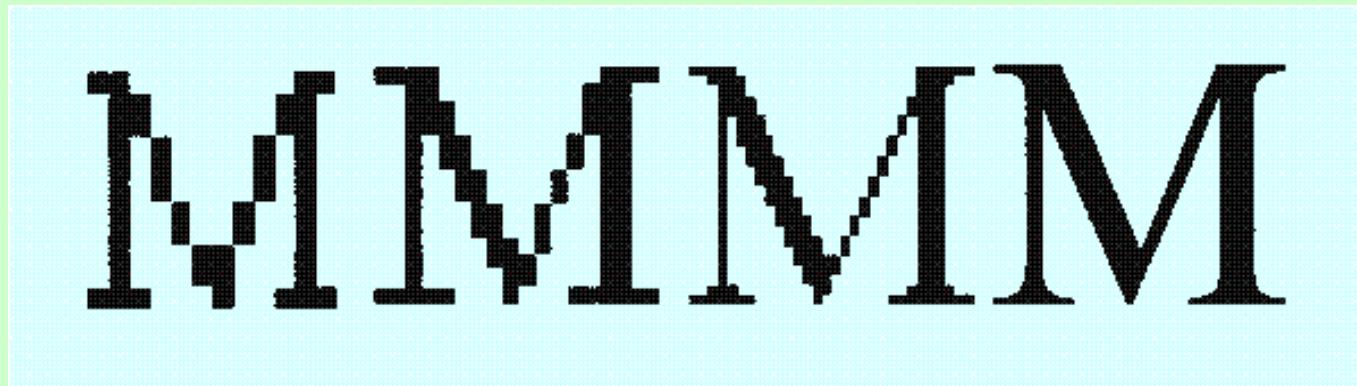
где h - высота знака; l - расстояние от знака до глаза наблюдателя.

Видимый размер символов, измеряемый в минутах дугового разряда, показывает наиболее оптимальные условия от 20' до 22'; что соответствует величине приблизительно от 3 мм до 3,3 мм по высоте при нормальных условиях отображения информации в офисах.

Более мелкие символы могут привести к возрастанию ошибок, зрительному напряжению, а также к более напряженному положению человеческого тела из-за ограниченного расстояния просмотра. Таким образом, текст не должен отображаться в видимом размере менее 16'.

Во избежание появления ошибок, с одной стороны, и высокой зрительной нагрузки - с другой, символы с видимым размером менее 12' не должны отображаться на дисплее в качестве читаемого текста, а заменяться прямоугольным кубиком серого цвета.

*Внешний вид буквы
на экранах с различной разрешающей способностью
и на бумаге (справа).*



XIII. Требования к организации медицинского обслуживания пользователей ПЭВМ

13.1. Лица, работающие с ПЭВМ более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией ПЭВМ), должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в установленном порядке.

13.2. Женщины со времени установления беременности переводятся на работы, не связанные с использованием ПЭВМ, или для них ограничивается время работы с ПЭВМ (не более 3 часов за рабочую смену) при условии соблюдения гигиенических требований, установленных настоящими Санитарными правилами. Трудоустройство беременных женщин следует осуществлять в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Трудоспособность

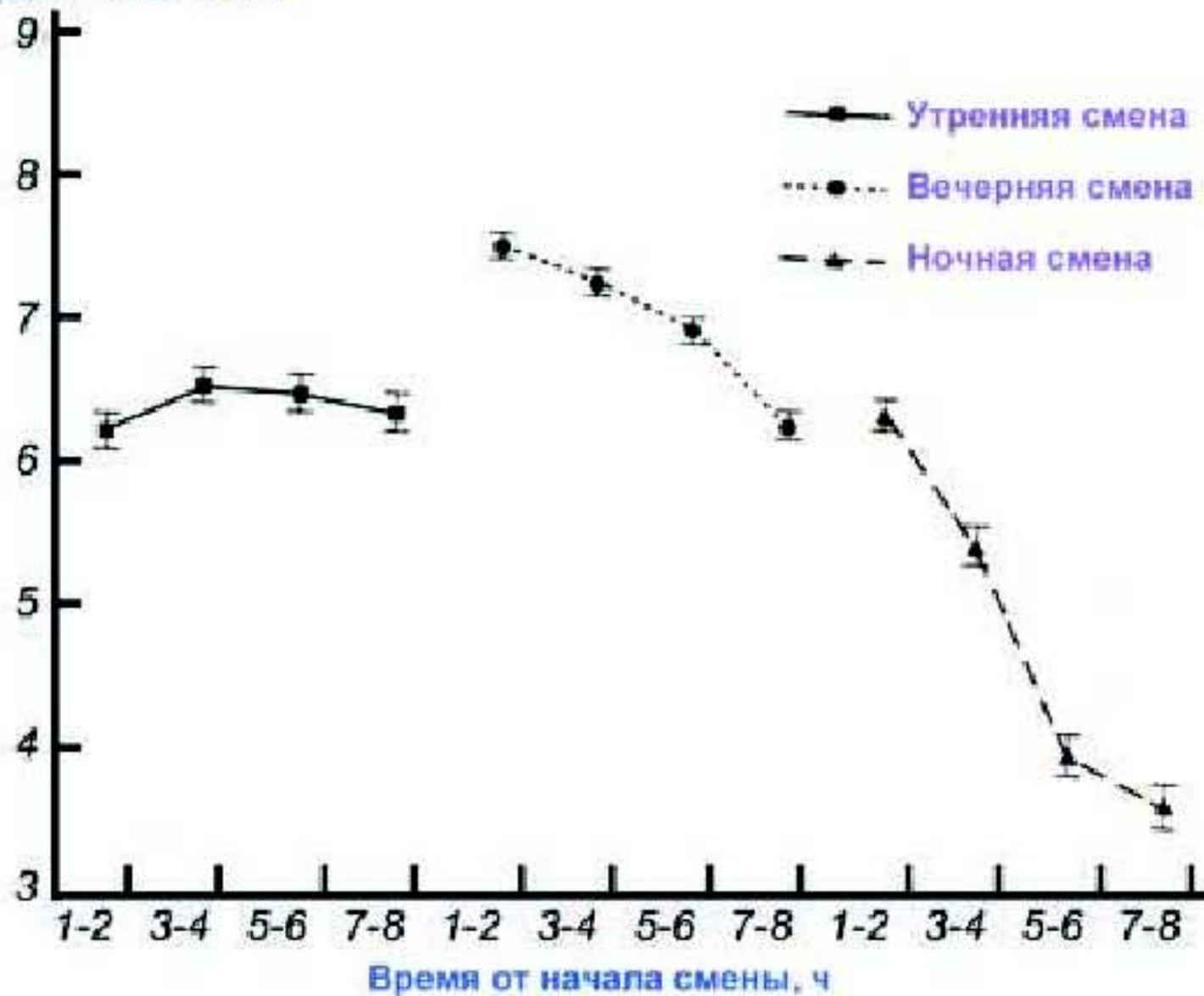


Рис. 1. Скорректированные средние уровни ретроспективно оцененной трудоспособности как функция смены и времени от начала смены.

Эргономические принципы проектирования интерфейса программного обеспечения

Цель - достичь соответствия средств и усилий труда физическим и психофизиологическим возможностям человека.

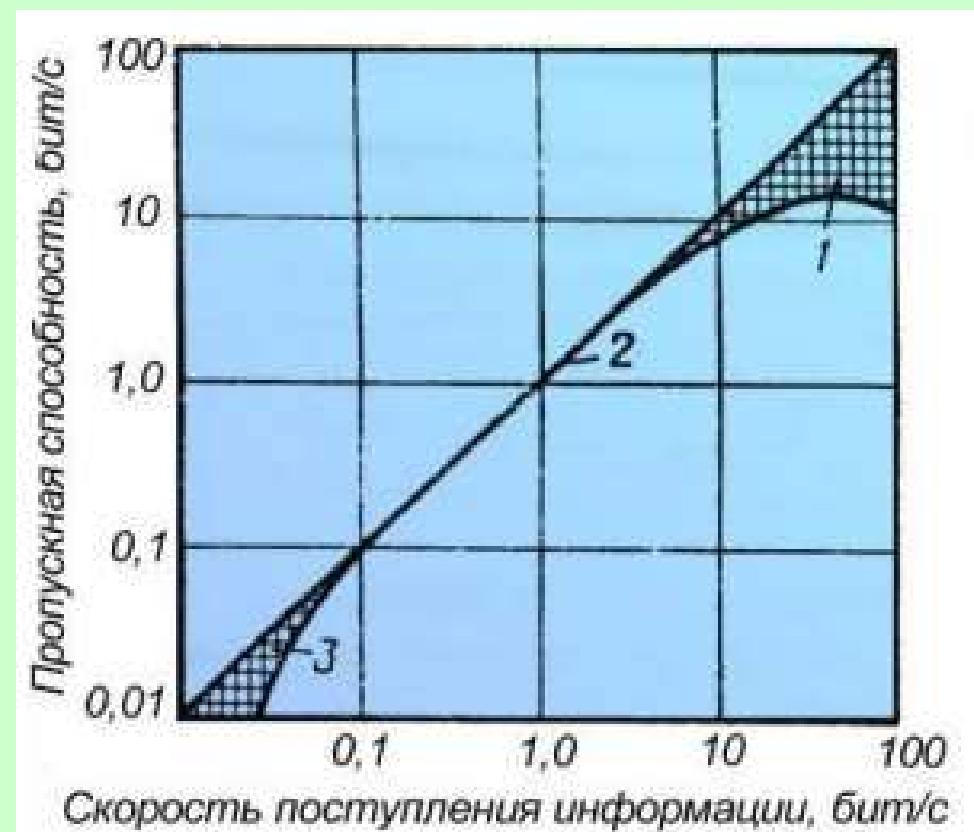
1 требование - соответствия **информационной модели** энергетическим и пространственным характеристикам зрительного анализатора

- диапазон воспринимаемых **яркостей**, контраст изображения, относительная видность
- **Цвет**, цветовое ощущение
- **разрешающая способность** средств отображения и зрения человека (связано с яркостью, контрастом, длительностью воздействия стимула)
- **число объектов** зрительной фиксации
 - **критическая частота мелькания** -обновление информации (влияют уровень адаптации глаза к яркости индикатора, инерция зрительного восприятия, яркость экрана, размер и конфигурация знаков)
 - **время информационного поиска**
 - **насыщенность** зрительного восприятия (количество информации одного индицируемого сообщения)

1. Принцип минимального рабочего усилия.

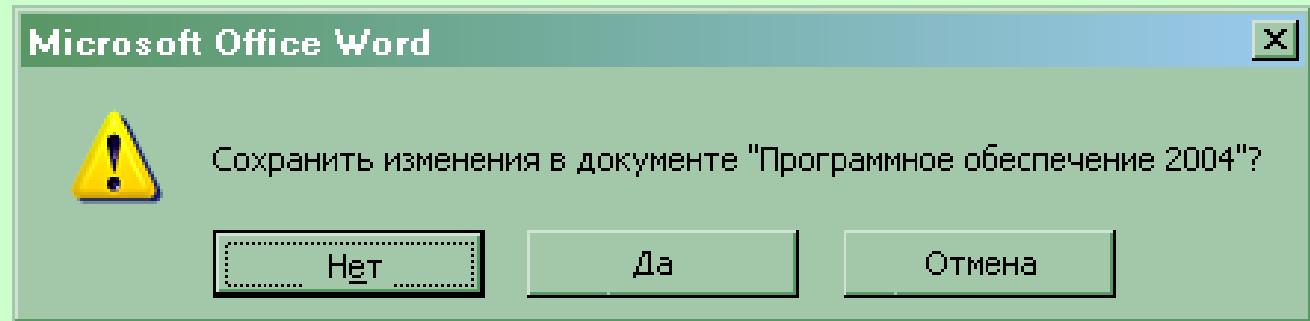
2. Принцип максимального взаимопонимания.

3. Принцип минимального объема оперативной памяти пользователя.



1 — перегрузки, 2— нормальная, работа, 3— затухание активности.

4. Принцип минимального расстройства человека - оператора.



5. Принцип учета профессиональных навыков пользователя.

6. Принцип максимального различия человеческих характеров.

Рейтинговая система оценки знаний

Принцип рейтинговой системы – текущий контроль в процессе обучения.

В течение семестра

4 КР (по 20 баллов max) + Л/р (20 баллов max) ≤ 100 баллов

≥85 – отлично

≥ 75 – хорошо

≥ 55 - удовлетворительно

< 55 - неудовлетворительно ⇒ Отправляются на экзамен в дополнительную сессию.

1. Белов С.В. и др. **Безопасность жизнедеятельности: Учебник для студ. вузов/ С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козяков и др.; Под общ. ред.С.В.Белова.** - 1999
2. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов/ Д.А.Кривошеин, Л.А.Муравей, Н.Н.Роева и др.; Под ред. Л.А.Муравья. - 2000
3. Зайцев А.П. **Чрезвычайные ситуации. Краткая характеристика и классификация:** Учеб. пособие/ А.П.Зайцев. - 1998
4. **Охрана труда в электроустановках. Учебник под ред. Б.А. Князевского.** М. Энергоатомиздат, 1985
5. П.А. Долин **Основы техники безопасности в электроустановках.** М. Энергоатомиздат, 1984.
6. Мунипов В.М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учеб. для вузов/ В.М.Мунипов, В.П.Зинченко; Федеральная программа книгоиздания России . - 2001

Издания СПбГЭТУ (ЛЭТИ)

1. Безопасность применения средств вычислительной техники: Метод. указ. к практ. занятиям по дисц. "Безопасность жизнедеятельности", 1999
2. Химическая и радиационная безопасность: Метод. указ. к практ. занятиям по дисц. "Безопасность жизнедеятельности", 2000
3. **Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность:** Учебное пособие, 2001
4. **Безопасные и эффективные системы освещения.** Учебное пособие СПбГЭТУ, 2002
5. Эргономика – человеческий фактор. Учебное пособие СПбГЭТУ, 2003

Статистические показатели

В мире - около 500 млн. инвалидов. 100 млн. из них стали инвалидами в результате несчастного случая.

Ежегодно в мире травмируется 120 -140 млн человек, погибает около 1.2 млн., в том числе на производстве - 200 тысяч.

В России ежегодно травмируется ок.900 тыс. чел., а погибает 100-180тыс.чел., в том числе:

- ДТП -30-35 тыс. ,**
- на пожарах -10 тыс.,**
- на производстве - до 14 тыс.**

Ежегодные финансовые потери из-за аварий, ЧС в мире достигают 1 трлн. долларов, в т.ч. на производстве 400-500 млрд.

Данные о гибели людей по С.-Петербургу:

вследствие пожаров:

6-8 человек в день

вследствие электротравм:

1 человек в 3 дня - в быту

производстве.

1 человек в 6 дней - на

вследствие ДТП:

2 - 6 человек в день

вследствие механических

травм:

1-2 человек в день.

Статистика травматизма со смертельным исходом среди экономически развитых стран.

Страна	Коэффициент частоты смертельных случаев на 1000 работающих
Великобритания	0.016
Япония	0.020
США	0.054
ФРГ	0.080
Россия	0.138

Аксиомы БЖД

**Аксиома 1. Любая человеческая
деятельность потенциально опасна.**

**Аксиома 2 . С развитием техники
опасность увеличивается.**

Основные задачи БЖД

- 1. Идентификация опасностей с указанием количественных характеристик и условий возникновения опасности.**
- 2. Ликвидация возможных опасностей.**
- 3. Защита людей от опасностей.**

Опасность - (центральное понятие БЖД) - совокупность явлений, процессов, объектов, способных в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека непосредственно или косвенно, т.е. вызывать нежелательные последствия (события).

по ГОСТ 12.0.003-88 «Вредные и опасные производственные факторы»

Классификация опасностей

по природе происхождения

- природные
- техногенные
- антропогенные
- экологические

по эффекту воздействия

- физические
- химические
- биологические
- психофизиологические

по вызываемым последствиям

- утомление
- заболевания
- травмы
- аварии
- пожары
- взрывные устройства

по приносимому ущербу

- социальный
- технический
- экологический и т.п.

по сфере проявления опасностей:

- бытовая
- спортивная
- дорожно-транспортная
- производственная
- военная и др.

Основные разделы БЖД

- 1 Безопасность в процессе труда**
- 2 Безопасность вне труда , в т.ч. промышленная экология.**
- 3 Безопасность в ЧС.**

Причины нежелательных событий

- неправильные действия рабочих,
 - необученность,
 - небрежность,
 - ухудшение состояния здоровья,
 - ненормальные условия труда,
 - случайная ошибка,
 - техника,
 - неисправности техники,
 - неудачная конструкция, провоцирующая неправильные действия рабочего.
- 
- >80%

Опасный фактор (ОПФ) - воздействие на работающего, которое в ограниченное время может привести к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

Вредный фактор (ВПФ) - воздействие на работающего, которое в определенных условиях в течение длительного времени ведет к заболеванию или ухудшению здоровья.

Условия труда

Условия труда - совокупность факторов, действующих на человека в процессе труда.

Условия труда принято делить на благоприятные и неблагоприятные

Граница между этими группами условна и подвижна. Она определяется при помощи количественных показателей (ПДК, ПДУ и т.д.),

Теория риска

- 1. Абсолютная безопасность, как правило, технически недостижима.**
- 2. Мерой опасности или отказов техники принято считать риск.**
- 3. Риск (степень риска, уровень риска) - это частота реализации опасности.**

$$R=n/N \quad ,$$

где n – значение неблагоприятных событий (несчастных случаев),
 N – общее число возможных событий (опасных случаев, число людей, подвергающихся опасности, или другой параметр, к которому приводится данное событие).

Индивидуальный фактический риск фатального исхода в год

(по данным, относящимся ко всему населению США)

автомобильный транспорт	- $3 \cdot 10^{-4}$
отравление	$2 \cdot 10^{-5}$
воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
общий риск	$6 \cdot 10^{-4}$
ядерная энергия (100 реакторов)	$2 \cdot 10^{-10}$

4. Потенциальный риск

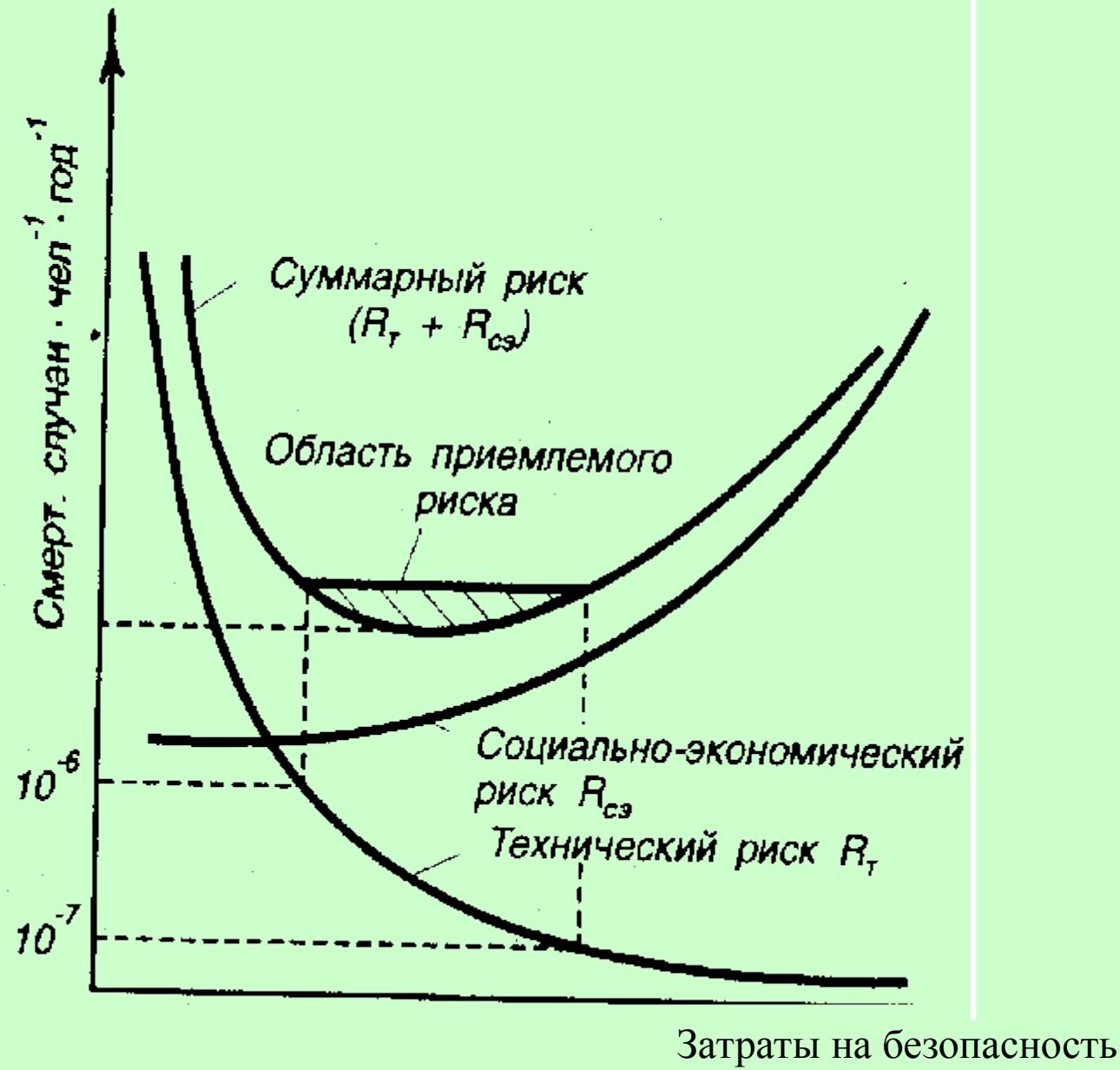
$$R = P(A) P_f ,$$

где $P(A)$ – вероятность развития аварии на объекте, способной сформировать некий уровень опасного воздействия на человека;
 P_f - вероятность гибели индивидуума при данном уровне воздействия.

5. *Допустимый риск* - риск гибели людей с которым может примириться государство

Допустимый риск $< 10^{-6}$

Пренебрежимо малый риск $< 10^{-8}$



Заключительный этап анализа риска – разработка рекомендаций по уменьшению риска.

Меры по уменьшению риска в направлениях:

- уменьшение вероятности возникновения аварийной ситуации
- уменьшение тяжести последствий аварии

Пути уменьшения риска:

- **-совершенствования технических средств,**
- -подготовкой обслуживающего персонала,
- -подготовкой противоаварийных служб
(ликвидация последствий возникших чрезвычайных ситуаций).

Выбор нормируемых параметров (на примере ГОСТ 12.1.038-89)

При аварийном режиме работы производ-х эл.установок

Род тока	Норм. величина	Для действия более 1сек.	P(A)	Pг
~ 50 Гц	$U_{\text{пр}}$ I_h	20 В 6 мА	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

При аварийном режиме работы бытовых эл.установок

Род тока	Норм. величина	Для действия более 1сек.	P(A)	Pг
~ 50 Гц	$U_{\text{пр}}$ I_h	12 В 2 мА	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$

$$R = P(A) P_g$$

Охрана труда – система законодательных, нормативных, организационно-технических, санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических и иных мероприятий и средств, направленных на сохранение здоровья и жизни человека в процессе труда.

Законодательное обеспечение безопасности труда



ТРУДОВОЙ КОДЕКС . Раздел X. ОХРАНА ТРУДА

Статья 210. Основные направления государственной политики в области охраны труда

Основными направлениями государственной политики в области охраны труда являются:

- обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- государственный надзор и контроль за соблюдением требований охраны труда;
- проведение эффективной налоговой политики, стимулирующей создание безопасных условий труда, разработку и внедрение безопасных техники и технологий, производство средств индивидуальной и коллективной защиты работников;

.....

Глава 34. ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА

Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда

Работодатель обязан обеспечить:

- **безопасность работников** при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;
- приобретение и **выдачу** за счет собственных средств **средств индивидуальной защиты** работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда;
- **обучение безопасным методам** и приемам выполнения работ по охране труда и оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда, безопасных методов и приемов выполнения работ;
- **информирование работников** об условиях и охране труда на рабочих местах, о существующем риске повреждения здоровья и полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;
- предоставление органам государственного управления охраной труда, органам государственного надзора и контроля, органам профсоюзного контроля за соблюдением законодательства о труде и охране труда информации и документов, необходимых для осуществления ими своих полномочий;
- принятие мер по **предотвращению аварийных ситуаций**, сохранению жизни и здоровья работников при возникновении таких ситуаций, в том числе по оказанию пострадавшим первой помощи;

Нормативные документы по безопасности труда

1. Государственные стандарты

ССБТ – система стандартов по безопасности труда

Всего около 400 стандартов

Структура ССБТ.

ГОСТ 12.Х.YYY-ZZ



Подсистемы (Х) системы ССБТ

0	Организационно-методические стандарты.
1	Стандарты требований и норм по видам ОВПФ.
2	Технические требования к производственному оборудованию.
3	Требования безопасности технологических процессов
4	Требования к средствам защиты работающих.
5	Безопасность зданий и сооружений
6-9	Резервные

С 1990 г. Стандарты России ГОСТ Р ...

ГОСТ Р 22.YYY-ZZ - серия Безопасность в ЧС.

ГОСТ МЭК

2. Правила и нормы

ПУЭ – Правили устройства электроустановок

ПЭЭП – Правила эксплуатации электроустановок потребителей

СНиП – Строительные нормы и правила

СанПиН - Санитарные правила и нормы

ГН – гигиенические нормы

НРБ – нормы радиационной безопасности

НПБ – нормы противопожарной безопасности

ПОТ - правила охраны труда

ПБ – правила безопасности

Инструкции по ОТ

Контролирующие органы

Госстандарт – соблюдение ГОСТ.

Госэнергонадзор - соблюдение требований безопасности при устройстве и обслуживании электрических и теплоустановок.

Госгортехнадзор - соблюдения правил и норм по безопасному ведению работ в ведущих отраслях промышленности.

Государственный санитарный надзор - соблюдение гигиенических норм, санитарно-технических и санитарно-эпидемиологических правил.

Государственный пожарный надзор - соблюдение противопожарных правил .

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Опасность



электроток

Риск



удар током

Ущерб



несчастный случай
при ударе током

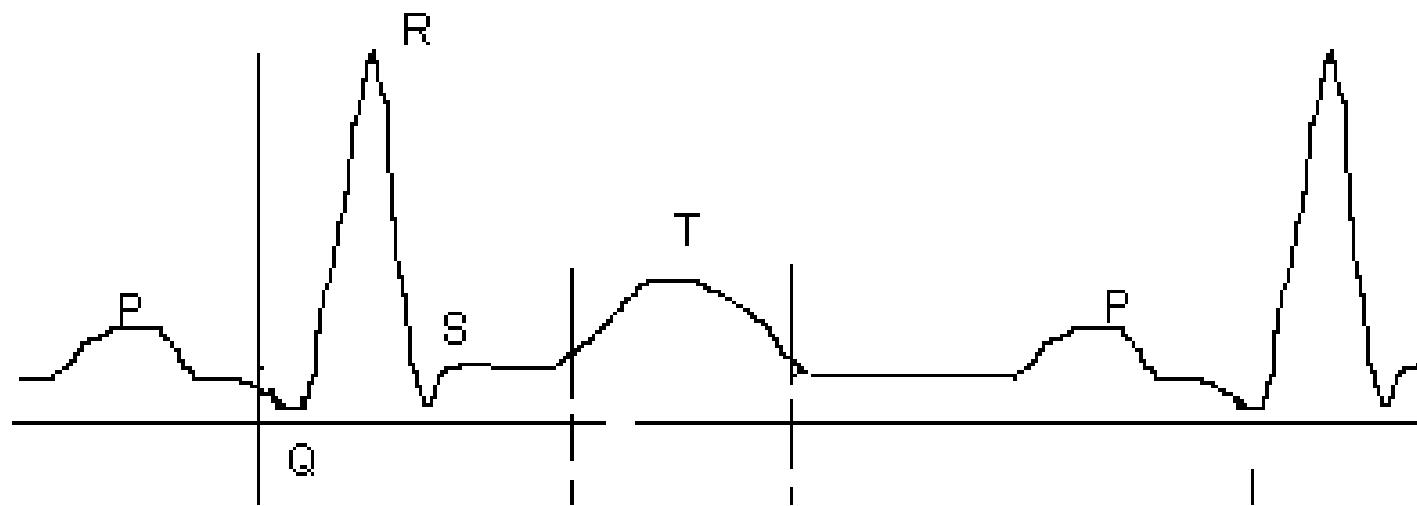


- в среднем из 1000 производственных несчастных случаев смертью пострадавшего заканчиваются 1.5;
- на 1000 несчастных случаев, произошедших на дороге, приходится 9 погибших;
- из 1000 пострадавших от электрического тока погибли 29.

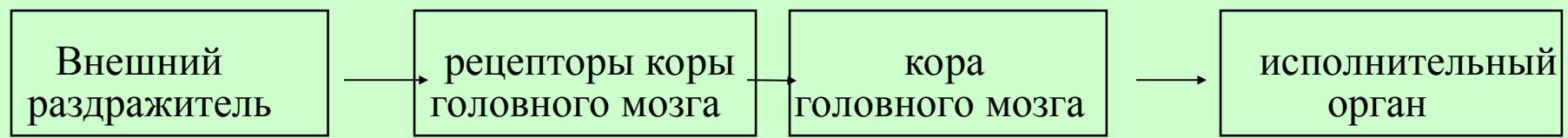
Рис. 5. "Айсберг" травматизма

Физиологическое воздействие электрического тока :

1. Биологическое воздействие.
 - прямое
 - рефлекторное
2. Термическое воздействие
3. Химическое воздействие
4. Вторичные травмы.



Рефлекторная цепь ЦНС



Ток	Характер восприятий	
	Переменный ток 50—60 гц	постоянный ток
0,6—1,5	Начало ощущения , легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2—3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5—10	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
12—15	Руки трудно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах, кистях рук и руках. Состояние терпимо 6 — 10 сек.	Усиление нагрева
20—25	Руки парализуются немедленно, оторвать их от электродов невозможно. Очень сильные боли. Затрудняется дыхание.	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук
50—80	Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания
90—110	При длительности 3 сек. и более паралич сердца	Паралич дыхания
3000 и более	Паралич дыхания и сердца при воздействии более 0,1 сек. Разрушение тканей тела теплом тока	

Воздействие электрического тока различной силы на организм человека

Воздействие	Ток (мА)					
	Постоянный ток		Переменный ток 60 Гц		Переменный ток 10 кГц	
Пол	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
Легкое ощущение рукой	1	0,6	0,4	0,3	7	5
Порог ощущения	6,2	3,5	1,1	0,7	12	8
Безболезненный удар и без потери контроля над мускулатурой	9	6	1,8	1,2	17	11
Болезненный удар и потеря контроля над мускулатурой в 0,5% случаев	62	41	9	6	55	37
Болезненный удар, порог парализации движения (у 50%)	76	51	16	10,5	75	50
Болезненный и сильный удар, дыхание затруднено, потеря контроля над мускулатурой у 99,5% людей	90	60	23	15	94	63

Значения ПОТ и ПНТ для мужчин:

Порог	Род тока	
	Постоянный	~50 Гц
ПОТ	4-8 мА (на языке 40 мкА)	0,5-1,5 мА
ПНТ	40-80 мА	5 -25 мА (средний -16) ↑ 1 из 1000 ↑ 50%

ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

$$P = I^2 R$$

нервы

кровеносные сосуды

мышцы

ρ кожа

сухожилия

жировая ткань

кости.

Источники термического действия:

- - оголенные токоведущие части
- - электрическая дуга.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОПАСНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

- Исход поражения зависит от следующих основных факторов:

- параметры тока, протекающего по телу человека,
 - величина тока
 - род тока
 - частота тока
- - длительность протекания тока по телу человека,
- - путь тока в теле человека,
- - индивидуальные свойства человека.

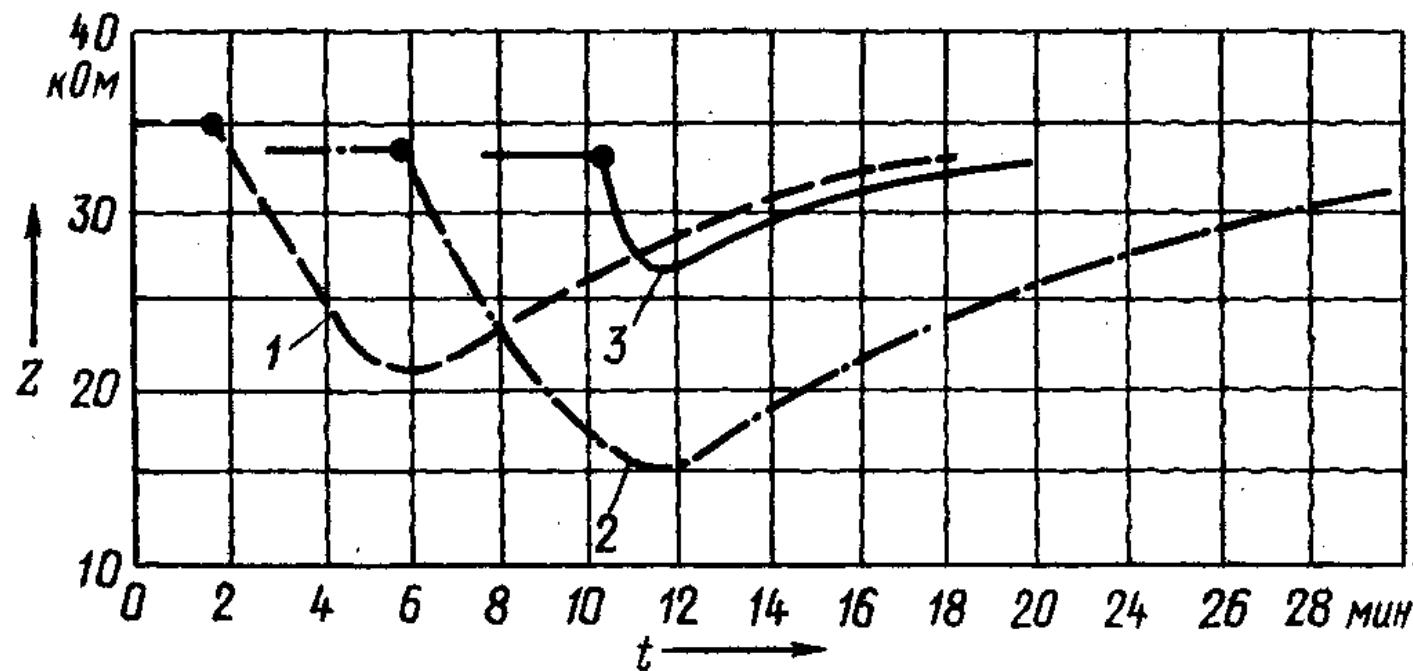
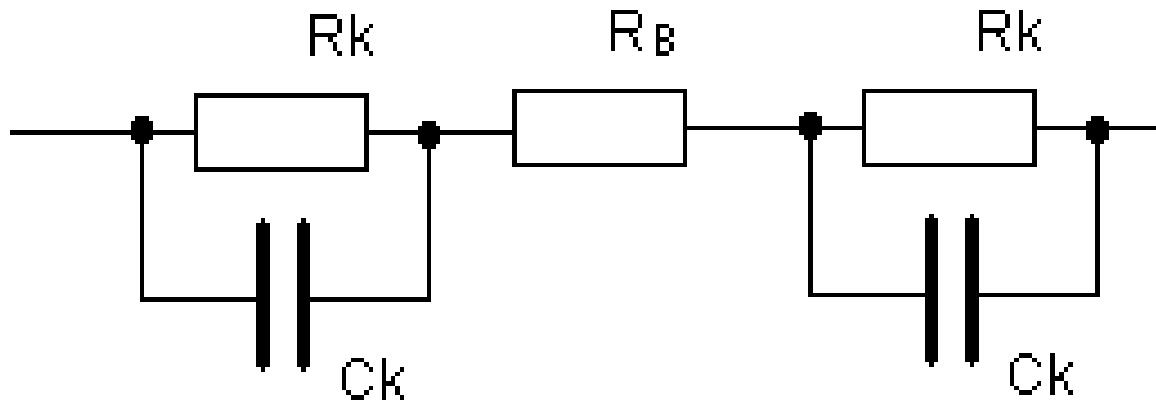


Рис. 8.6. Зависимость электрического сопротивления Z тела человека от вида раздражителя

1 — укол; 2 — неожиданный звук; 3 — легкий удар по руке. Моменты раздражения обозначены точками

Модель сопротивления тела человека

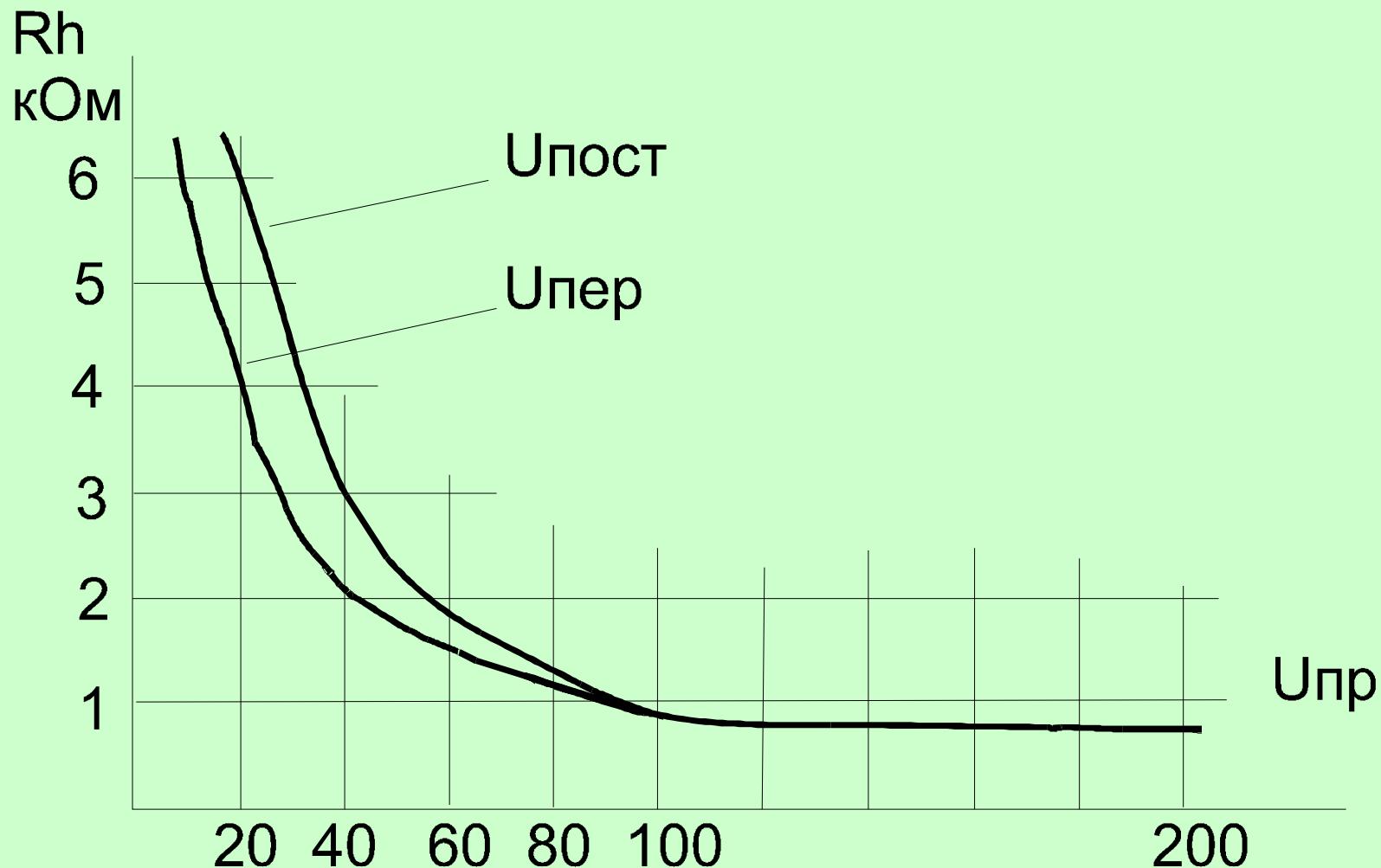


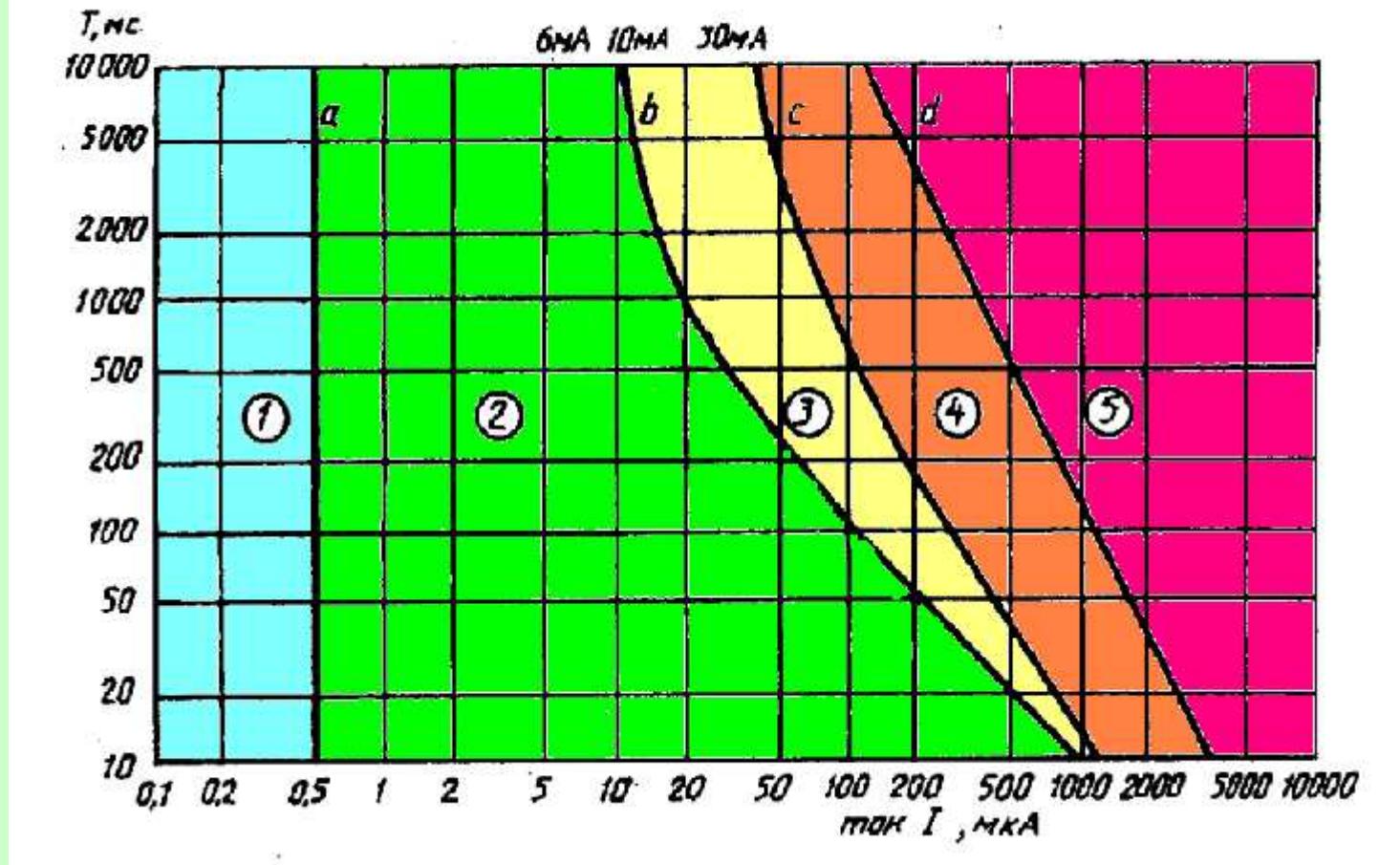
$$R_k = \text{var} (0 \dots \text{МОм})$$

$$R_B = 800 - 1200 \text{ Ом}$$

$$C_k = 0,02 - 0,03 \text{ } \mu\Phi/cm^2$$

График ориентировочной зависимости
сопротивления R_h от приложенного к человеку напряжения $U_{пр}$





Диапазоны воздействия переменного тока 50 Гц на взрослого человека:

Зона 1 - без реакции

зона 2 - без опасного физиопатологического эффекта;

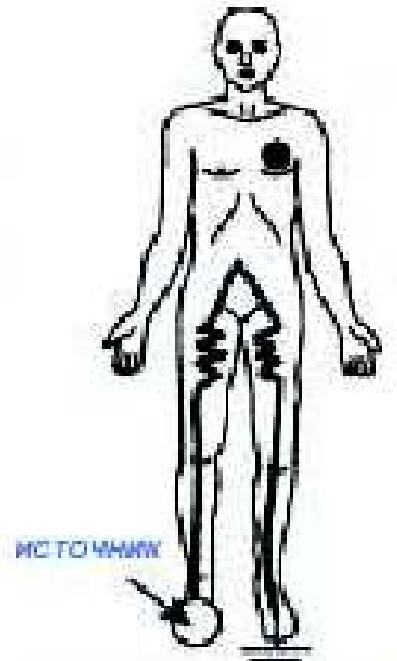
зона 3 - без риска фибрилляции;

зона 4 - возможность фибрилляции с вероятностью <50%;

зона 5 - возможность фибрилляции с вероятностью >50%



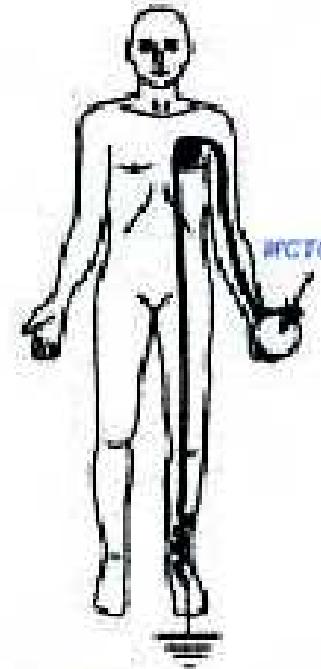
НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ



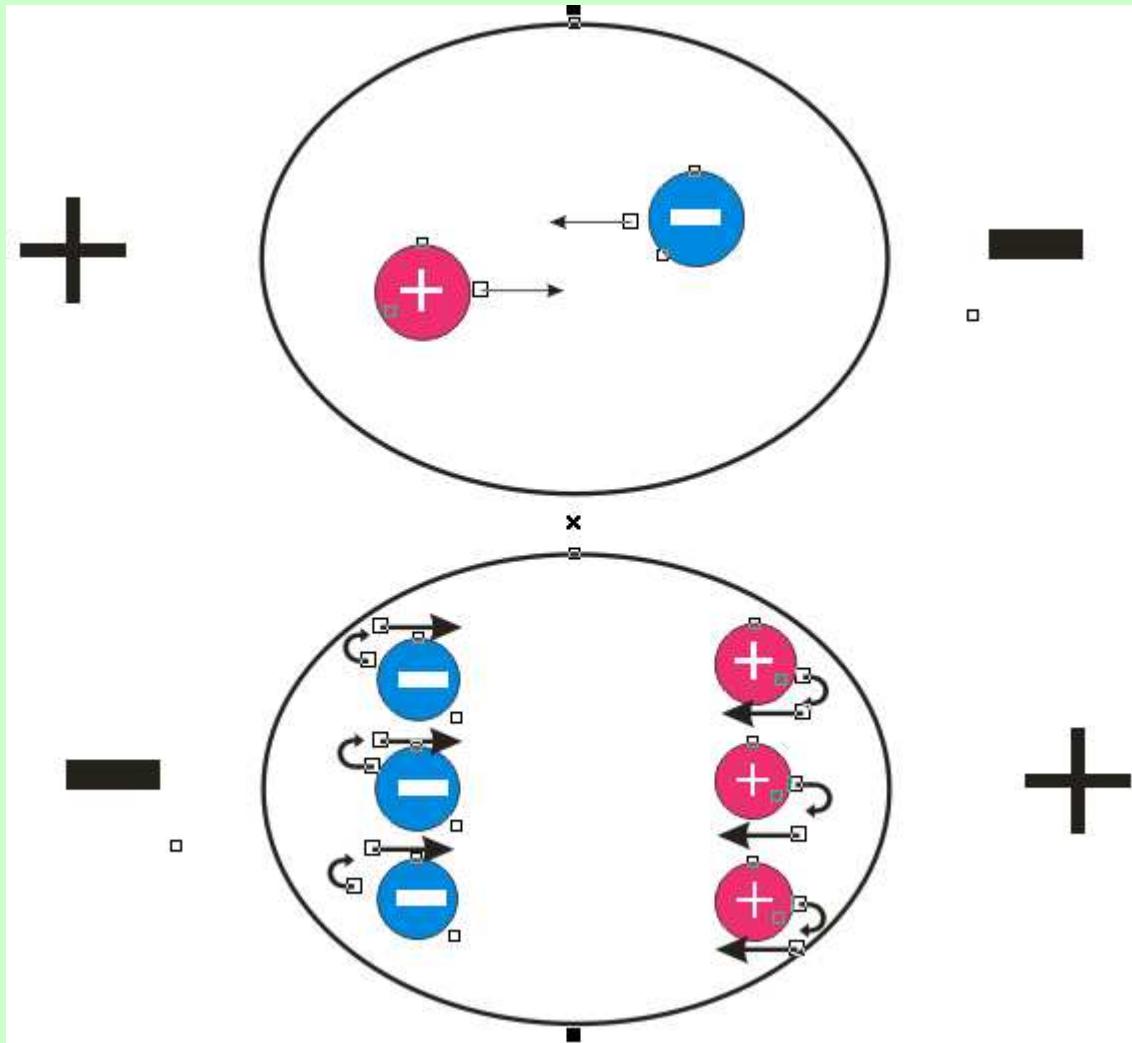
ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ



ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ



ИСТОЧНИК



ГОСТ 12.1.038-89

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения в <u>неаварийном</u> режиме	
	$U_{\text{пр}} , \text{В}$	I_h , mA
Переменный 50 Гц	2	0.3
400 Гц	3	0.4
Постоянный	8	1.0

ГОСТ 12.1.038-89

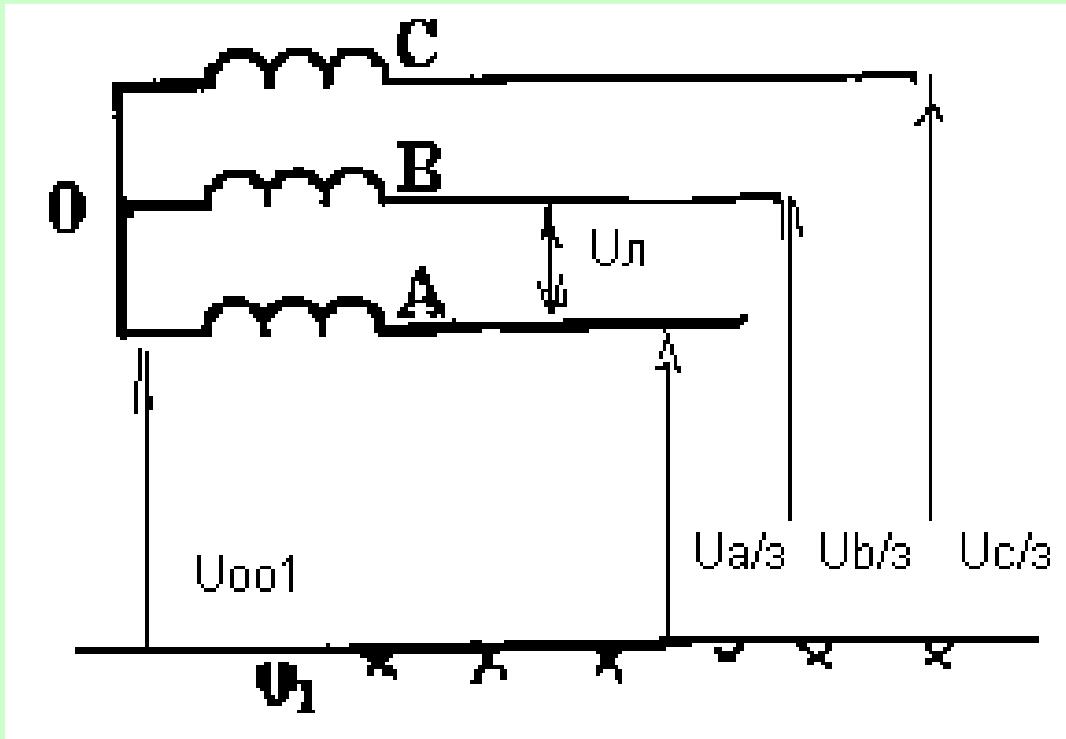
- при аварийном режиме производственных электроустановок

Род и частота тока	Нормируе- мая величина	Продолжительность воздействия , с					
		0.01- 0.08	0.1	0.2	0.5	1.0	>1
~ 50 Гц	$U_{\text{пр}}$, В	550	340	160	105	60	20
	I_h , мА	650	400	190	125	50	6
=	$U_{\text{пр}}$, В	650	500	400	250	200	40
	I_h , мА	650	500	400	250	200	15

ГОСТ 12.1.038-89

› при аварийном режиме бытовых электроустановок

Род и частота тока	нормиру- емая величина	Продолжительность воздействия , с					
		0.01- 0.08	0.1	0.2	0.5	1.0	>1
~ 50 Гц	$U_{\text{пр}}$, В I_h , мА	220 220	200 200	100 100	50 50	25 25	12 2

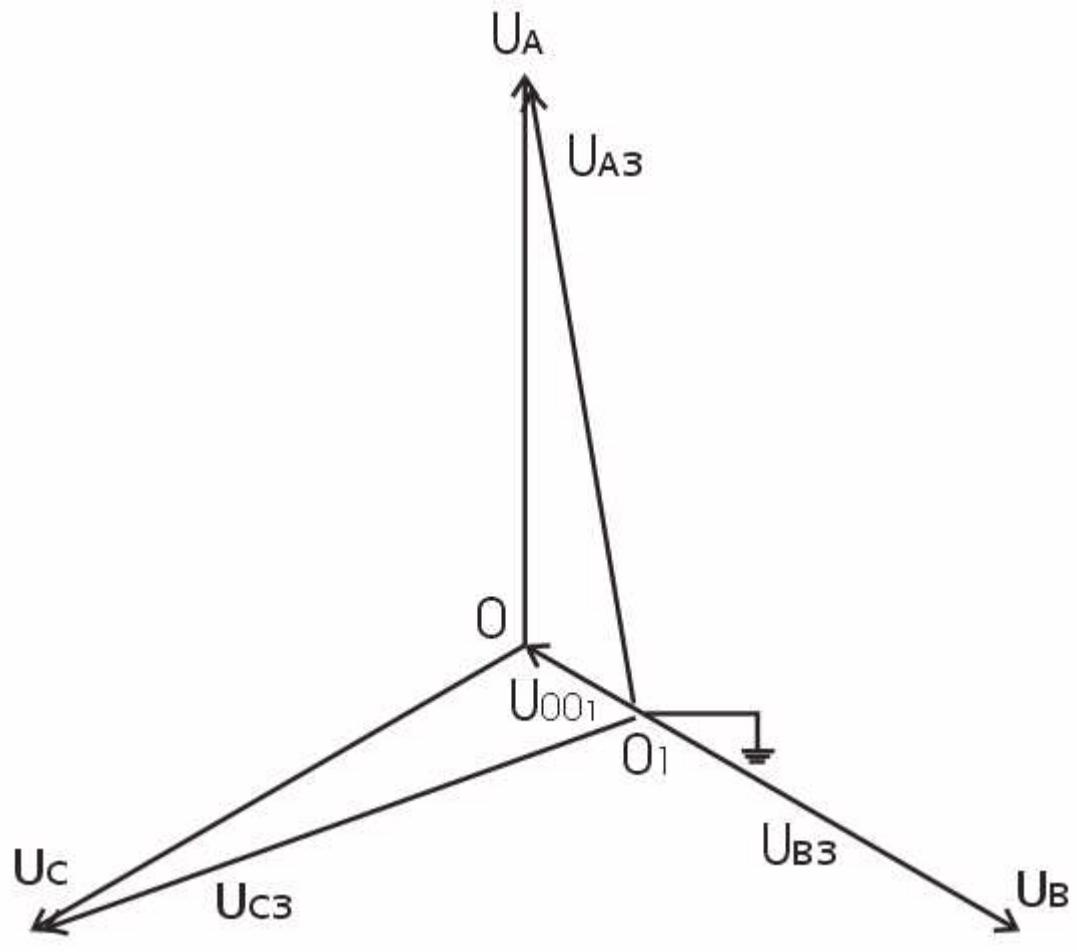


$$U_n = \sqrt{3} |U_\phi|$$

Земля O_1 - в общем случае эквипотенциальный проводник .

U_{A3} U_{B3} U_{C3} - напряжения фаз относительно земли.

U_{001} - напряжение смещения нейтрали.



$$\dot{U}_A = U_\phi$$

$$\dot{U}_B = a^2 U_\phi$$

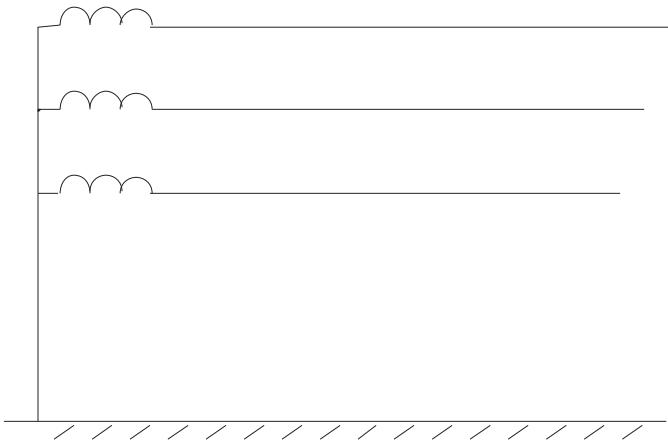
$$\dot{U}_C = a U_\phi$$

$$a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

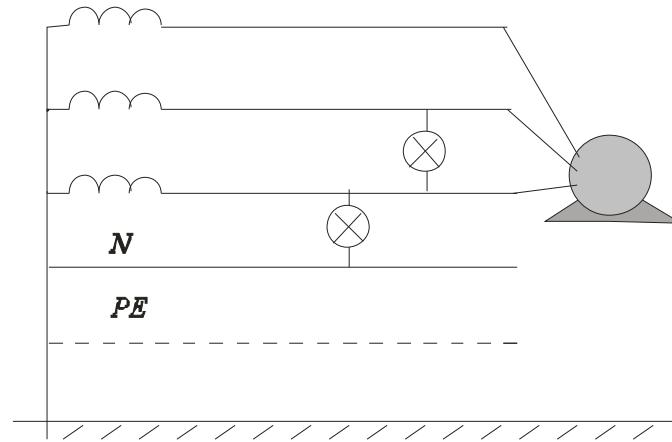
a – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз

ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

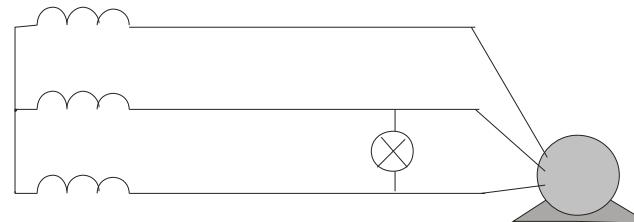
СГЗН (TN)



3ф 3провода



3ф 4-5 проводов



СИН (IT)

Электрические параметры, характеризующие связь сети с землей:

- сопротивление изоляции,
- емкость относительно земли,
- заземления.

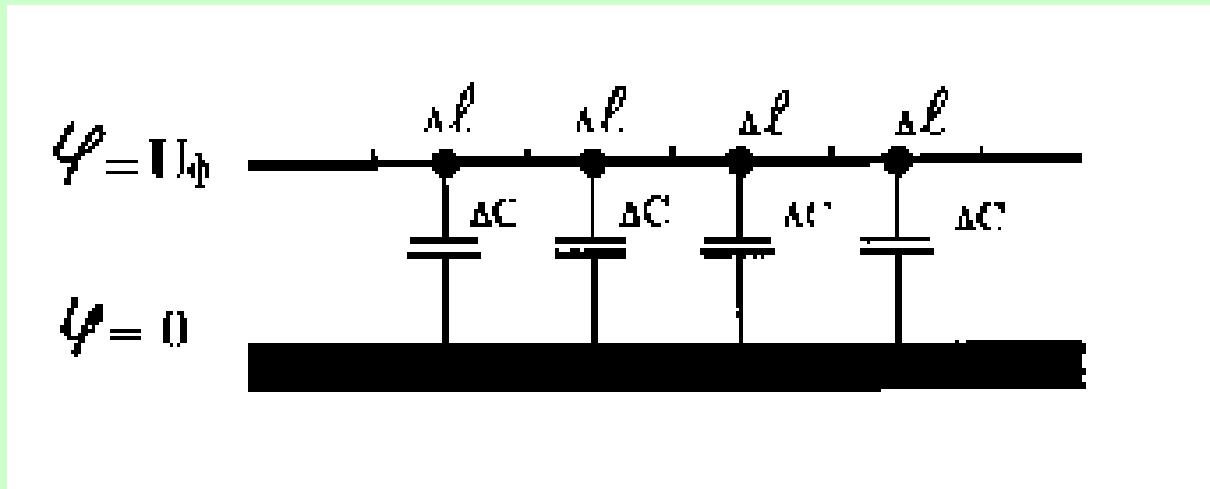
СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Rи - показатель способности изоляционных конструкций пропускать электрический ток под действием приложенного к этим конструкциям постоянного напряжения

$$r_\phi = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\phi i}} \right)^{-1}$$

$$R_{u.\text{экв}} = \left(\sum_{\phi=A,B,C} \frac{1}{r_\phi} \right)^{-1}$$

ЕМКОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ



$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

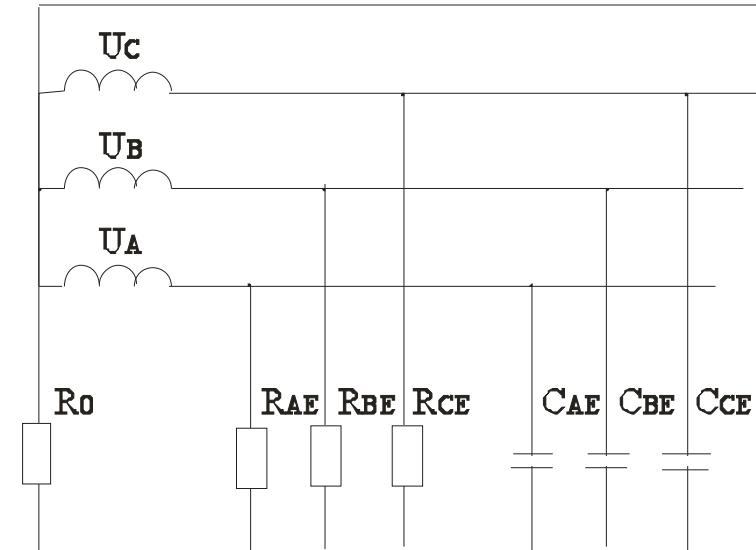
$$C_\phi = \sum_{i=1}^n \Delta C_i$$

Заземление - это намеренное соединение металлических токоведущих или нетоковедущих частей с землей.

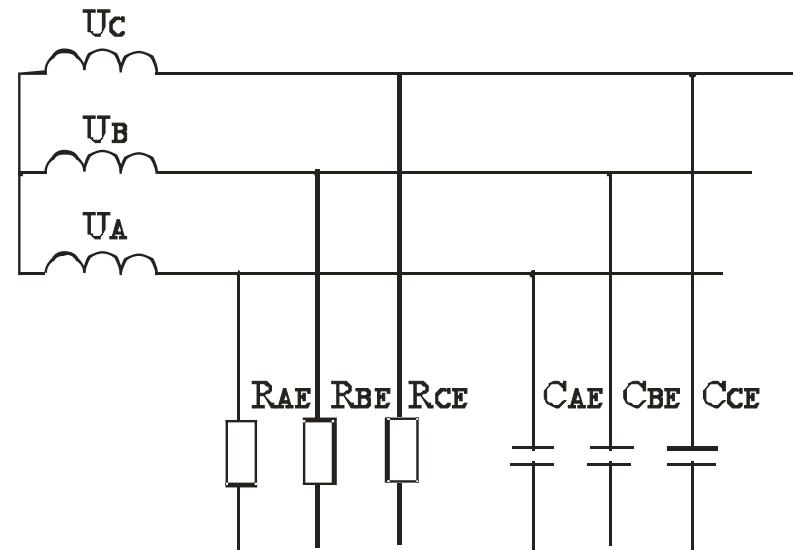
- заземление нейтрали источника электроэнергии, рабочее заземление),
- защита от поражения током (защитное заземление),
- ~~защита от радиопомех.~~

Рабочее напряжение Upаб В	Rз, Ом
127/220	8
220/380	4
380/660	2
Выше 1000	0.5

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ СЕТЕЙ



СГЗН



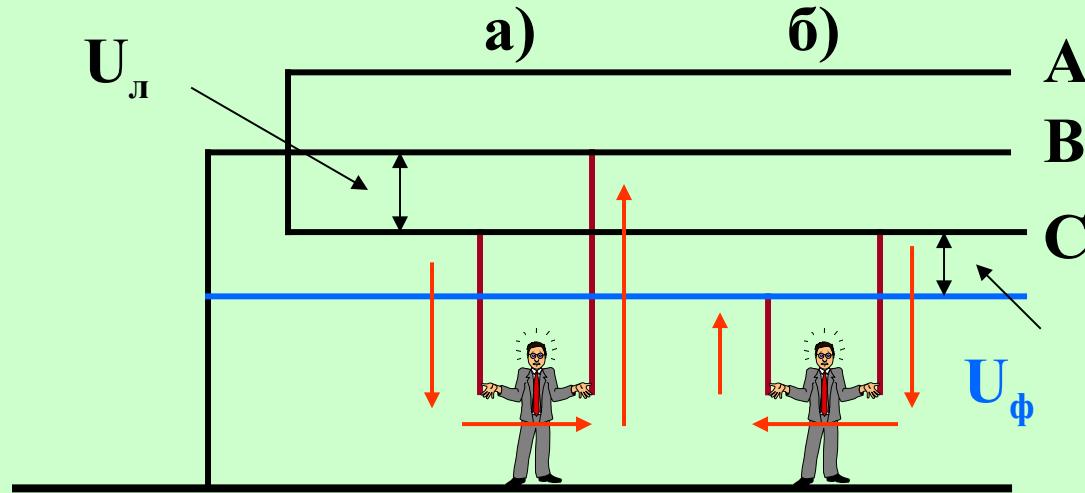
СИН

Возможные схемы включения человека в электрическую цепь

1. Двухполюсное прикосновение.
2. Однополюсное прикосновение.
3. Остаточный заряд.
4. Напряжение шага.
5. Электрический пробой воздушного зазора.
6. Наведенный заряд.
7. Заряд статического электричества.

Двухфазное прикосновение к токоведущим частям

- а) - прикосновение к двум фазным проводам
- б) – прикосновение к фазному и нулевому проводу



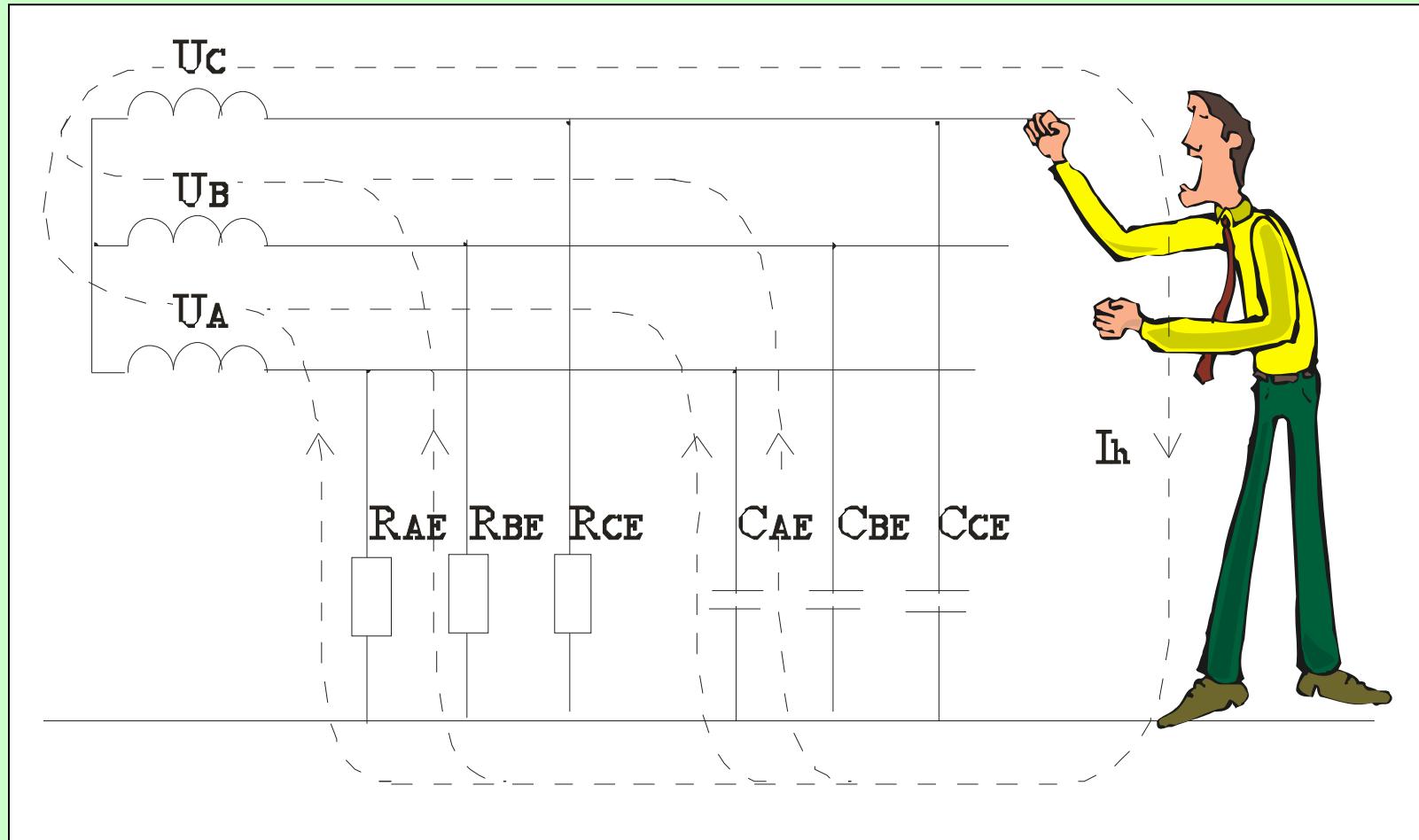
Путь тока -
«рука-рука»

$$\text{а)} \quad I_u = U_l / R_u, \quad U_{np} = I_u \cdot R_u = U_l = 380 \text{ В}$$

$$\text{б)} \quad I_u = U_\phi / R_u, \quad U_{np} = I_u \cdot R_u = U_\phi = 220 \text{ В}$$

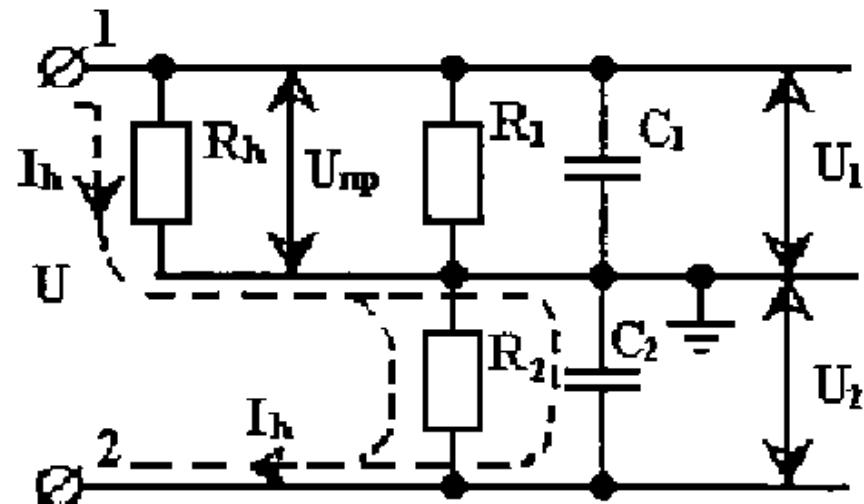
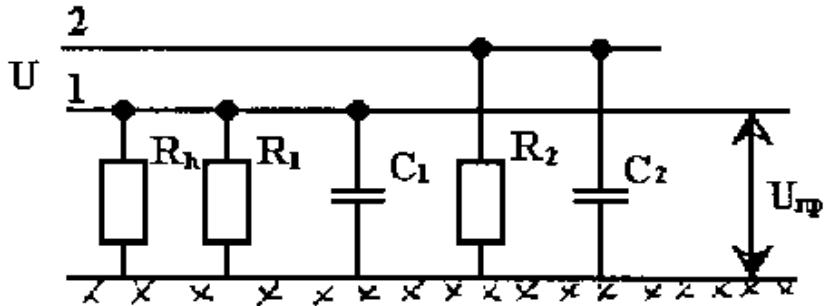
Сопротивление растеканию тока пола, на котором стоит человек , кОм

Материал пола	Степень влажности пола		
	Сухой	Влажный	Мокрый
Асфальт	2000	10,0	0,8
Бетон	2000	0,9	0,1
Дерево	30	3,0	0,3
Земля	20	0,8	0,3
Кирпич	10	1,5	0,8
Линолеум	1500	50,0	4,0
Метлахская плитка	25	2,0	0,3



IT

ОПАСНОСТЬ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ПОЛЮСУ однофазной СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, изолированной от земли.



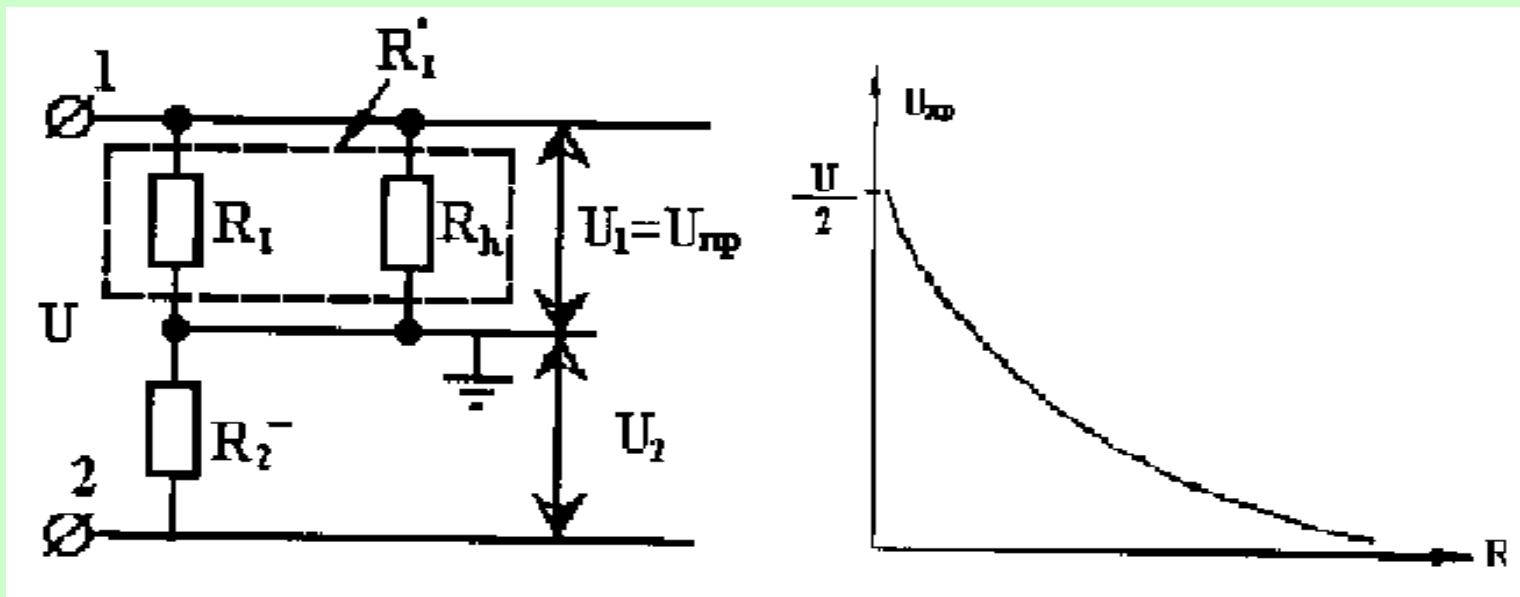
$$\dot{Z}_1 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_h} + j\omega C_1 \right)^{-1}$$

$$\dot{I}_h = \frac{\dot{U}_{np}}{R_h}$$

$$\dot{Z}_2 = \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)^{-1}$$

$$\dot{U}_{np} = \dot{U}_{1-3} = U_{pab} \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

Сеть с пренебрежимо малой емкостью.

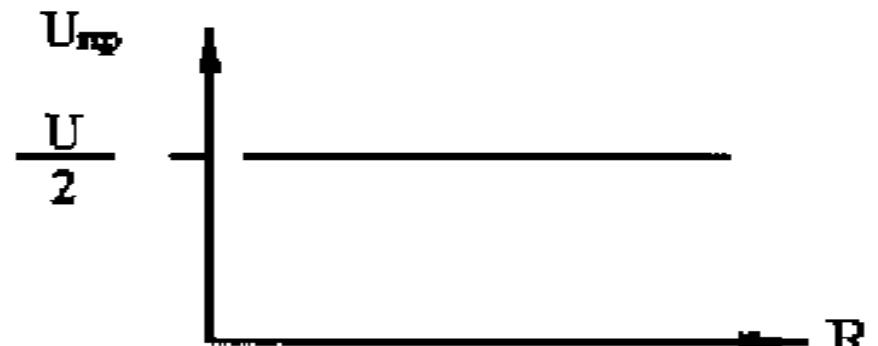
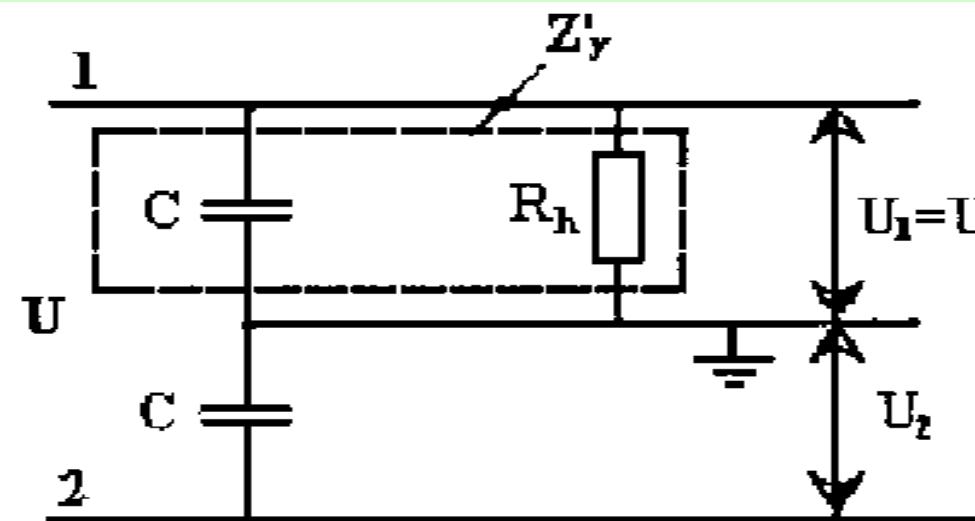


$$\exists R_1, R_2 \gg R_h \quad R'_1 = R_1 R_h / (R_1 + R_h) \approx R_h \ll R_2, \quad U_{\text{пр}} \rightarrow 0$$

$$\exists R_1 \approx R_2 < R_h \quad R'_1 \approx R_1 \approx R_2 \quad U_{\text{пр}} \approx U/2$$

Если \$R_2 \ll R_1 \quad U_{\text{пр}} \rightarrow U_{\text{раб}}

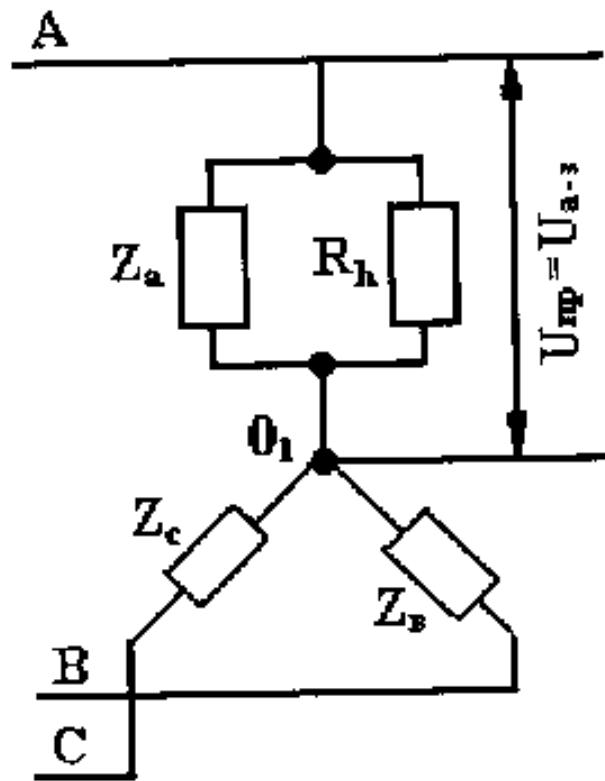
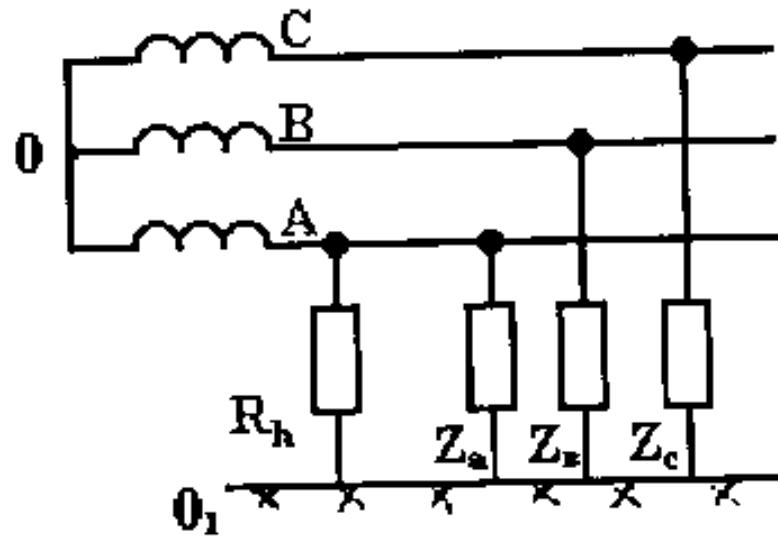
Разветвленная сеть



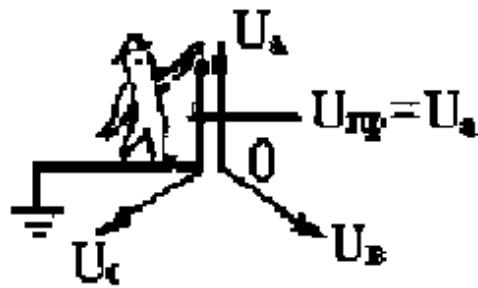
$$Z' = X_C$$

$$U_{\text{upr}} = U/2 = \text{const}$$

ОПАСНОСТЬ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ФАЗЕ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ



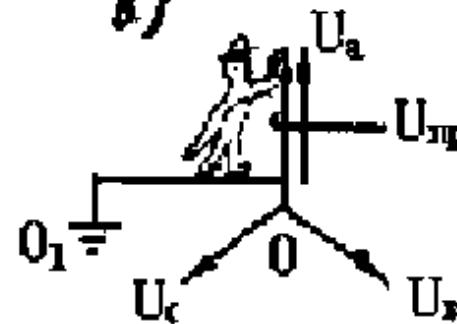
a)



б)



в)



a) $Z_a = Z_b = Z_c \ll R_h$

$$U_{\text{пр}} \approx U_{\phi}$$

б) $Z_a = Z_b = Z_c \gg R_h$

$$Z_a' \ll Z_b = Z_c$$

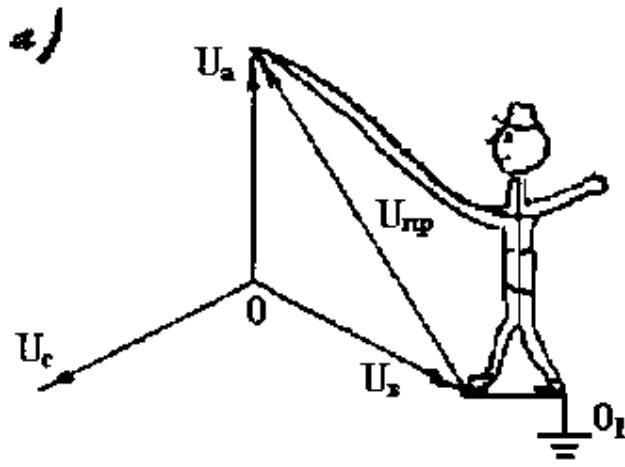
$$U_{a3} \rightarrow 0, \quad U_{b3} = U_{c3} = U_l$$

в) $Z_a = Z_b = Z_c \approx R_h$

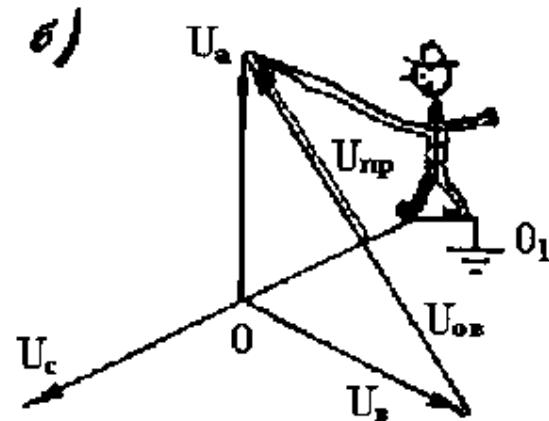
$$0 < U_{a3} = U_{\text{пр}} < U_{\phi}$$

$$U_l > U_{b3} = U_{c3} > U_{\phi}$$

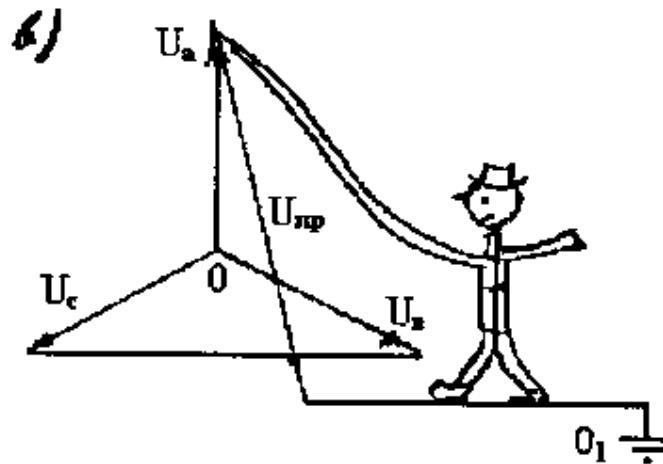
Напряжение фаз относительно земли перераспределяется в зависимости от соотношения значений сопротивления фаз относительно земли и сопротивления тела человека



замык. фазы В на землю

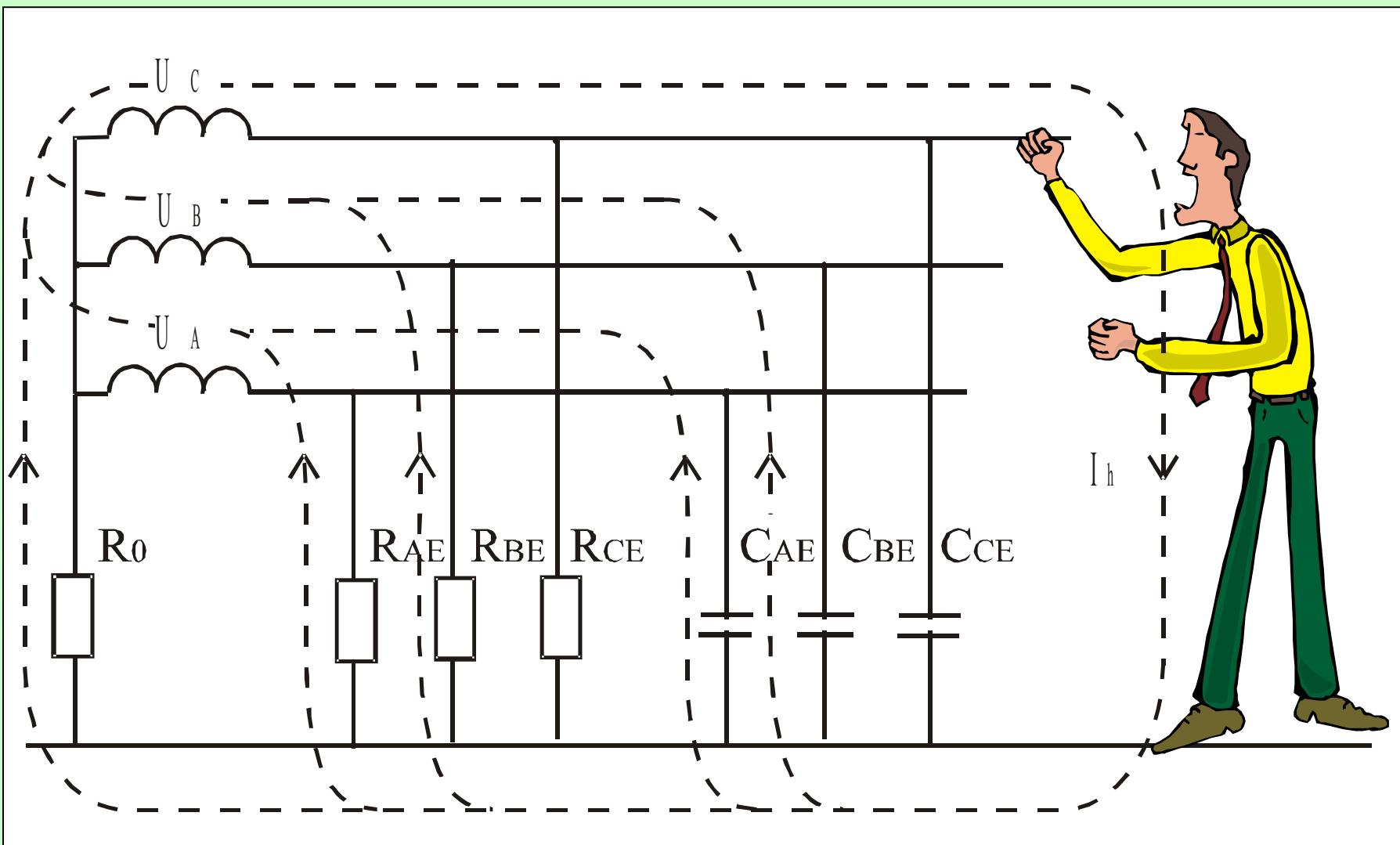


замык. фаз А и В на землю
 $Z_a = Z_b \ll R_h \ll Z_c$



замык. фаз В и С на землю
 $R_b \approx R_c \approx R_h \ll R_a$

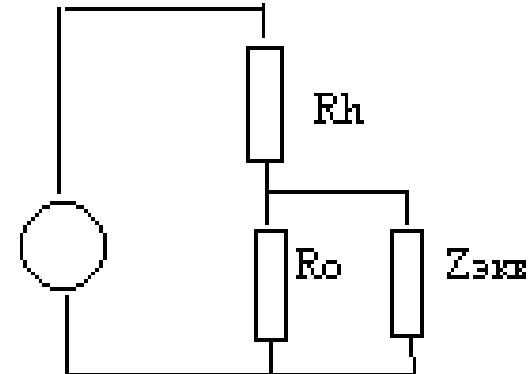
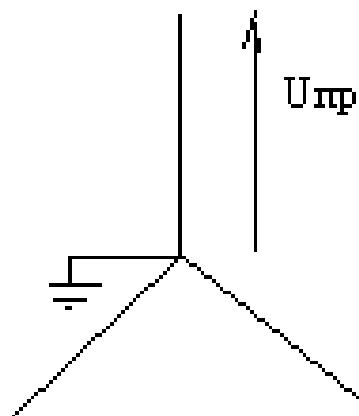
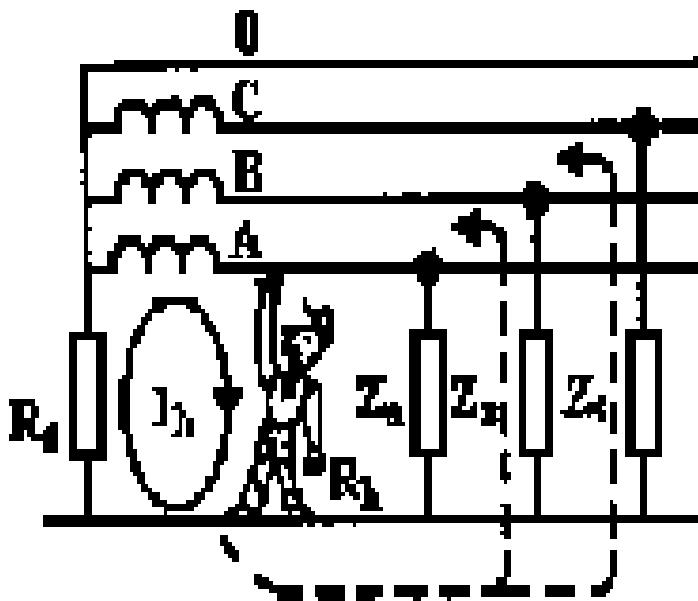
ПРИКОСНОВЕНИЕ К ФАЗЕ СЕТИ С ГЛУХИМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ (TN)

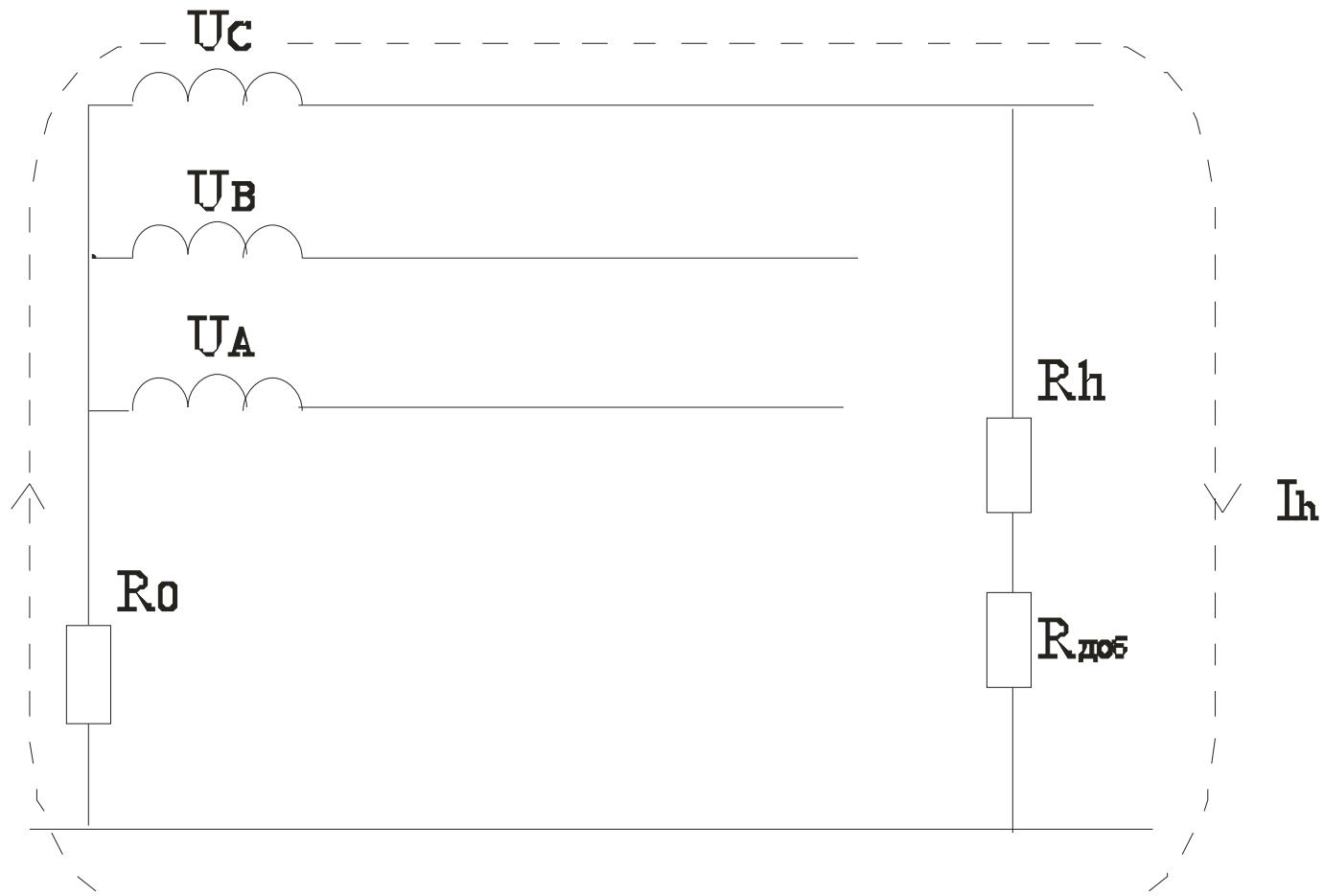


□ Прикосновение к сети с исправной изоляцией.

$$Z_{\text{из}} \gg R_o$$

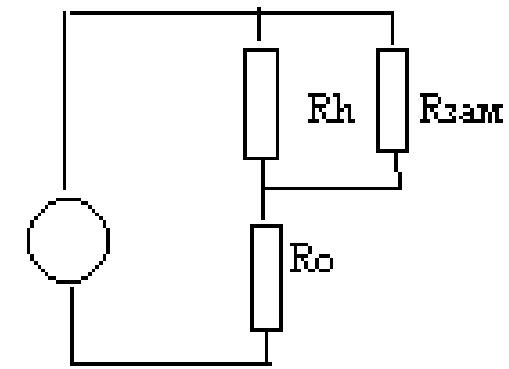
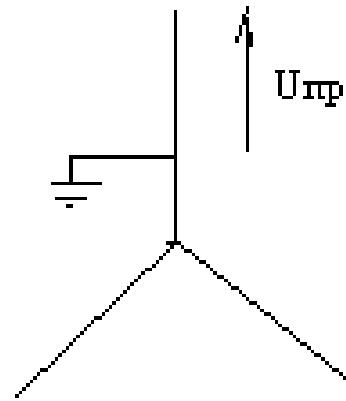
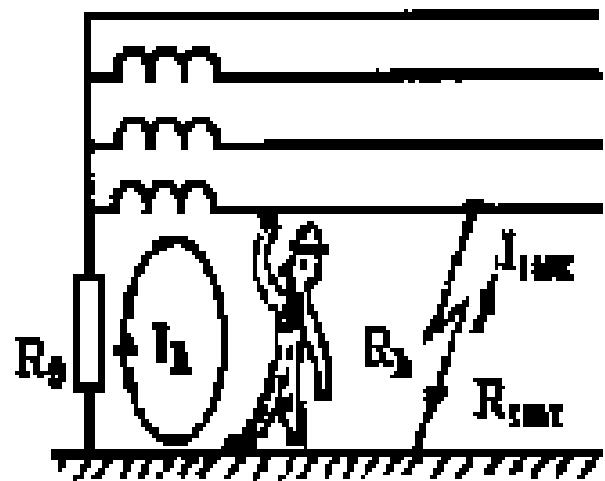
$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot R_h / (R_o + R_h) \approx U_{\phi}$ независимо от значения Z_{ϕ} .



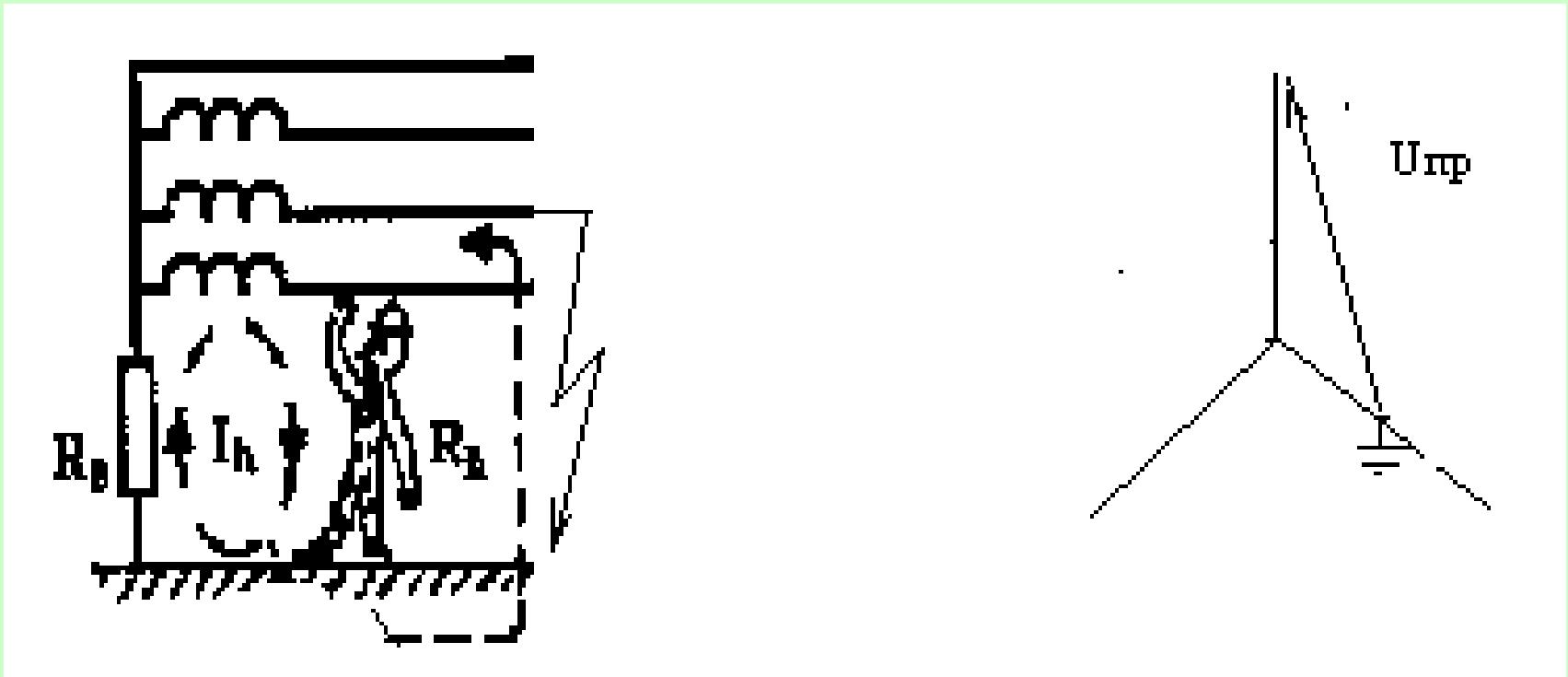


□ Человек касается фазы, замкнувшейся на землю

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \cdot R_{\text{зам}} / (R_o + R_{\text{зам}} + R_o R_{\text{зам}} / R_h) < U_{\phi}$$



- Одна из фаз имеет замыкание на землю, а человек касается исправной («здоровой») фазы



$$U_{np} = U_\phi \frac{R_{зам} + RoR_{зам}\sqrt{3}}{Ro + R_{зам} + RoR_{зам}/R_h} > U_\phi$$

Прикосновение к заземленному проводу.

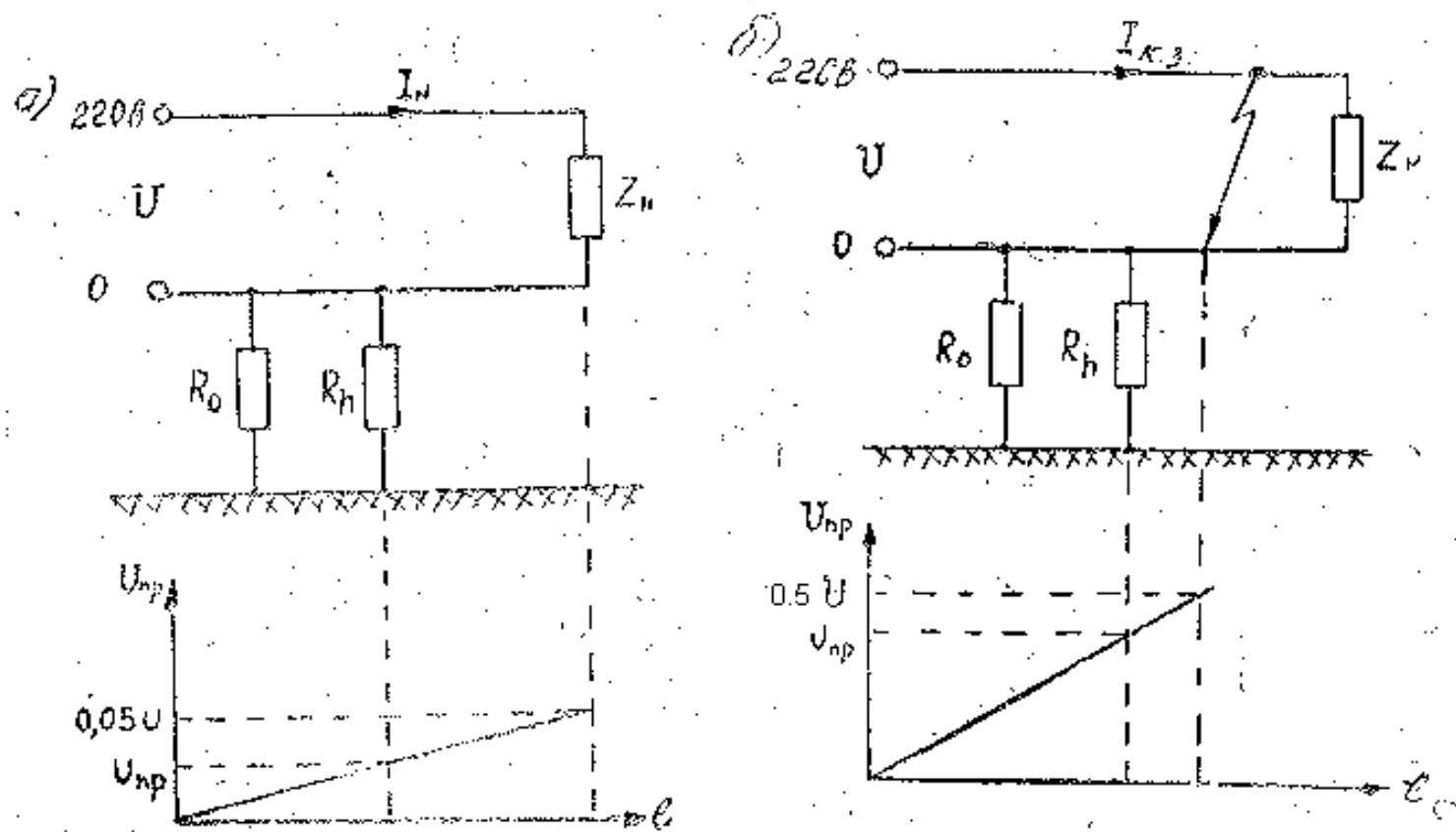


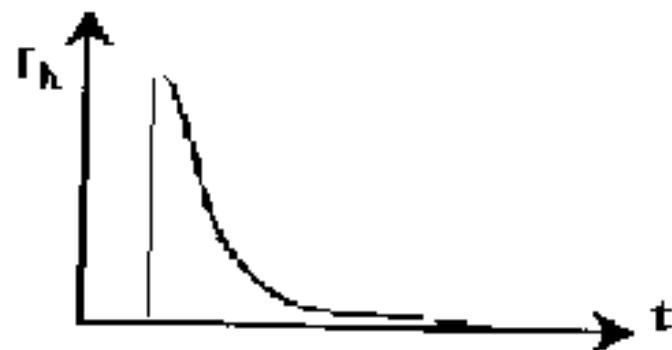
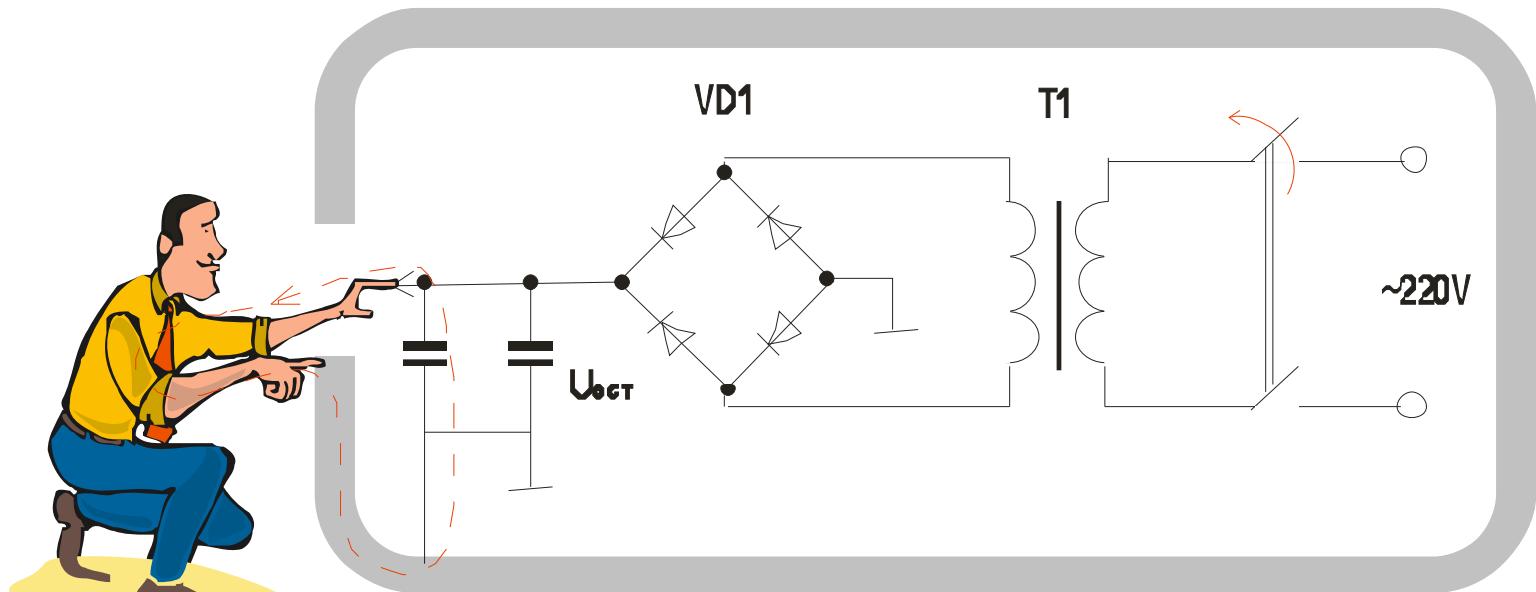
Рис. 2. Эквивалентная схема прикосновения человека к заземленному нулевому проводу: а — в нормальном режиме; б — в режиме короткого замыкания

$$U_{\text{пр}} = I_H r_n$$

$$\Delta U_{\text{ном}} = 5\% U_{\text{раб}}$$

$$\Delta U_{\text{авар}} \rightarrow 50\% U_{\text{раб}}$$

Остаточный заряд

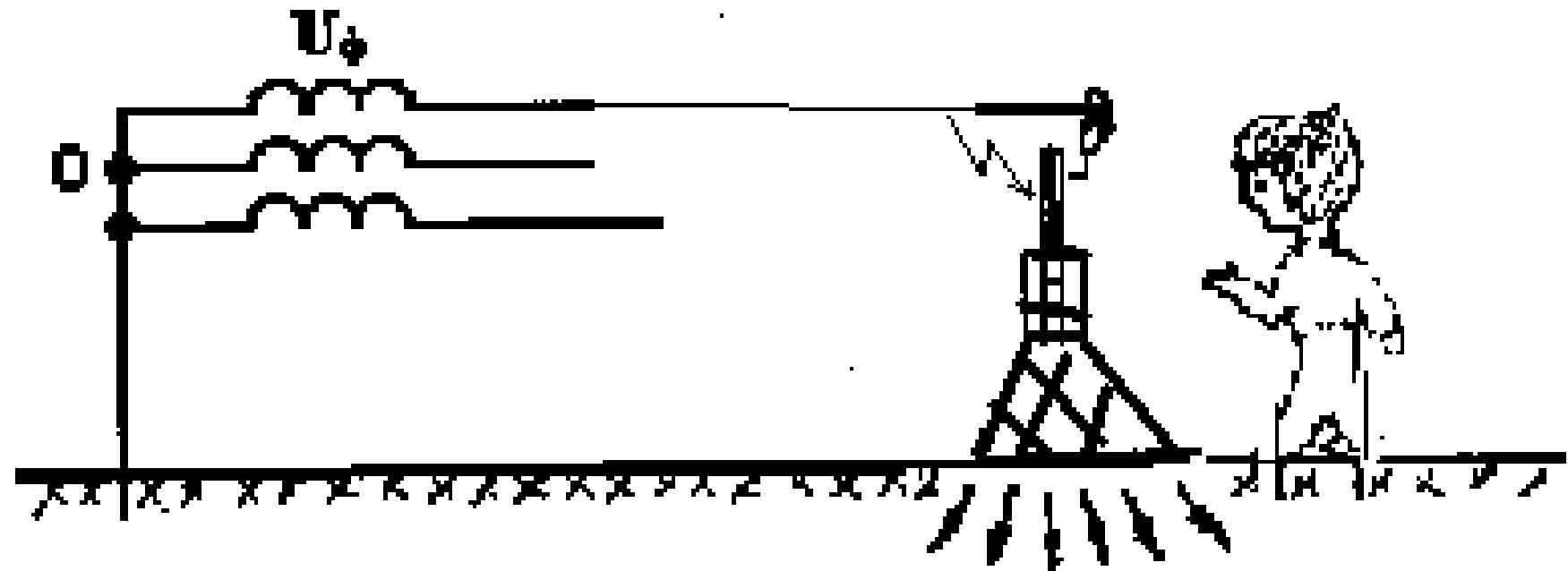


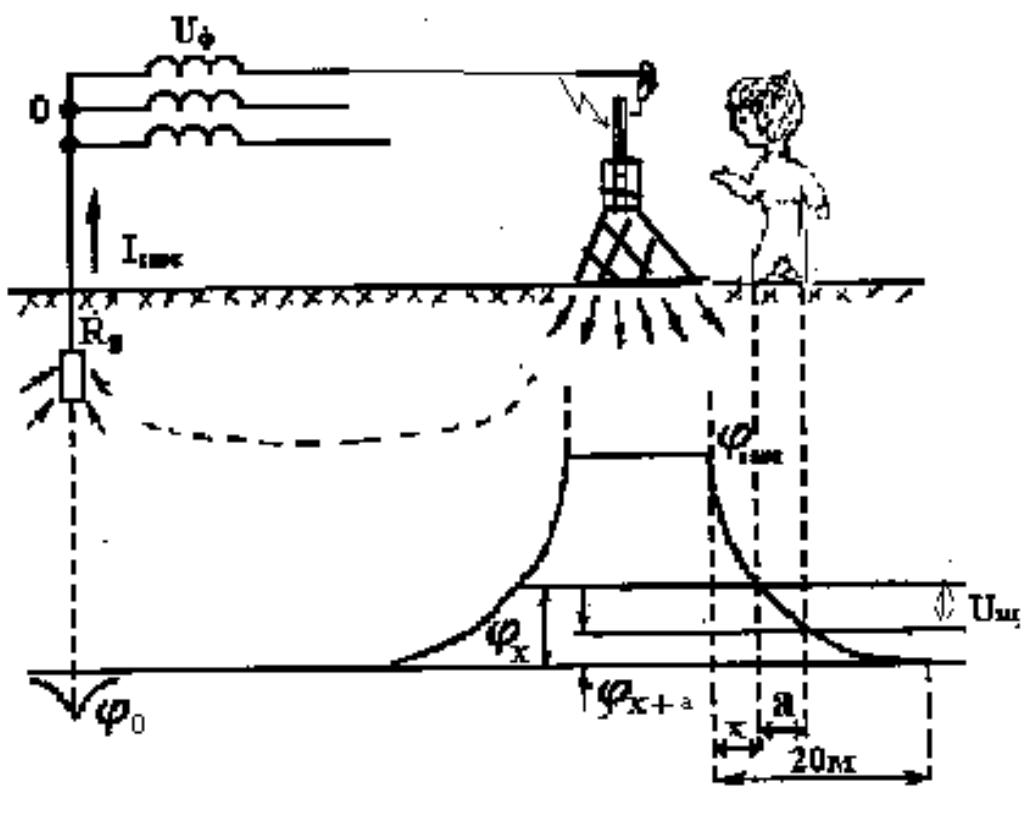
$$I_h = U_0 / R_h \cdot \exp(-t / R_h C)$$

После снятия рабочего напряжения не берись за токоведущие части, предварительно не разрядив емкости!

Напряжение шага

Первопричина - приближение человека к месту замыкания токоведущих частей на землю.





Поперечное сечение проводящего слоя земли можно принять за полусферу, площадь поверхности которой

$$S = 2\pi x^2,$$

где x - расстояние от опоры.

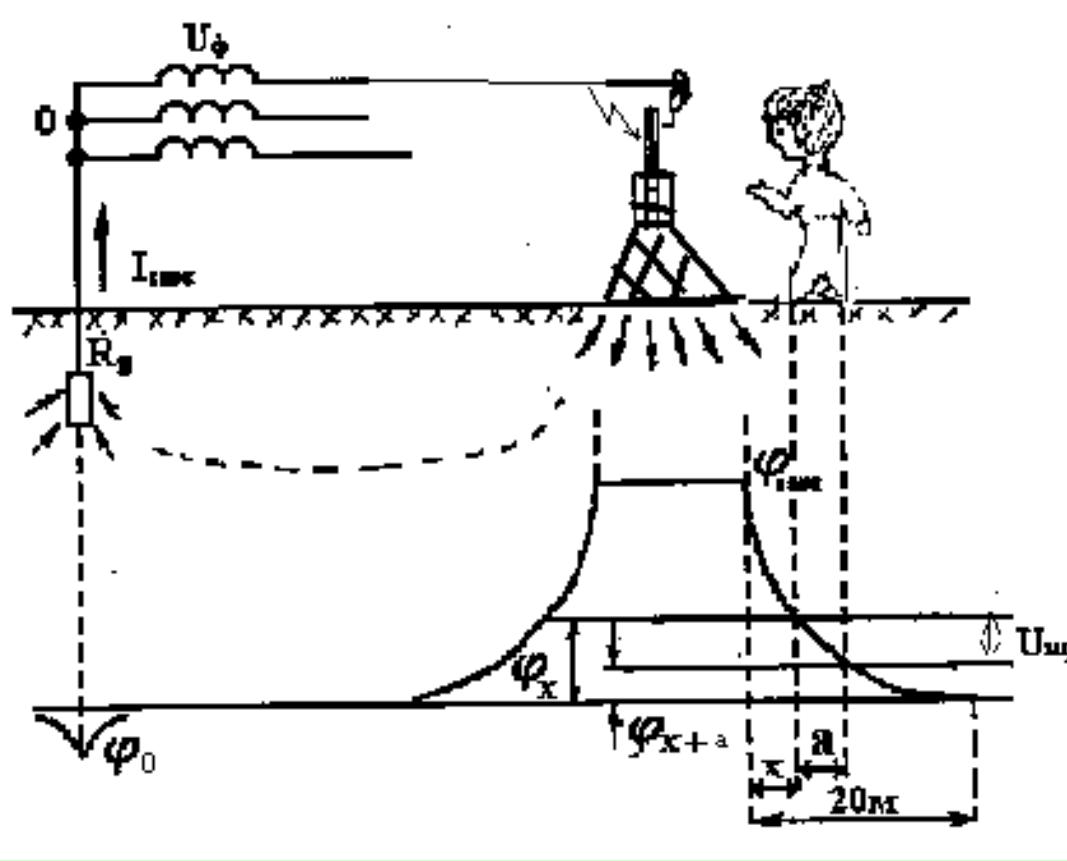
Плотность тока в земле
 $j = I_{зам} / S = I_{зам} / (2\pi x^2)$

Электрические потенциалы в зоне растекания тока

$$\varphi_{max} = I_{зам} R_{зам} = \frac{\rho I_{зам}}{2\pi x_3}$$

$$\varphi_x = \frac{\rho I_{зам}}{2\pi x} = \frac{\kappa}{x}$$

где $R_{зам}$ - сопротивление зоны растекания тока.

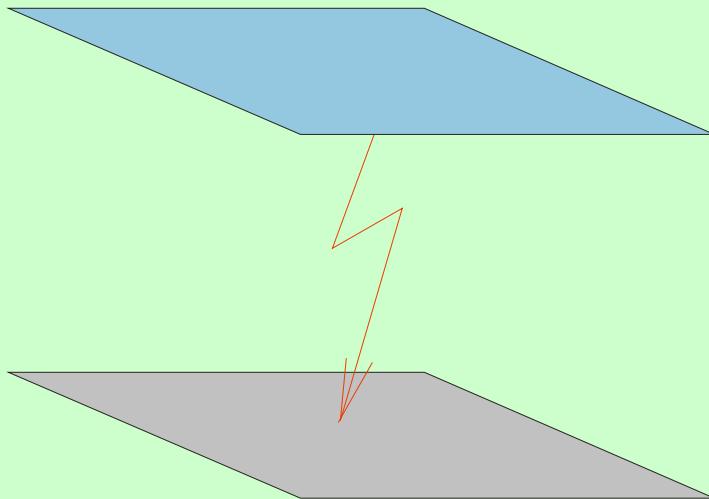


Напряжением шага называется разность потенциалов двух точек поверхности земли, на которых находится человек.
 (в расчетах ширина шага принимается равной $a=0,8\text{м}$)

$$U_{ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a}$$

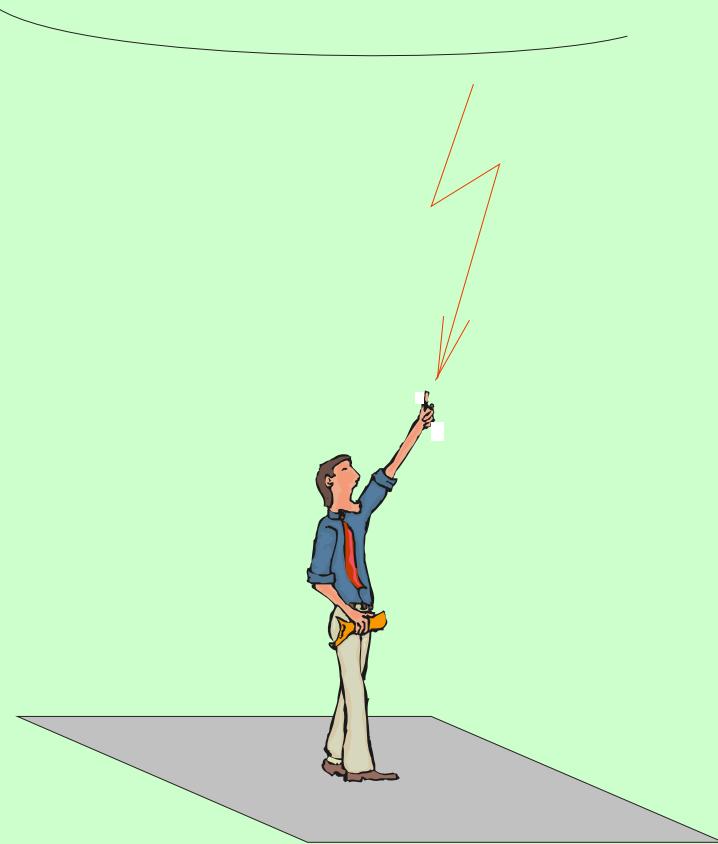
$$U_{ш} = \frac{I_{зам}\rho}{2\pi} \cdot \frac{a}{x^2 + ax}$$

Равномерное
электрическое поле
(плоскость – плоскость)



$$U_{\text{проб}} = 3 \dots 4 \text{ кВ/мм}$$

Неравномерное электрическое
поле (линия – игла)



$$U_{\text{проб}} < 0.4 \text{ кВ/мм}$$

Заряд статического электричества

Заряды статического электричества образуются при перемещении (трении) твердых, жидких или газообразных диэлектриков относительно других проводящих или непроводящих ток материалов:

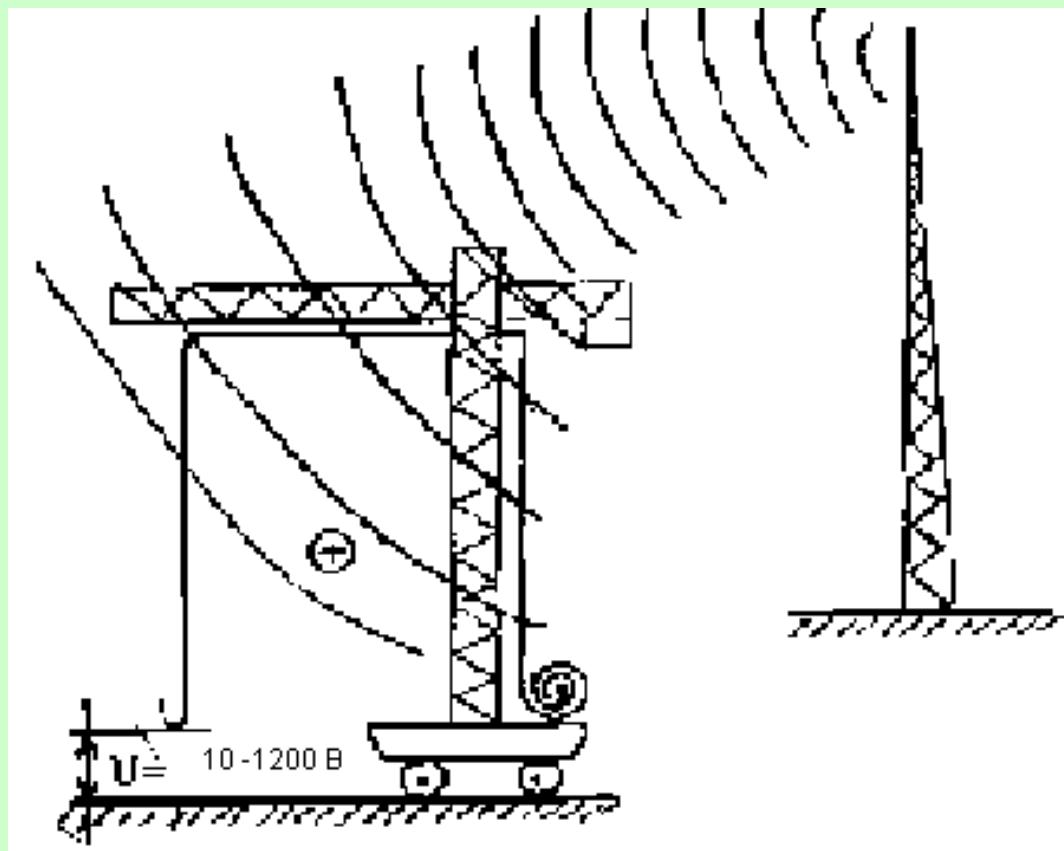
- ❖ **перемещение жидкостей** (транспортировка по трубопроводам, колебания в цистернах и т.п.);
- ❖ **перемещение частиц пыли в воздухе или при транспортировке** (электризация угольной, мучной пыли);
- ❖ **шлифовка металлов и неметаллов;**
- ❖ **деформация изоляционных материалов ;**
- ❖ **разделение складок ткани одежды.**

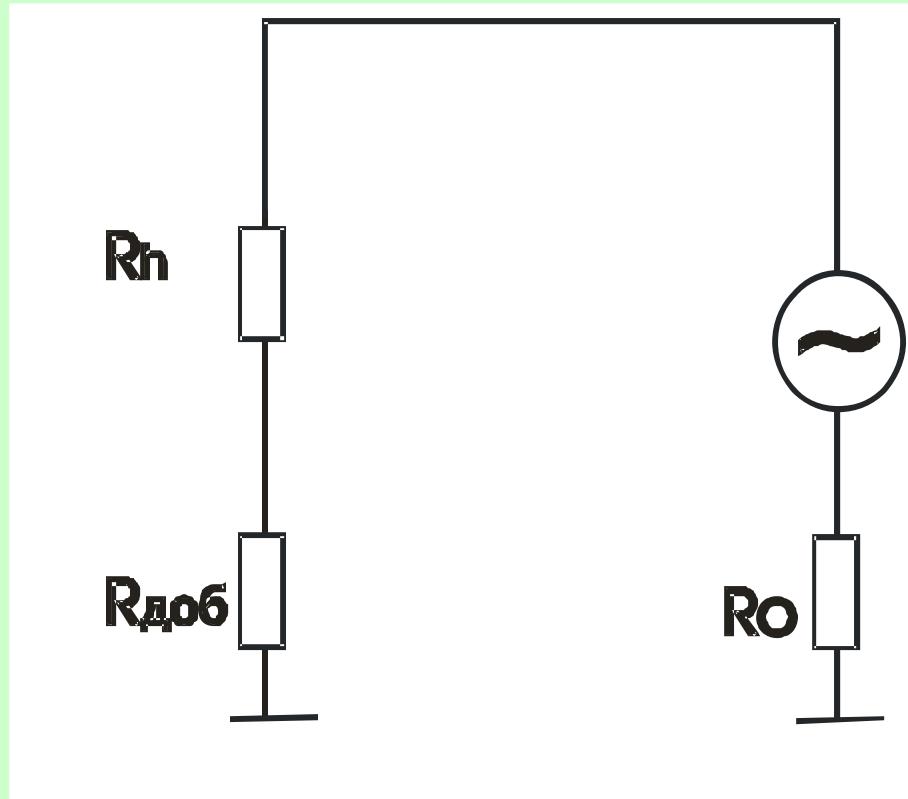
Основные способы защиты от статического электричества:

- forall• заземление оборудования, сосудов и коммуникаций, в которых накапливается статическое электричество;
- forall• увеличение поверхностной проводимости диэлектриков;
- forall• увлажнение окружающего воздуха;
- forall• ионизация воздуха или среды нейтрализаторами статического электричества;
- forall• подбор контактных пар.

Наведенный заряд

Наведенные заряды формируются на металлических предметах в зоне действия электромагнитных полей по законам электромагнитной индукции.





$$U_{ист} = 220 \text{ В}$$

$$R_h \sim 1 \text{ кОм}$$

$$R_o \sim 10 \text{ Ом} \quad \text{-пренебрегаем}$$

$$R_{доб} \text{ -?}$$

Сопротивление растеканию тока пола, на котором стоит человек

Материал пола	Степень влажности пола	
	Сухой	Мокрый
Бетон	2000 кОм	0,1 кОм

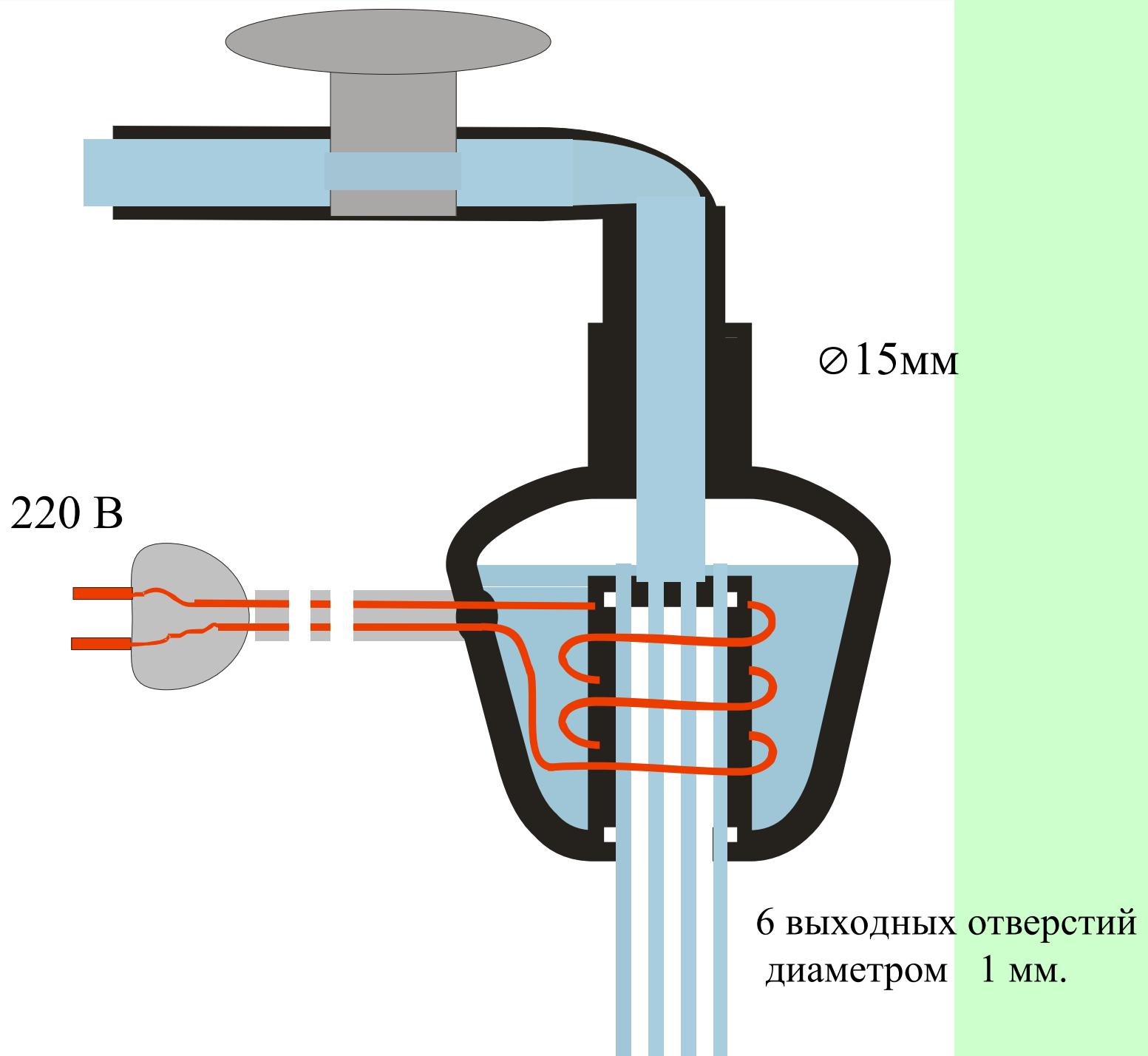
$$U_{np} = U_{ucm} \frac{R_h}{R_h + R_{\partial ob}}$$

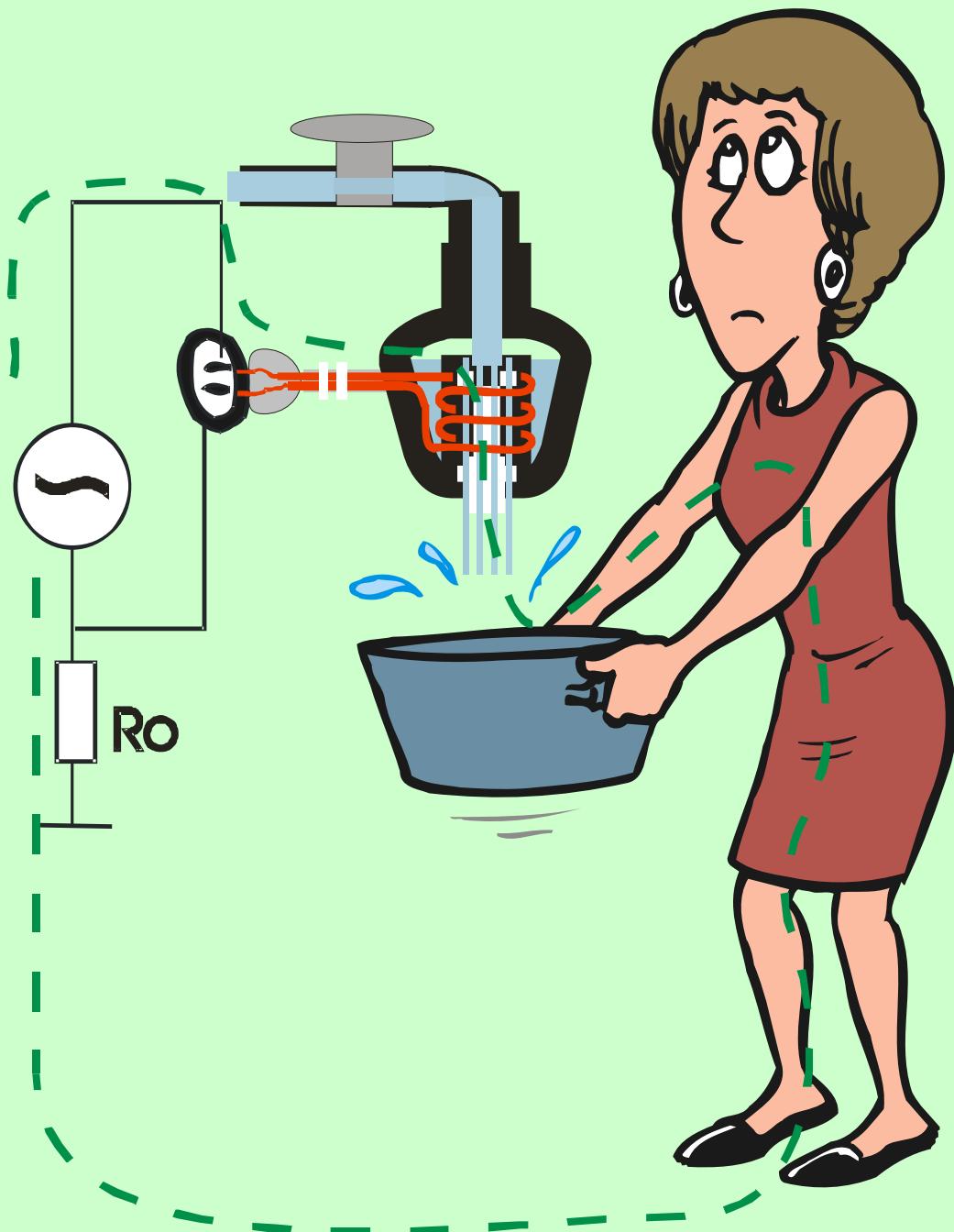
Если $R_{\partial ob} = 2000 \text{ кОм}$ $U_{np} = 220 \frac{4000}{4000 + 2000000} = 0.439 \text{ В}$

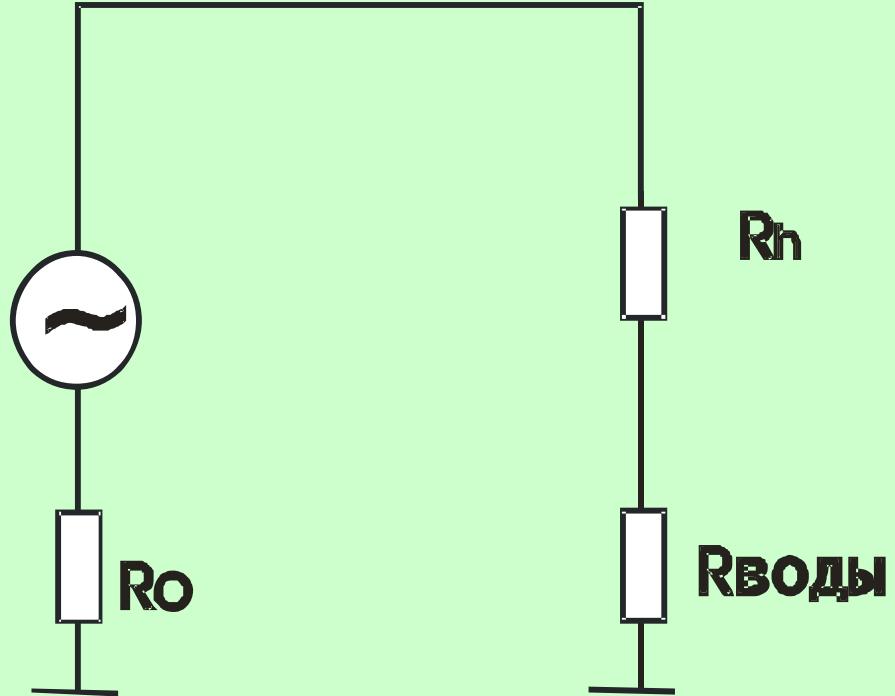
$I_h = U_{np} / R_h = 0.439 / 4000 = 0.1 \text{ мА} < \text{ПОТ} - \text{даже не почувствует}$

Если $R_{\partial ob} = 0.1 \text{ кОм}$ $U_{np} = 220 \frac{1000}{1000 + 100} = 200 \text{ В}$

$I_h = U_{np} / R_h = 200 / 1000 = 200 \text{ мА} > \text{фибрилл. тока} - \text{опасно}$







$$U_{np} = U_{ucm} \frac{R_h}{R_h + R_{воды} + R_0}$$

$$R_{воды} = \rho \frac{l_{струи}}{S_{струи}}$$

Удельное сопротивление ρ
водопроводной воды - 50 Ом·м,
речной воды - 10 Ом·м.

$$l_{cmyu} \geq 5 \text{ см} = 0.05 \text{ м} \quad S_{cmyu} = 6 \cdot \pi \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 4.7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$R_{воды} = 0.5 \dots 2.5 M\Omega$$

$$U_{np} = 220 \frac{4000}{4000 + 500000 + 4} = 1,7 B \quad \text{Не опасно}$$

$$l_{cmyu} \geq 5 \text{ см} = 0.05 \text{ м} \quad S_{cmyu} = \pi \cdot (15 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$R_{воды} = 2.8 \dots 14 \kappa\Omega\text{м}$$

$$U_{np} = 220 \frac{4000}{4000 + 2800 + 4} = 130 B$$

$$U_{np} = 220 \frac{1000}{1000 + 2800 + 4} = 57,8 B \quad \text{Опасно!}$$

Организационные защитные мероприятия от поражения электрическим током

- ❖ обучение (анализ принципов безопасной работы, моральное воздействие),
- ❖ аттестация (проверка знаний, присвоение квалификационной группы по электробезопасности I-V)
- ❖ инструктажи (вводный, текущий) -привязка общих знаний к предстоящей конкретной деятельности,
- ❖ проверки (плановые, контрольные).

ПОТ РМ-016-2001

Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок

Технические защитные мероприятия от поражения электрическим током

- ◆ Исключения (уменьшения вероятности) прикосновения к токоведущим частям вообще или только находящимся под рабочим напряжением.
- ◆ Исключение возможности (уменьшение вероятности) выноса напряжения сети на нетоковедущие части
- ◆ Уменьшения величины напряжения прикосновения
- ◆ Уменьшения длительности протекания через тело человека опасного по величине тока

1. Недоступность токоведущих частей.
 2. Малые напряжения.
 3. Защитное заземление
 4. Зануление
 5. Защитное отключение
 6. Защита от опасности перехода высокого напряжения на сторону низшего
 7. Защитное разделение сетей
 8. Выравнивание и уравнивание потенциалов
 9. Защитное шунтирование
 10. Двойная изоляция
 11. Компенсация емкостных токов
 12. Дополнительные защитные средства.
-
14. Контроль изоляции.
 15. Предупреждающая сигнализация, надписи и плакаты

Основная защита
от прямого
прикосновения

Выбор вида технических средств защиты зависит от:

- степени опасности поражения электрическим током, определяемой:
 - а) параметрами электрической сети (рабочее напряжение, уровни сопротивления изоляции и емкости относительно земли, режим нейтрали и пр.),
 - б) уровнем квалификации персонала,
 - в) условиями размещения оборудования.
- требований к обеспечению непрерывности питания электроприемников,
- экономических соображений.

Квалификация персонала:

- электротехнический персонал (*электропомещения*)
- производственный персонал (*производственные помещения*)
- население (*общественные и бытовые помещения, ...*)

Категории помещений по степени опасности поражения электрическим током

- без повышенной опасности
- с повышенной опасностью
- особо опасные

Признаки повышенной опасности (1 из 5):

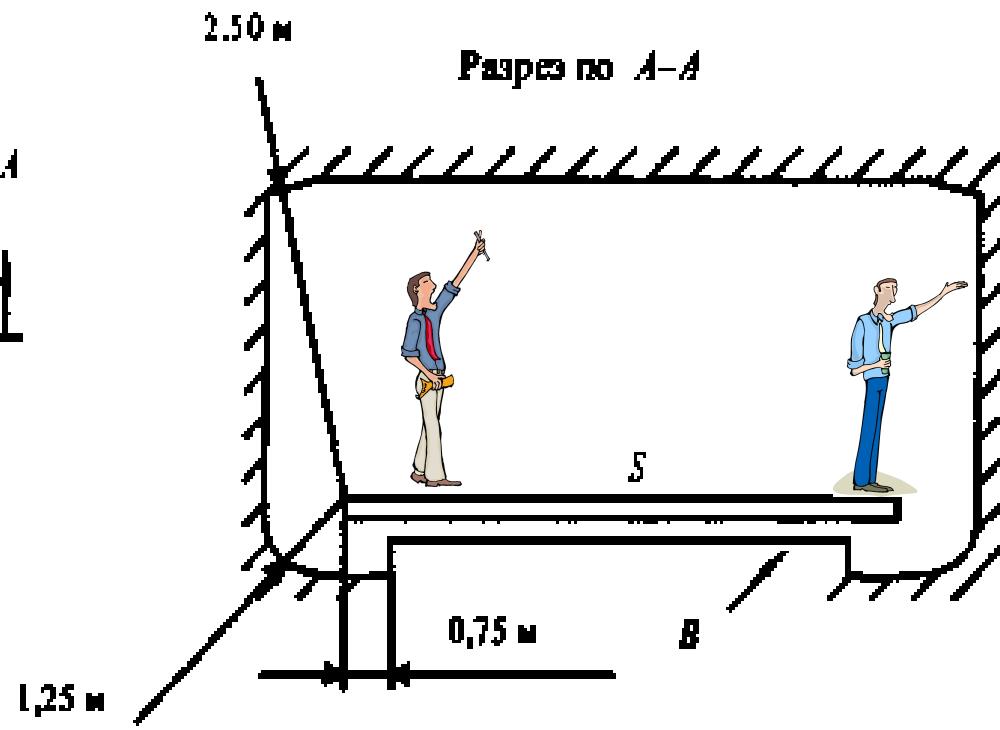
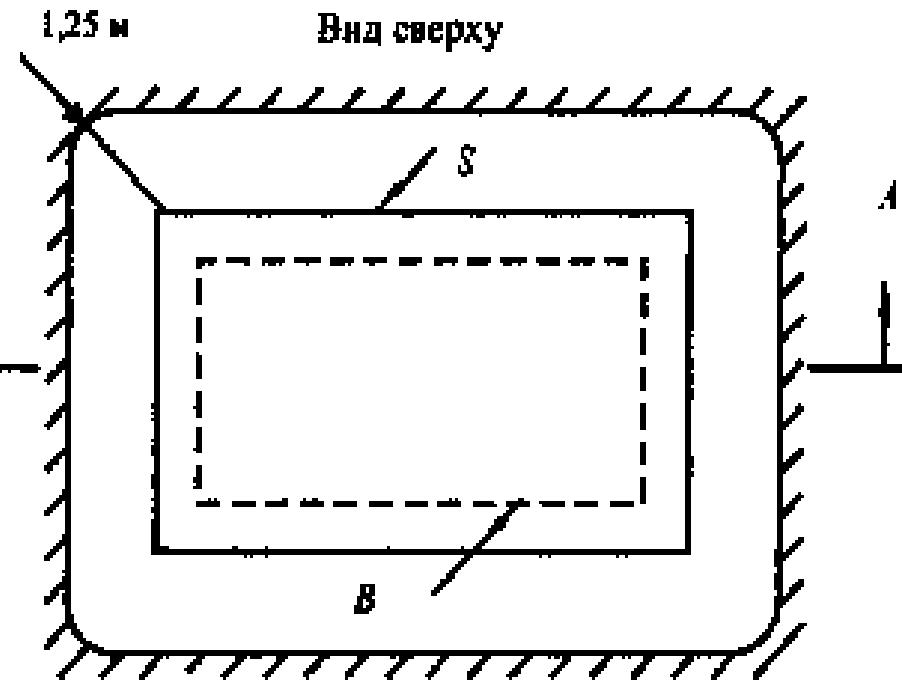
- а) сырость (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%);**
- б) токопроводящая пыль (технологическая пыль может оседать на провода, проникать внутрь корпусов электротехнических изделий);**
- в) высокая температура (температура постоянно или периодически - более 1 суток - превышает 35 С);**
- г) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);**
- д) возможность прикосновения человека одновременно к металлическому корпусу прибора и к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п.**

Признаки особой опасности помещений :

- а) особая сырость (относительная влажность воздуха близка к 100% - влагой покрыты потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении);**
- б) химически активная или органическая среда (постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования);**
- в) одновременное наличие двух и более признаков повышенной опасности.**

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕДОСТУПНОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

- электрическая изоляция токоведущих частей,
- расположение токоведущих частей вне зон досягаемости,
- корпуса устройств, ограждения, барьеры
- блокировки, сигнализации, маркировки, отличительная окраска



Зона досягаемости в электроустановках до 1 кВ:

S - поверхность, на которой может находиться человек;

- граница зоны досягаемости токоведущих частей рукой человека, находящегося на поверхности *S*;

0,75; 1,25; 2,50 м - расстояния от края поверхности *S* до границы зоны досягаемости

ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89)

**СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЕМЫЕ
ОБОЛОЧКАМИ (КОД IP)**

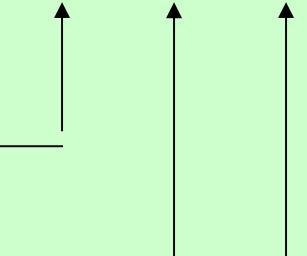
Буквы кода

(Международная защита)
(International Protection)

Задача людей от доступа к опасным частям
и от проникновения внешних твердых предметов
(цифры от 0 до 6 либо буква X)

защиты оборудования от вредного воздействия
в результате проникновения воды
(цифры от 0 до 8 либо буква X)

I P 2 3



0 - Защита от прикосновения и от попадания твердых посторонних предметов внутрь корпуса **отсутствует**

1 - Исключена возможность прикосновения большим участком тела; защита от попадания внутрь корпуса твердых посторонних предметов диаметром более 52,5 мм.

2 - Защита от возможности прикосновения пальцами; защита от попадания внутрь корпуса предметов диаметром более 12,5 мм.

3 - Защита от возможности прикосновения проволокой, предметами толщиной более 2,5 мм; защита от попадания внутрь корпуса предметов диаметром более 2,5 мм.

4 - Защита от возможности прикосновения предметами толщиной более 1 мм. Защита от попадания внутрь корпуса тел диаметром более 1 мм.

5 - Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими частями; защита оборудования от вредных отложений пыли.

6 - Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями; полная защита оборудования от попадания пыли.

Защита токоведущих частей от проникновения воды через корпус изделия:

- 0 - защита отсутствует;
- 1 - защита от падающих сверху капель конденсата;
- 2 - защита от капель воды, падающих под углом 15°;
- 3 - защита от дождя;
- 4 - защита от брызг;
- 5 - защита от водяных струй;
- 6 - защита от захлестывания волной;
- 7 - защита при кратковременном погружении в воду;
- 8 - защита при длительном погружении в воду.

Для наружных установок IP44

Лабораторное оборудование IP20.

БЛОКИРОВКА

Блокировка предотвращает ошибочные действия оператора и исключает возможность доступа к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

СИГНАЛИЗАЦИЯ

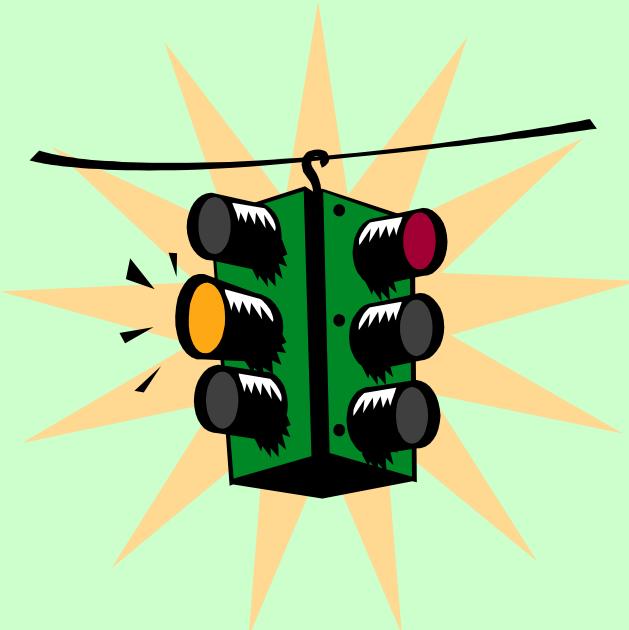
ГОСТ Р 12.4.026-2001 ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики.

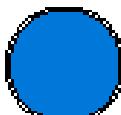
Для световых сигналов должны применяться следующие цвета:

красный - запрещающие и аварийные сигналы, предупреждение о перегрузках, неправильных действиях, опасности и о состоянии, требующем немедленного вмешательства;

желтый - привлечение внимания (предупреждение о достижении предельных значений, о переходе на автоматическую работу и т.п.);

зеленый - сигнализация безопасности (нормальный режим работы, разрешение на начало действия и т.п.);



Группа	Геометрическая форма			
Запрещающие знаки	Круг с поперечной полосой			
Предупреждающие знаки	Треугольник			
Предписывающие знаки	Круг			
Знаки пожарной безопасности*	Квадрат или прямоугольник			
Эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения	Квадрат или прямоугольник			
Указательные знаки	Квадрат или прямоугольник			

МАРКИРОВКА

ГОСТ Р 50462 «Идентификация проводников по цветам или цифровым обозначениям».



Проводники защитного заземления, а также нулевые защитные проводники, должны иметь буквенное обозначение ***PE*** и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными **полосами желтого и зеленого цветов**.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой ***N*** и **голубым** цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение ***PEN*** и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах.

Шины должны быть обозначены:

- 1) при переменном трехфазном токе: шины фазы *A* - желтым,
фазы *B* — зеленым,
фазы *C* - красным цветами;
- 2) при переменном однофазном токе шина *B*, присоединенная к концу обмотки источника питания, - красным цветом,
шина *A*, присоединенная к началу обмотки источника питания, - желтым цветом.
- 3) при постоянном токе:
положительная шина (+) - **красным** цветом,
отрицательная (-) – **синим**,
нулевая рабочая *M* - **голубым** цветом.

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В зависимости от категории помещения нормируется максимально допустимое рабочее напряжение приемников электроэнергии, эксплуатируемых без средств защиты

Защита от прямого прикосновения (недоступность токоведущих частей) не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает:

в помещениях без повышенной опасности \sim =
 25 В 60 В

в помещениях с повышенной опасностью,
особо опасных и в наружных установках 6 В 15 В

Зашита при косвенном прикосновении
требуется при рабочих напряжениях более:

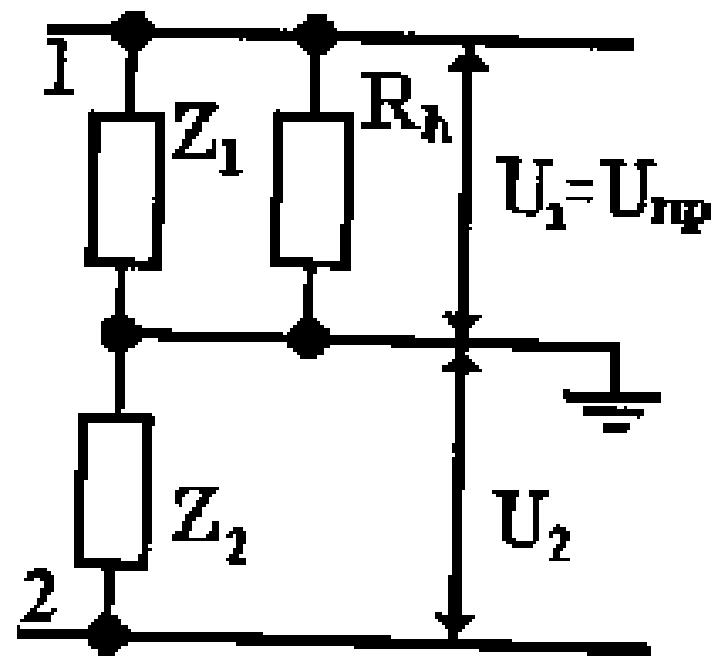
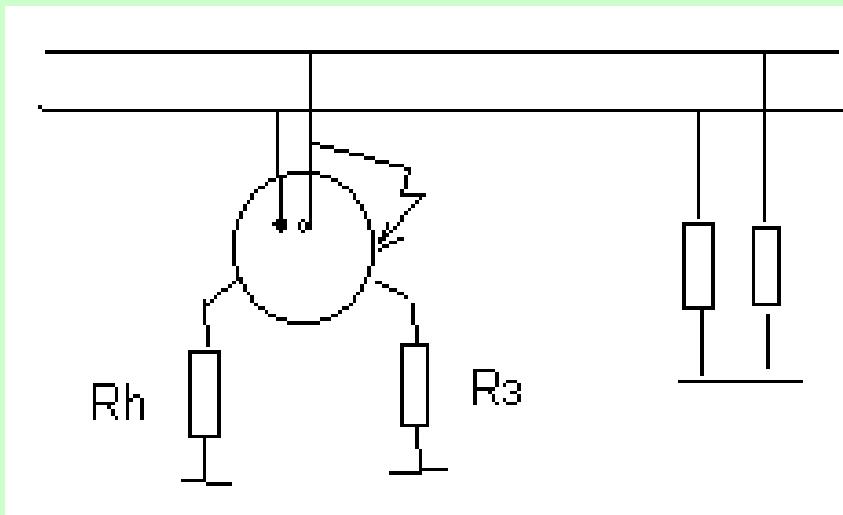
Категория помещения	Максимальное рабочее напряжение, В	
	Постоянное	Переменное
Без повышенной опасности	120	50
С повышенной опасностью	60	25
Особо опасное	30	12

Защитное заземление

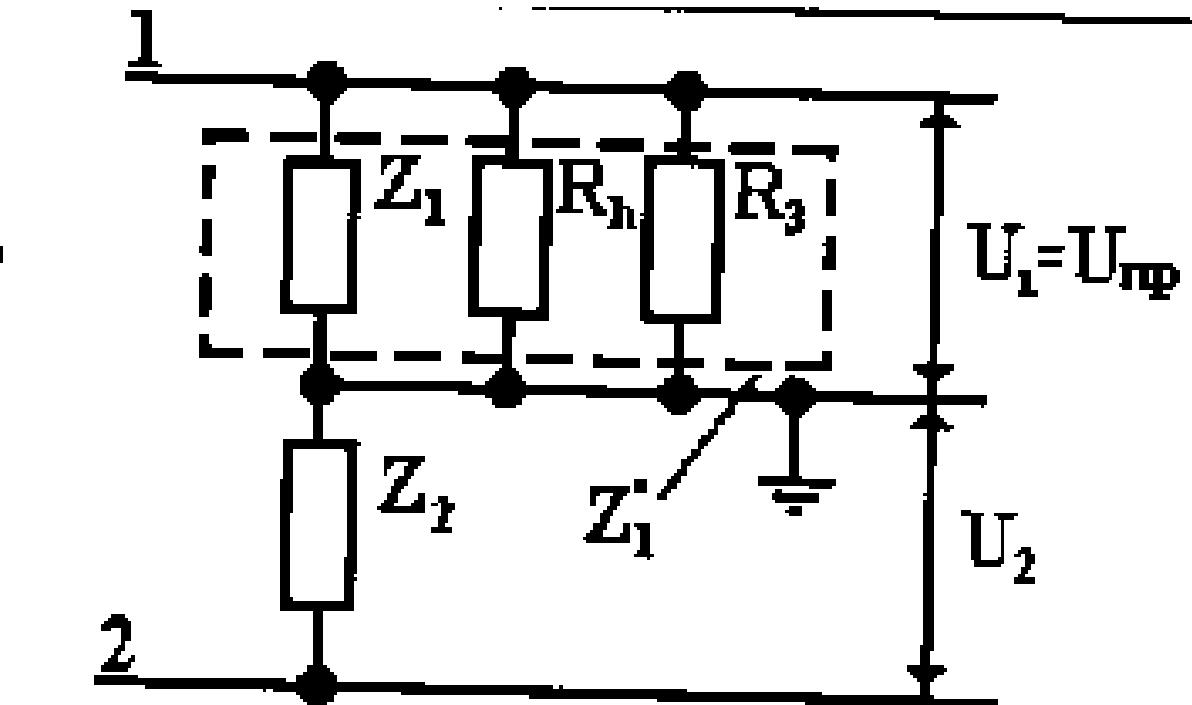
Защитное заземление - намеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей, могущих оказаться под напряжением.

При наличии защитного заземления в случае повреждения электрической изоляции (замыкание фазы на корпус электроприемника) рабочее напряжение с приемника электроэнергии не снимается, но напряжение прикосновения уменьшается до безопасного значения.

Защитное заземление не защищает от других вариантов поражения током, кроме случая прикосновения к корпусу устройства с поврежденной изоляцией.

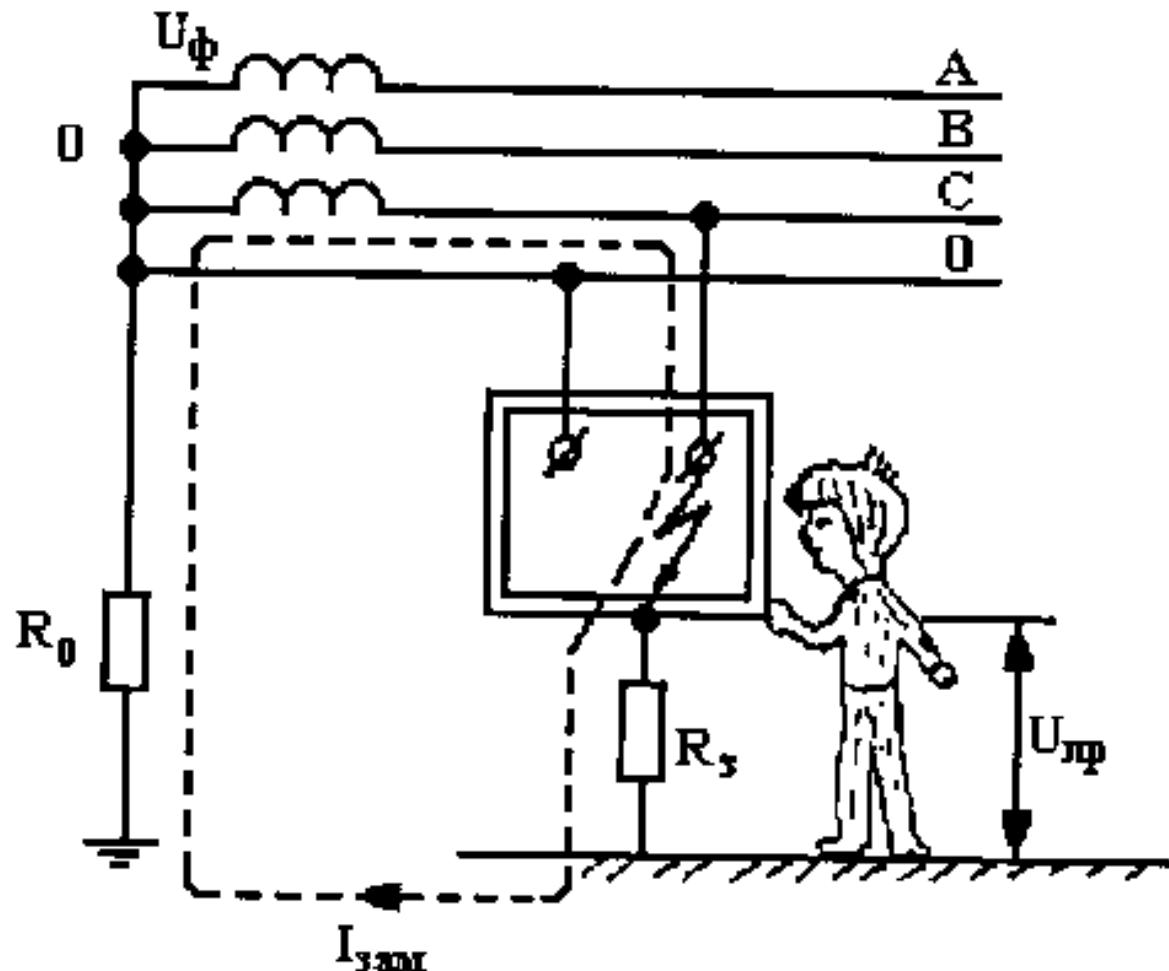


$$R_3 \ll R_h, Z_1$$



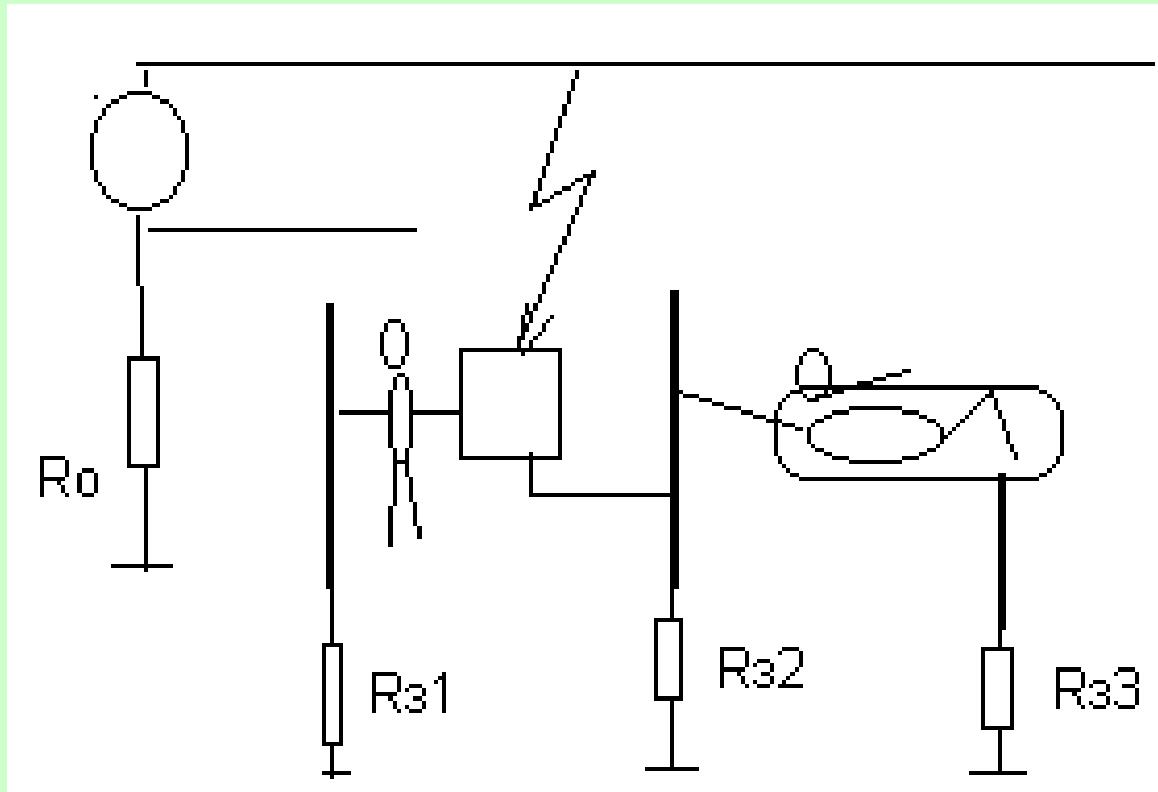
$$Z_1' \ll Z_2 \quad U_{\text{np}} = U_1' \rightarrow 0$$

НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СЕТЯХ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ



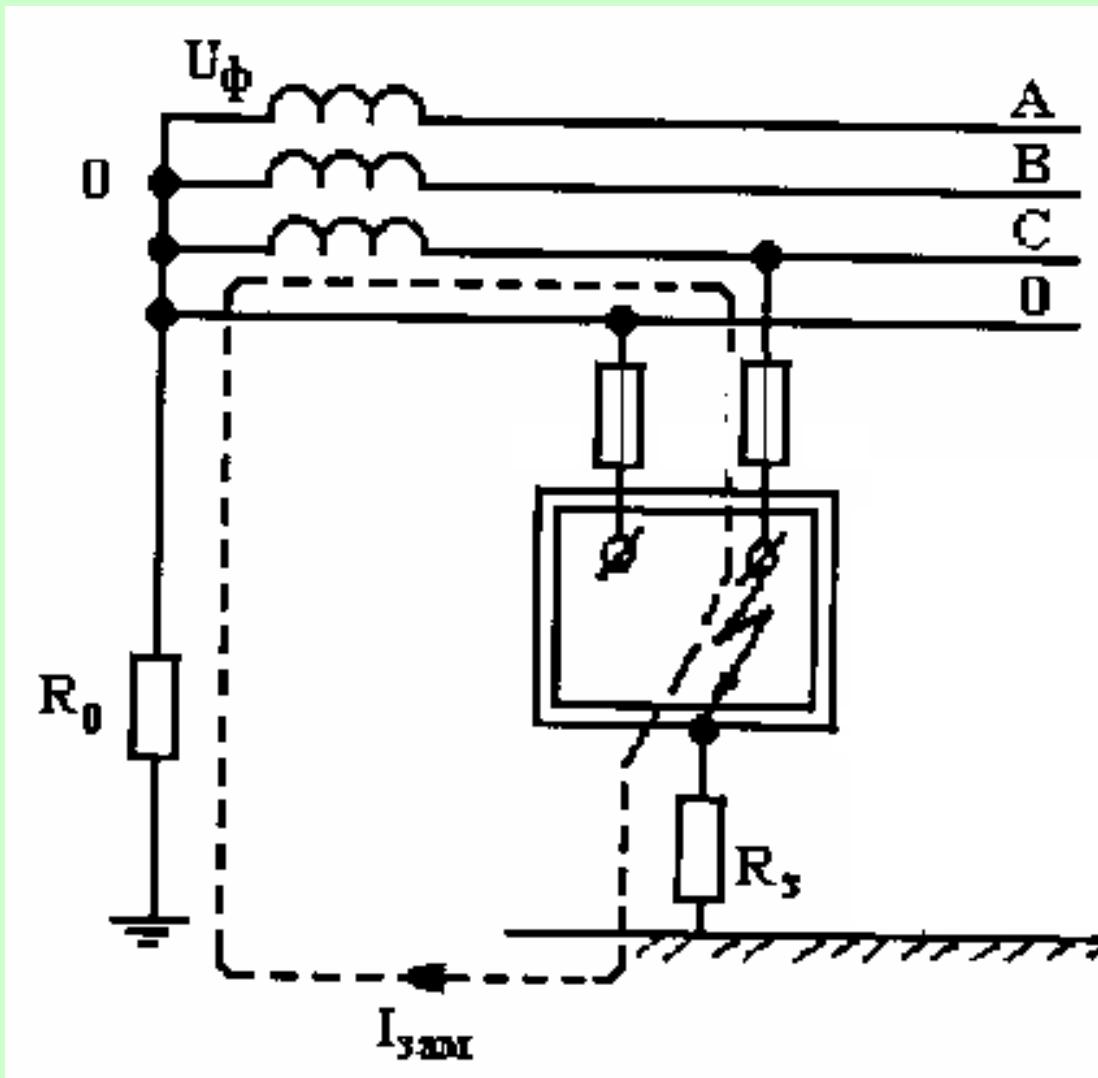
$$R_3 \approx R_0 \quad U_{\text{пр}} \approx U/2.$$

ОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ И ПОДОБНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ



Использование металлоконструкций, связанных с землей, в
целях **заземления** корпусов электротехнических изделий
в **сетях с глухозаземленной нейтралью** (полюсом)
ЗАПРЕЩЕНО Правилами устройства электроустановок !

Защитное заземление в высоковольтных сетях с глухозаземленной нейтралью



$$I_{зам} = U_\phi / (R_3 + R_0)$$

$$R_3 \approx R_0 < 0.5 \text{ Om}$$

$$U_\phi > 1000 \text{ В}$$

$$I_{зам} > 1000 \text{ А} > I_{потр}$$

⇒ Отключение

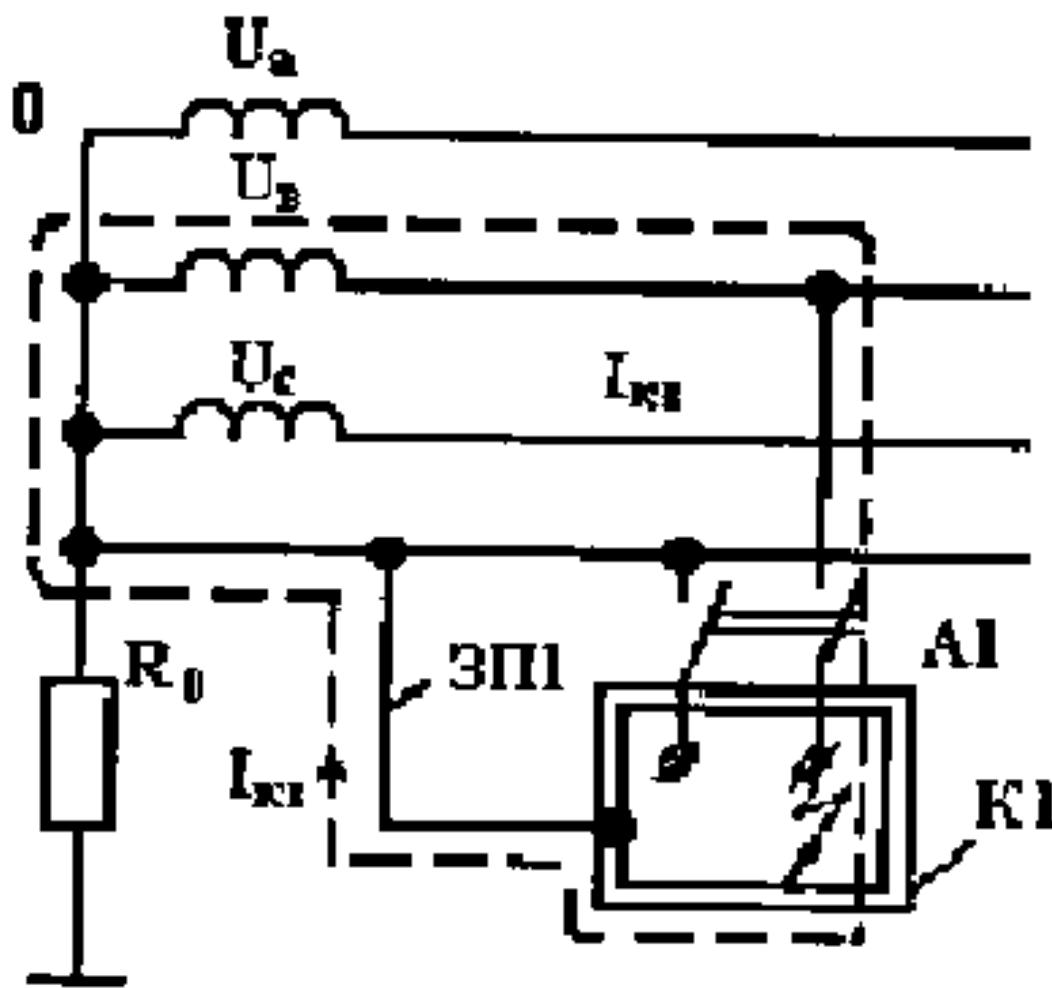
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Защитное заземление применяется

- >All• в электроустановках переменного тока с изолированной нейтралью при напряжении 380 В и выше и постоянного тока с изолированной средней точкой при напряжении 440 В и выше - *всегда* ;
- All• в электроустановках с изолированной от земли нейтралью (полюсом), если рабочее напряжение выше 50 (25, 12) В переменного и 120 (60, 30) В постоянного тока (в зависимости от категории опасности помещения) - *как вариант защиты*
- All• во взрывоопасных зонах - заземляются все нетоковедущие части независимо от значения рабочего напряжения электрооборудования
- в электроустановках с глухозаземленной нейтралью при напряжении более 1000 В - *всегда*

Зануление

- намеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей с многократно заземленным нулевым проводом питающей сети.



· ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАНУЛЕНИЯ

- в электроустановках переменного тока с глухозаземленной нейтралью (полюсом) при напряжении 380 В и выше и постоянного тока с заземленным полюсом (средней точкой) при напряжении 440 В и выше - *всегда* ;
- в электроустановках с заземленной нейтралью (полюсом), если рабочее напряжение выше 50 (25, 12) В переменного и 120 (60, 30) В постоянного тока (в зависимости от категории опасности помещения) - *как вариант защиты*
- во взрывоопасных зонах в электроустановках с заземленной нейтралью (полюсом) - независимо от значения рабочего напряжения электрооборудования - *всегда*.

РАСЧЕТ ЗАНУЛЕНИЯ

1. Выбор $I_{ном}$ _{TЗ}

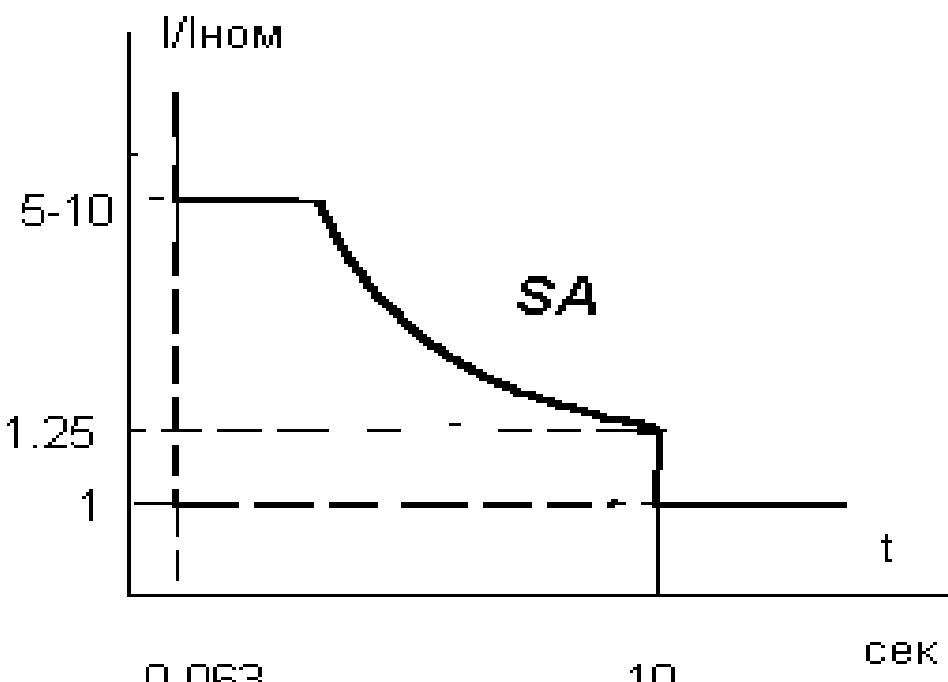
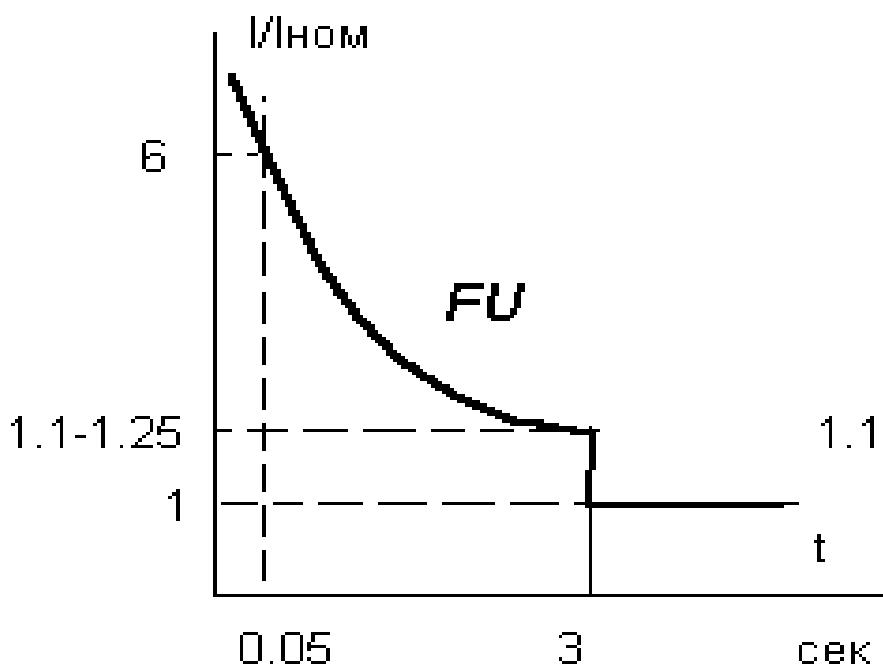
- $I_{ном}$ установки

- $I_{пуск} = k_1 I_{ном}$, $k_1 = 1.2$ – для активной нагрузки,

$k_1 = 5 - 6$ – электродвигатель

- Выбирают устройство ТЗ $I_{ном} \geq I_{пуск}$

2. Расчет тока замыкания $I_{змкн} \leq t_{h_{допуст}}$



3. Выбор провода

$$I_{K3} = \frac{U\phi}{R_{\Sigma}} = \frac{U\phi}{Z_T + Z_{\phi} + Z_{hn} + Z_{внупр}} \approx \frac{U\phi}{1.5 \cdot R_{внупр}}$$

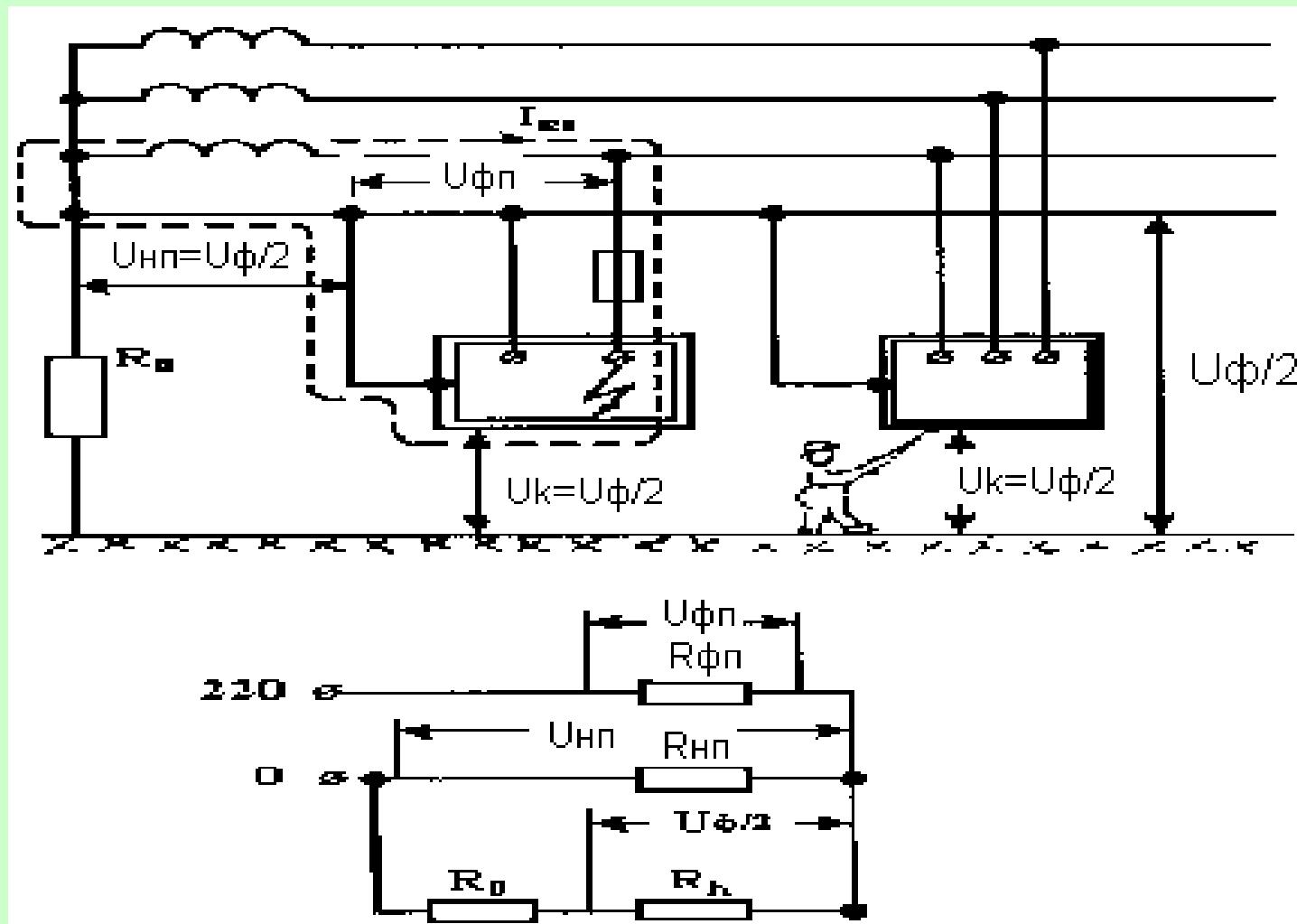
$$R_{внупр} = \frac{U}{1.5 \cdot I_{K3}} = \rho \frac{l}{S}$$

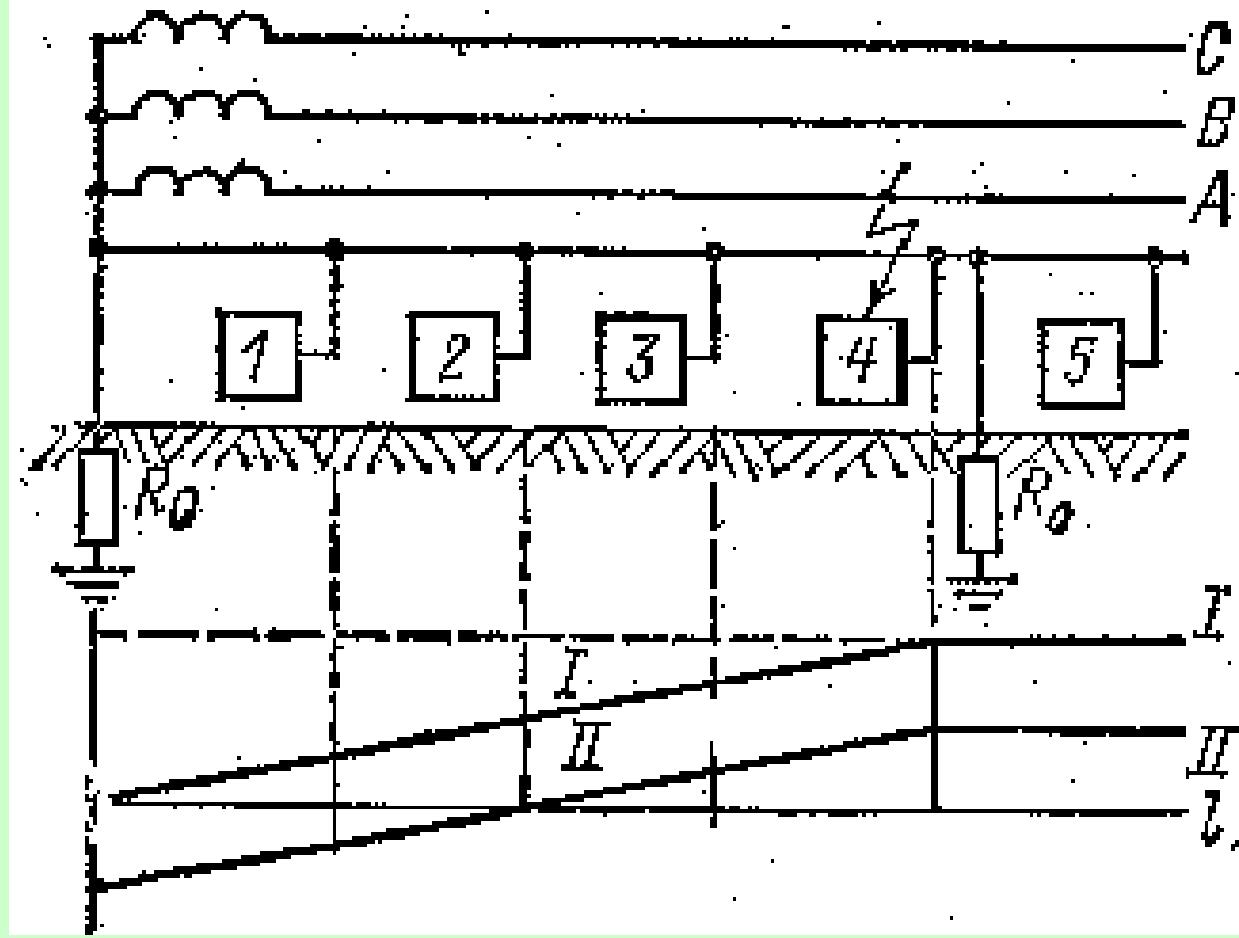
При этом по условиям механической прочности $S > S_{min}$, мм² :

Материал	Отдельный провод		Жила в кабеле (шнуре питания)
	неизолированный	изолированный	
меди	4	1.5	1 (0.35 – в бытовых приборах)
алюминий	6	2.5	2.5

ОПАСНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ В СИСТЕМЕ ЗАНУЛЕНИЯ

1. Несоответствие уставок срабатывания автоматических выключателей или номинальных токов плавких вставок предохранителей параметрам защищаемых цепей.





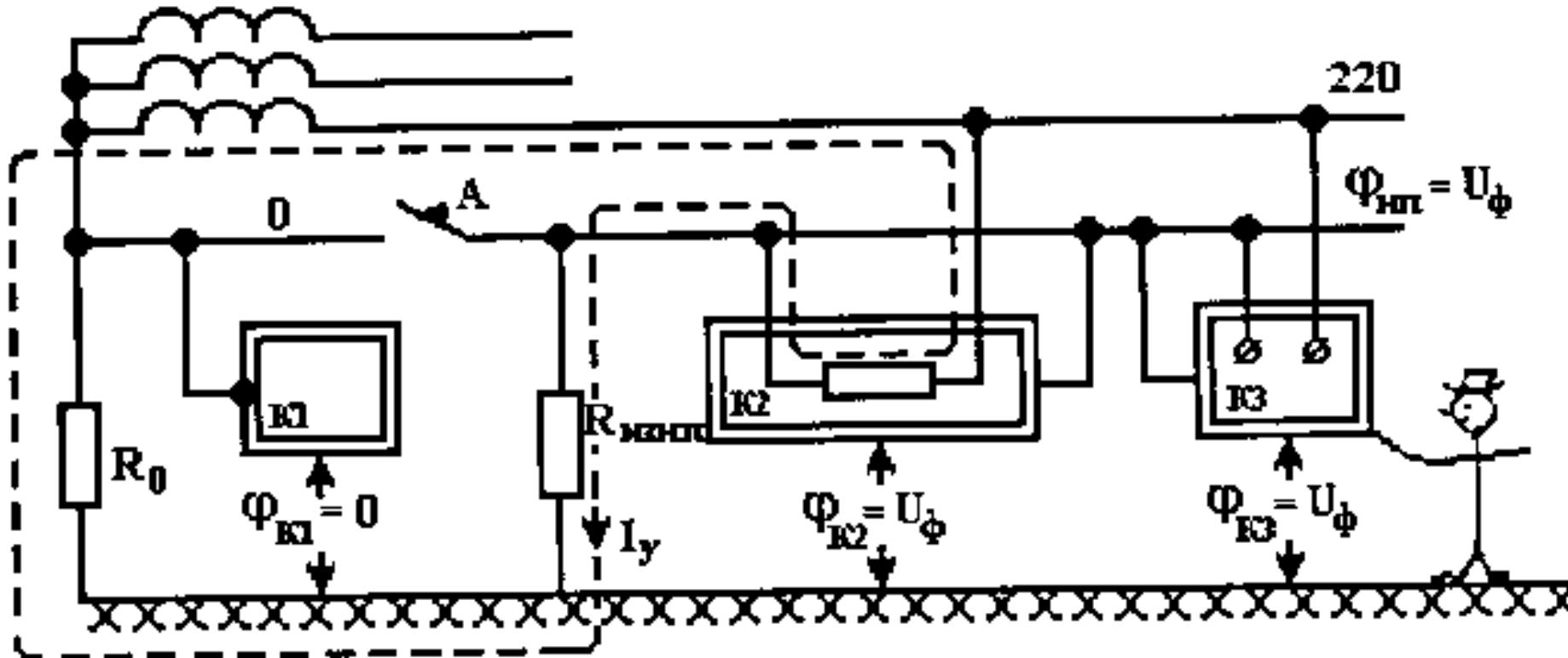
Распределение потенциалов вдоль нулевого провода:

I – без повторного заземления $U_{np}/3 = 0 - U_\phi/2$

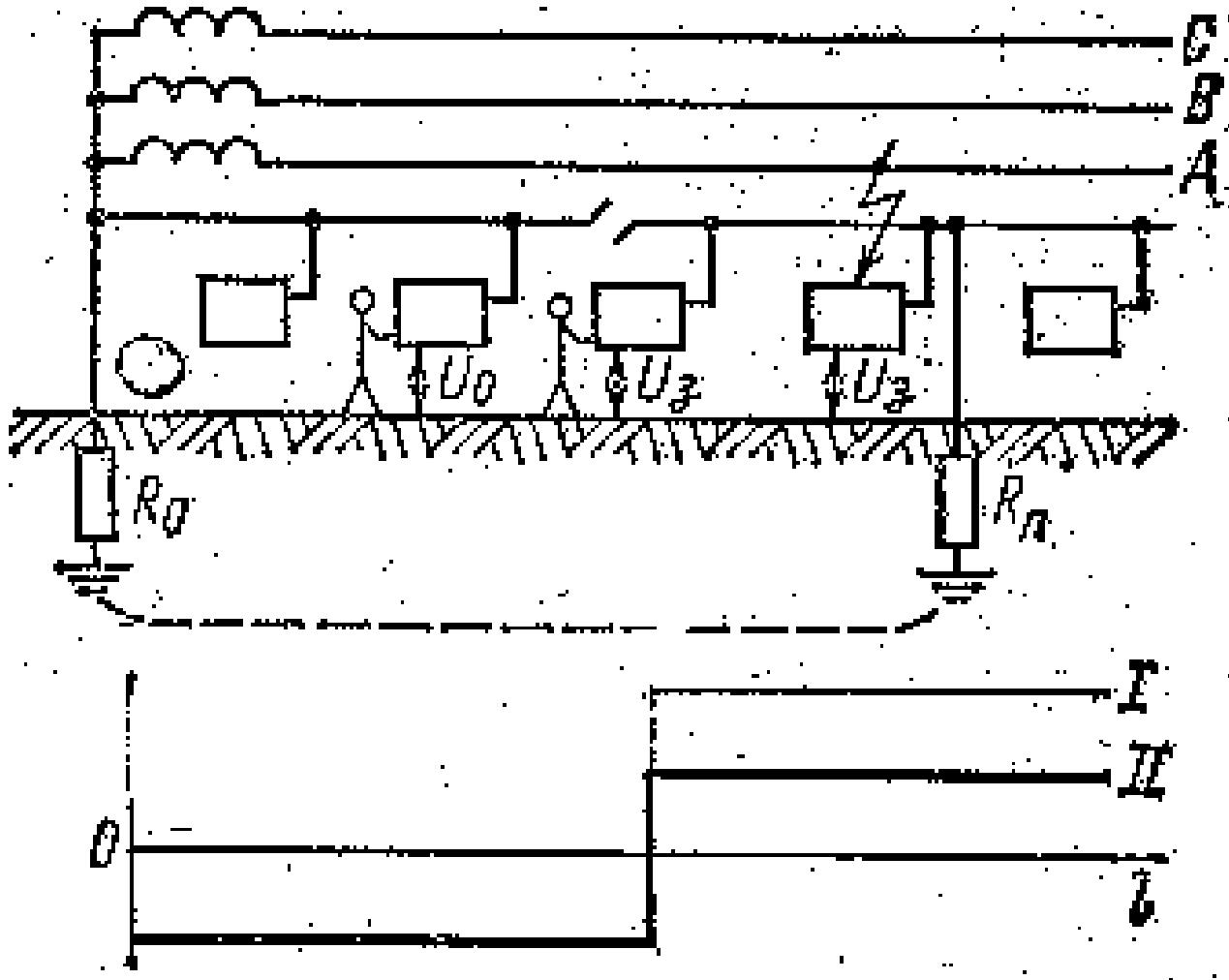
II- с повторным заземлением $U_{np}/3 = 0 - U_\phi/4$

Повторное заземление нулевого защитного проводника снижает напряжение на запуленных корпусах в период замыкания фазы на корпус.

2. Установка коммутационных аппаратов (рубильников, выключателей) не в фазном, а в нулевом проводе.



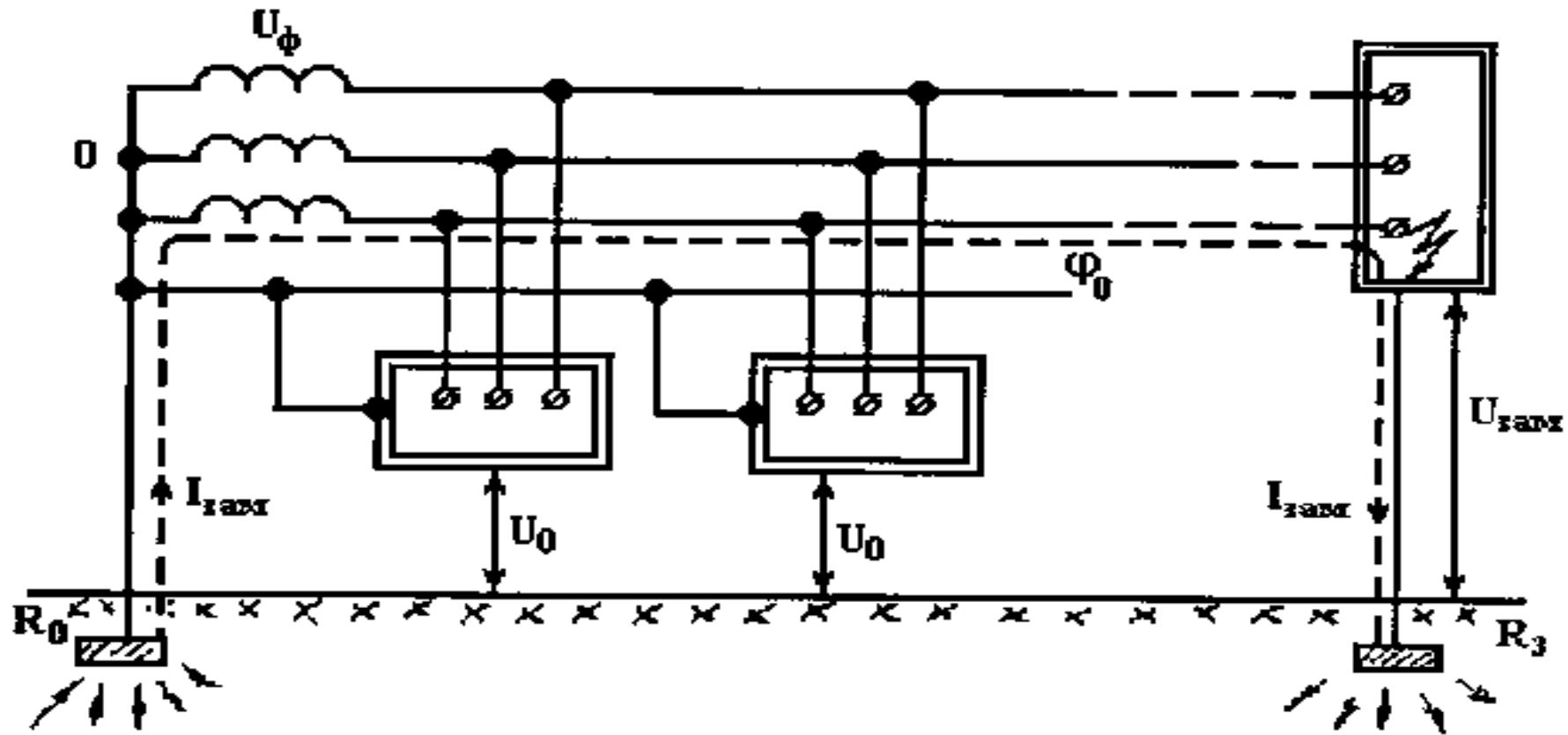
$$\varphi_{hn} = U_\phi R_{uz.hn} / (R_h + R_{uz.hn} + R_o) \quad \varphi_{\text{НП}} \approx U_\phi$$



$$\varphi_{hn} = U\phi \cdot R_{hn} / (R_o + R_{hn} + R_{nagp}) \approx U/2 \quad \varphi_o = U\phi \cdot R_o / (R_o + R_{hn} + R_{nagp}) \approx U/2$$

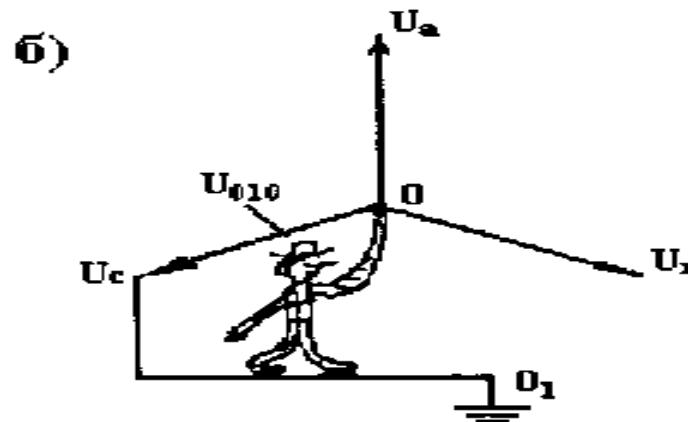
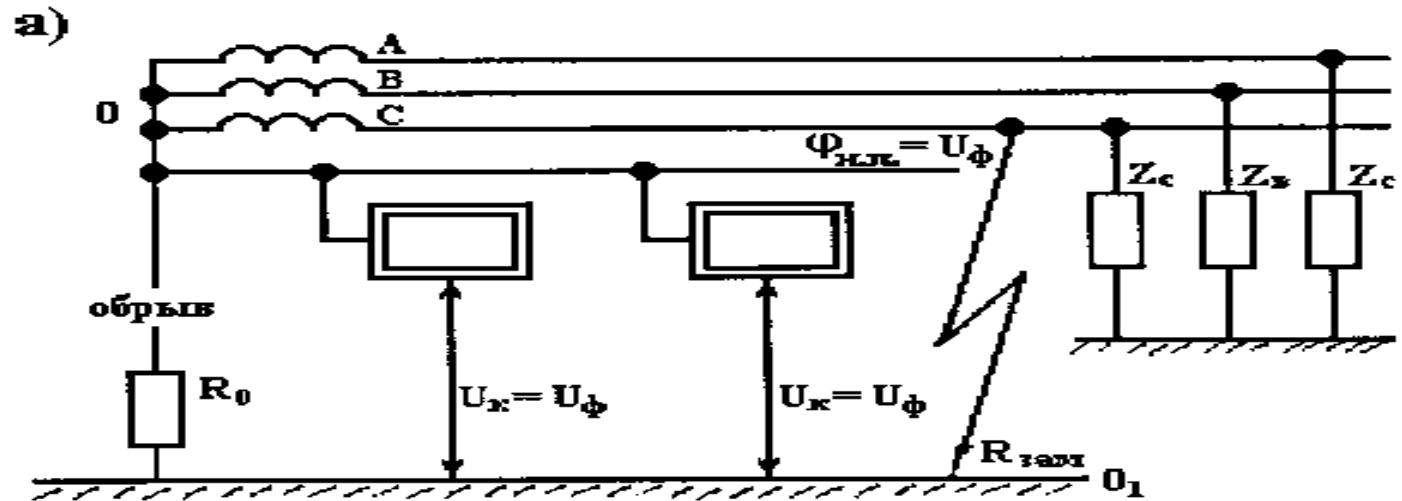
Назначение повторного заземления защитного проводника — снижение напряжения относительно земли зануленных конструкций в период замыкания фазы на корпус как при исправной схеме зануления, так и в случае обрыва нулевого защитного проводника.

3. Корпуса одних приемников занулены, а других - заземлены.



$$\varphi_0 = U_\phi \cdot R_0 / (R_0 + R_3)$$

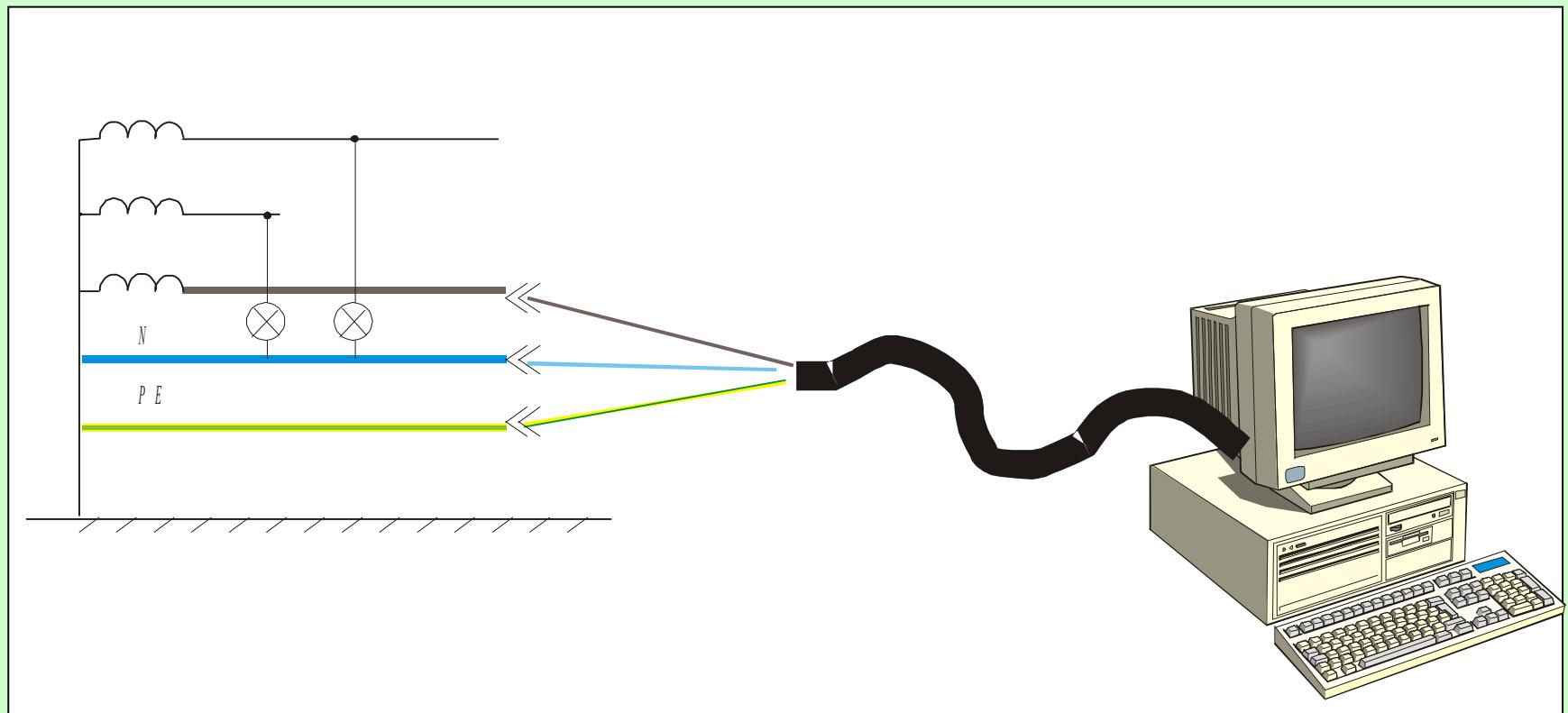
4. Обрыв цепи заземления нейтрали R_0



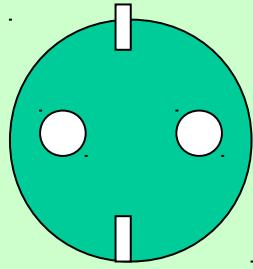
$$U_{\text{пр}} = U_{\Phi}$$

Повторное заземление нулевого провода снижает напряжение U_0 за счет перераспределения падений напряжения на $R_{\text{зам}}$ и $R_{\text{повт}}$.

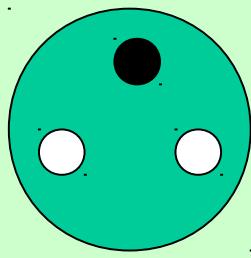
Практические способы выполнения зануления



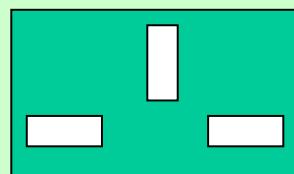
Rus



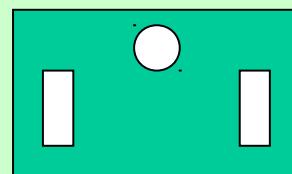
Fr



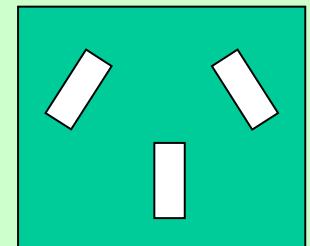
GB

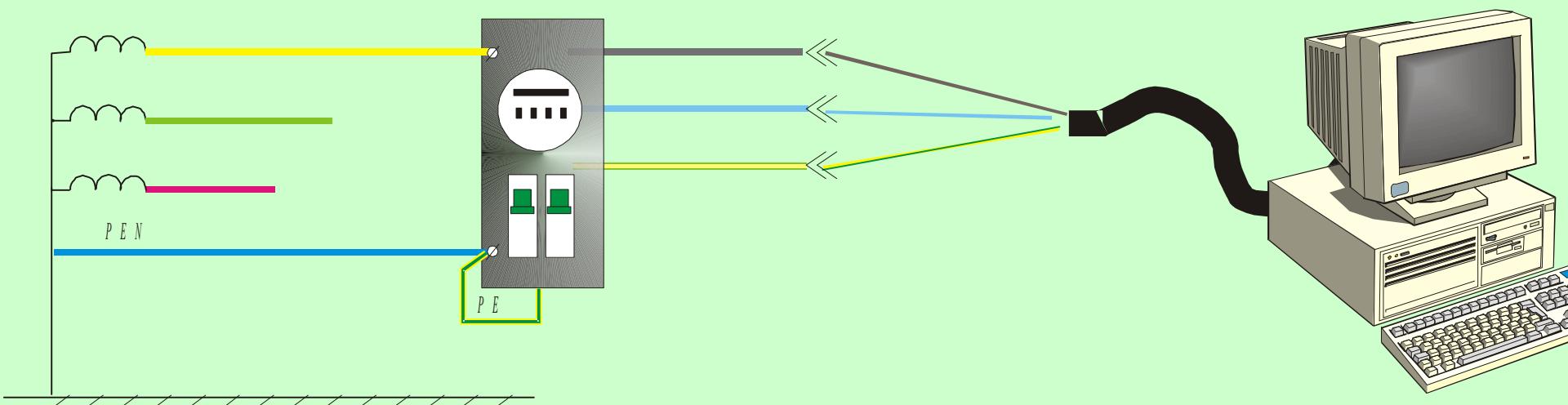
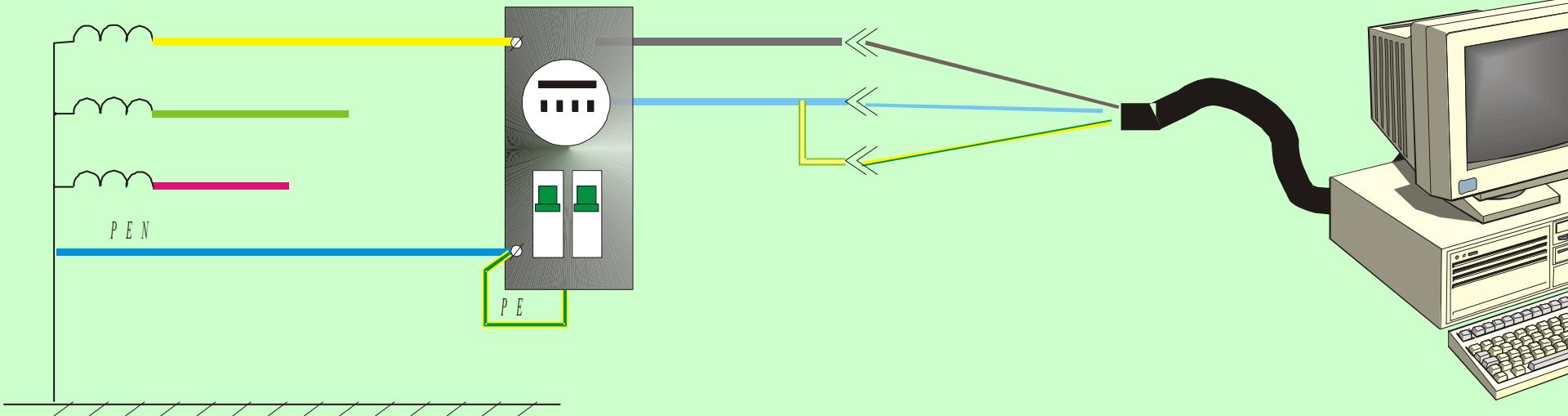


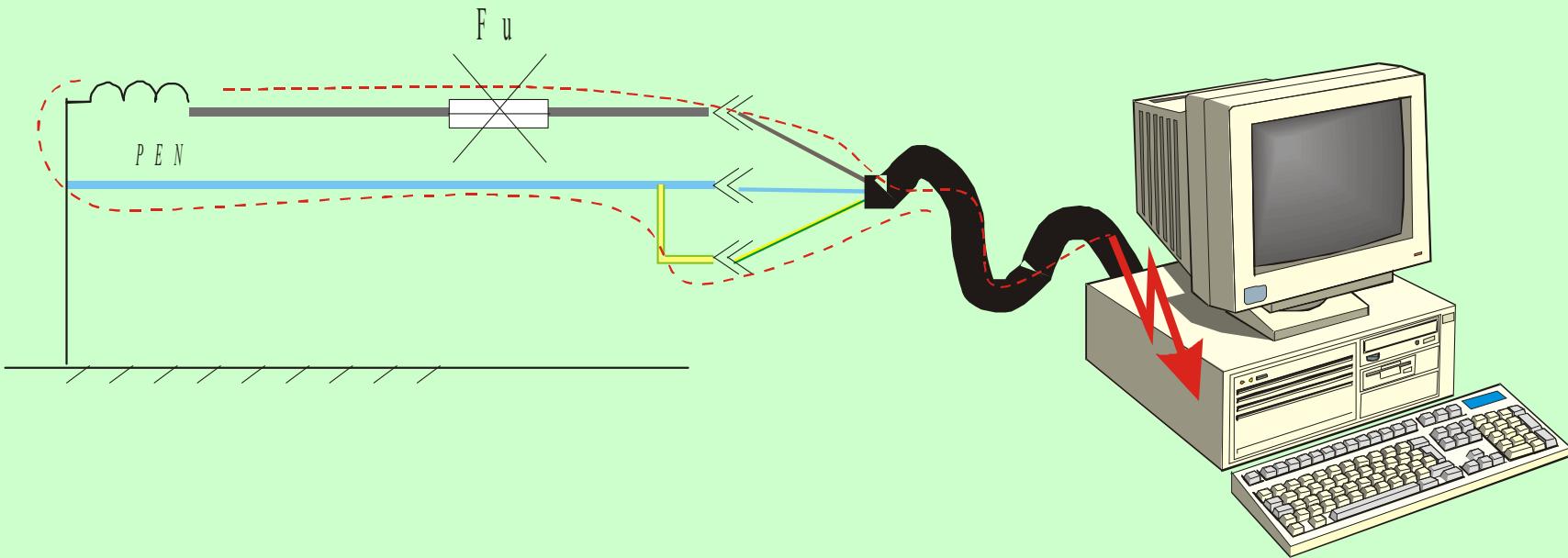
USA

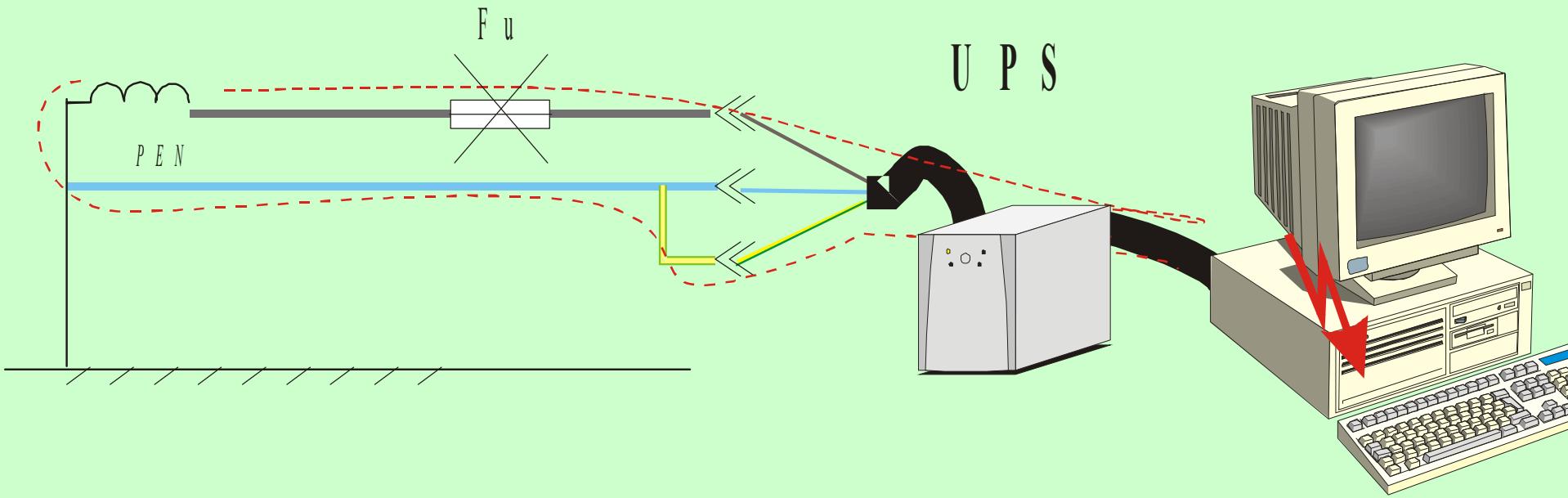


Aus

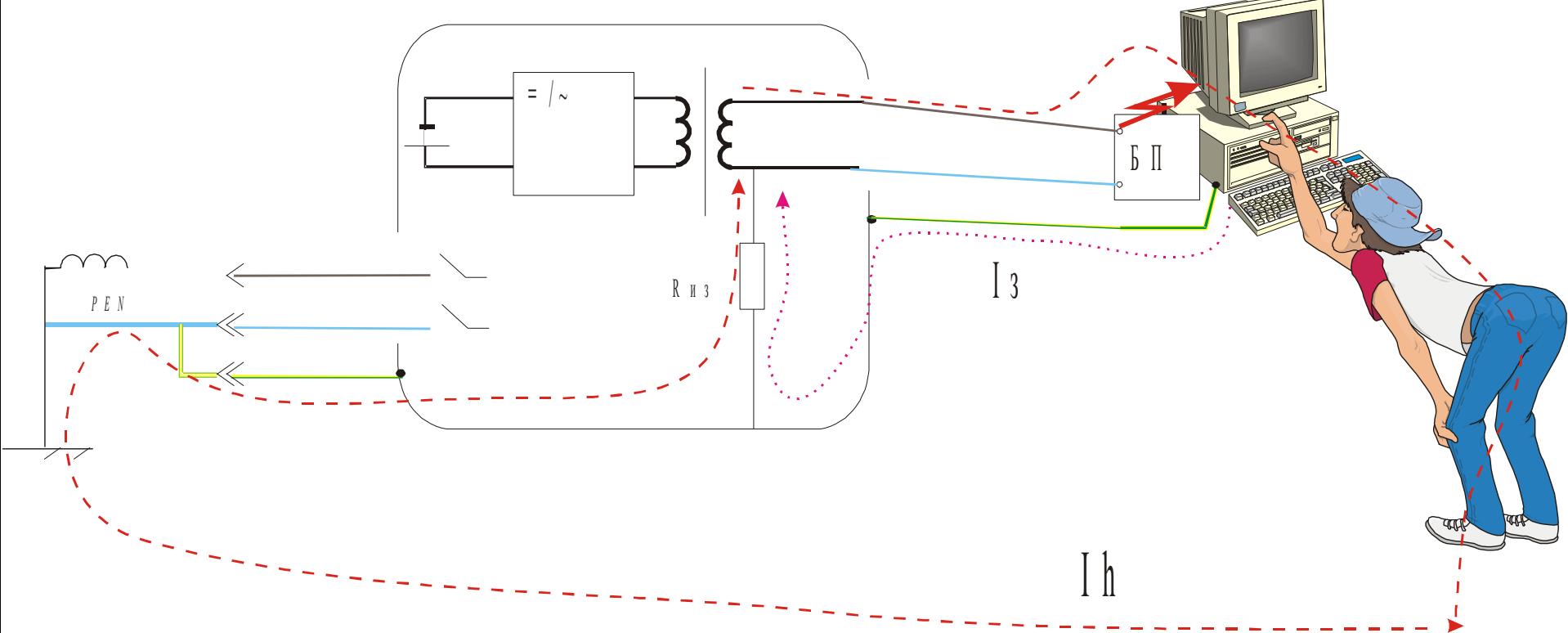




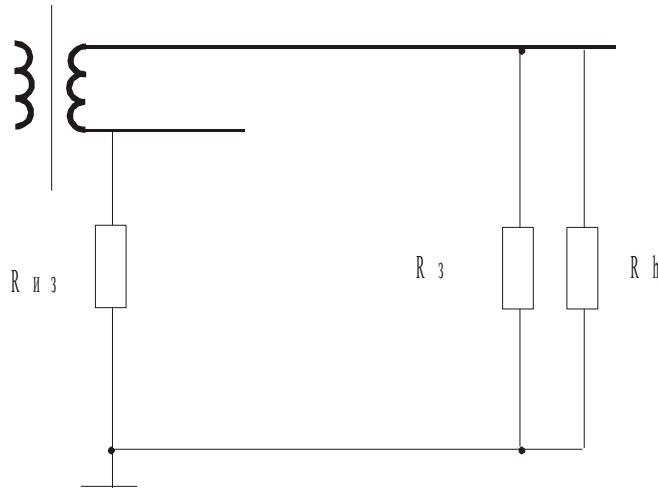


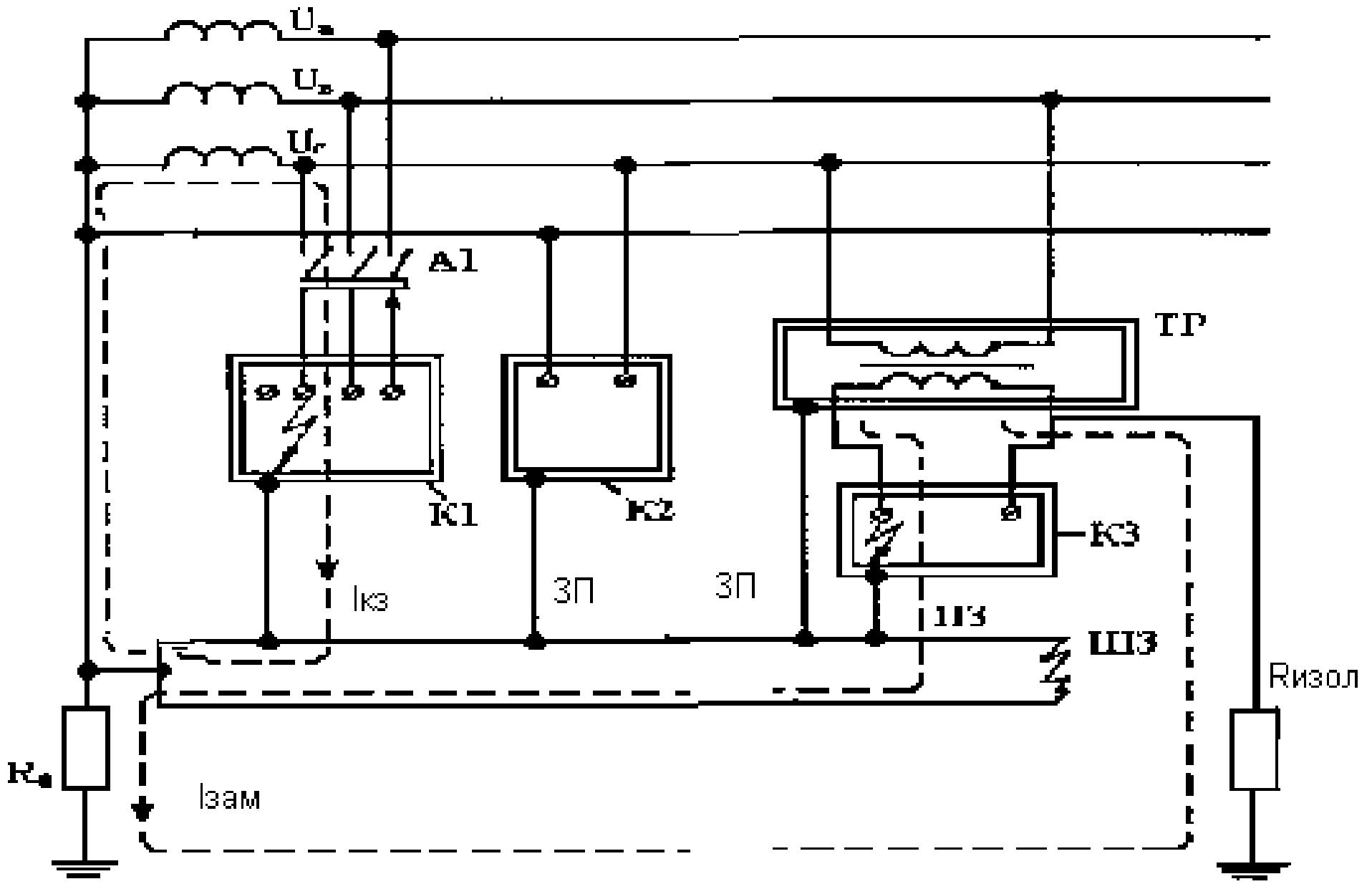


УПС



УПС





Международная классификация электрических сетей

(в соответствии с ГОСТ Р 50571-94)

I - isolato (изолированный);

T - terra (земля);

C - commune (общий);

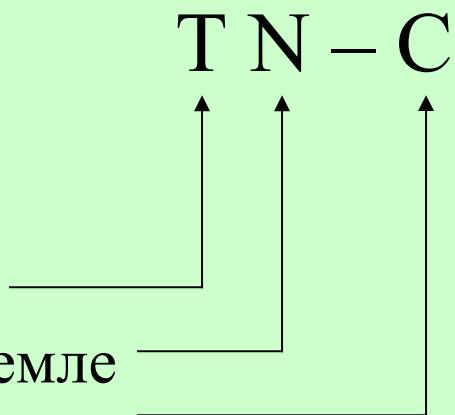
S - separate (раздельный);

N - neutral (нейтральный).

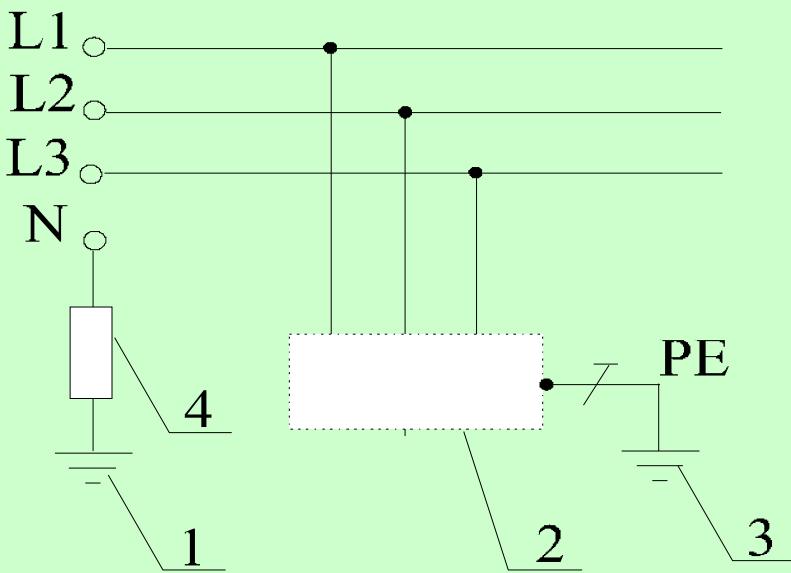
Отношение нейтрали к земле

Отношение корпуса приёмника к земле

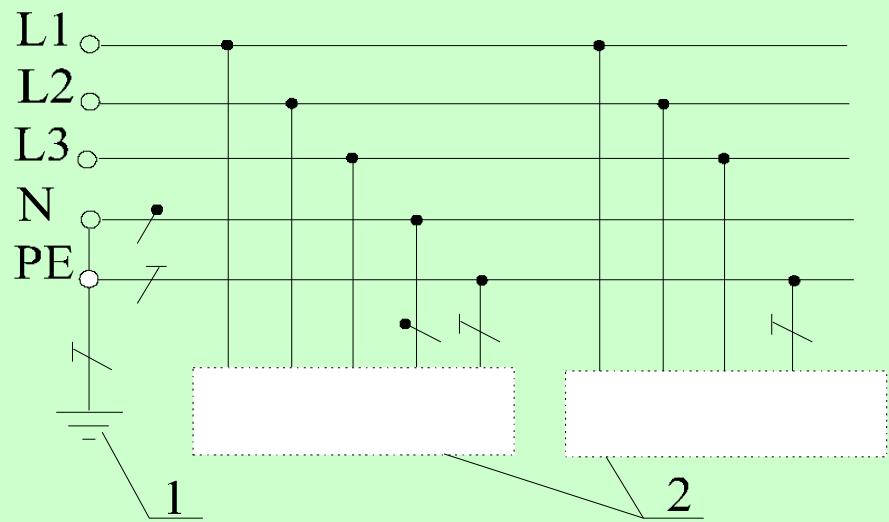
Выполнение защитного проводника



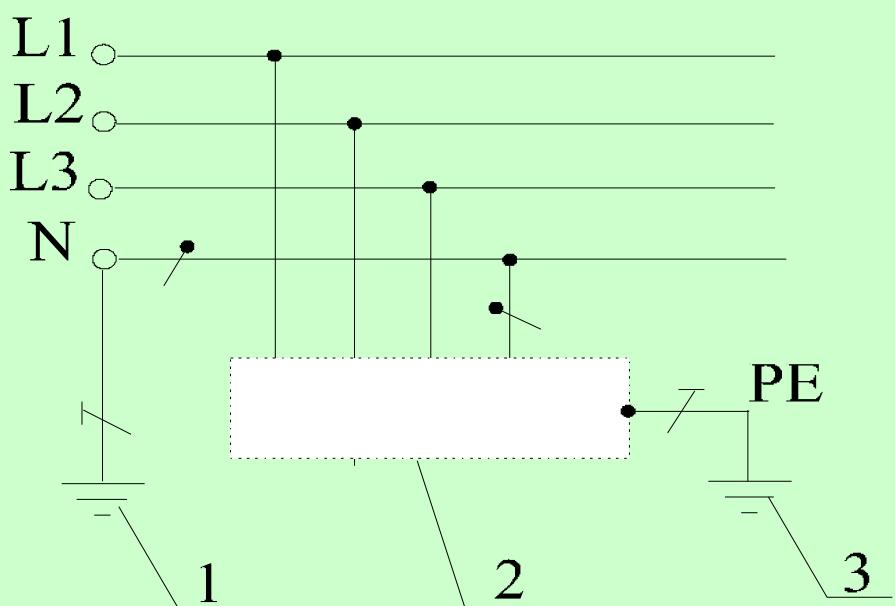
Система IT



Система TN-S

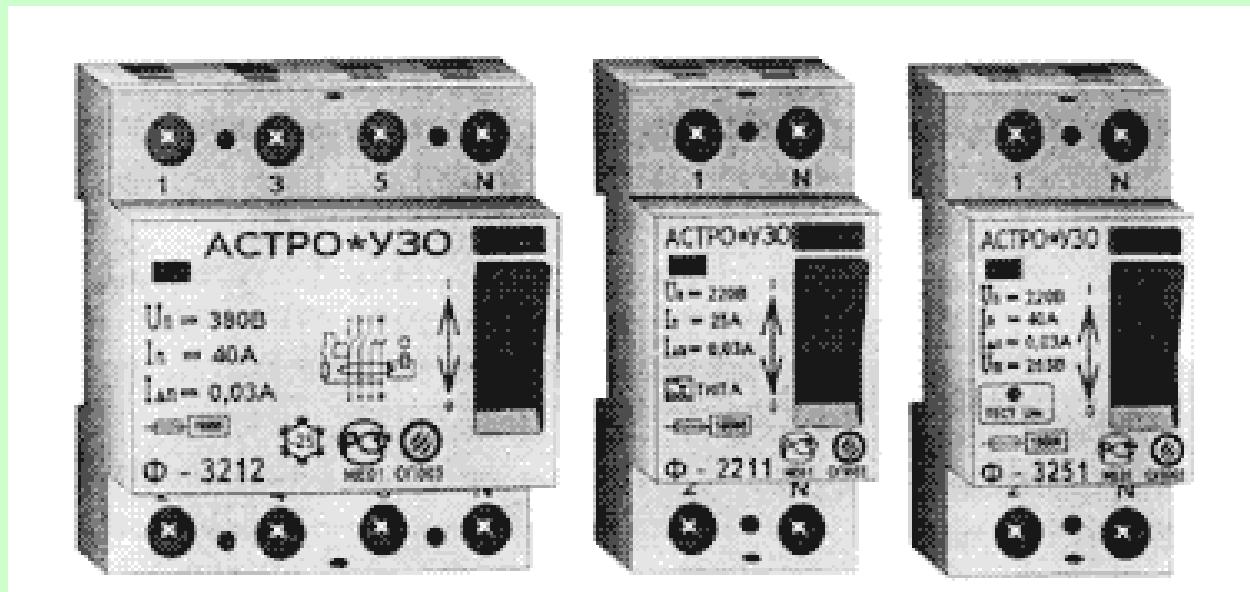


Система TT



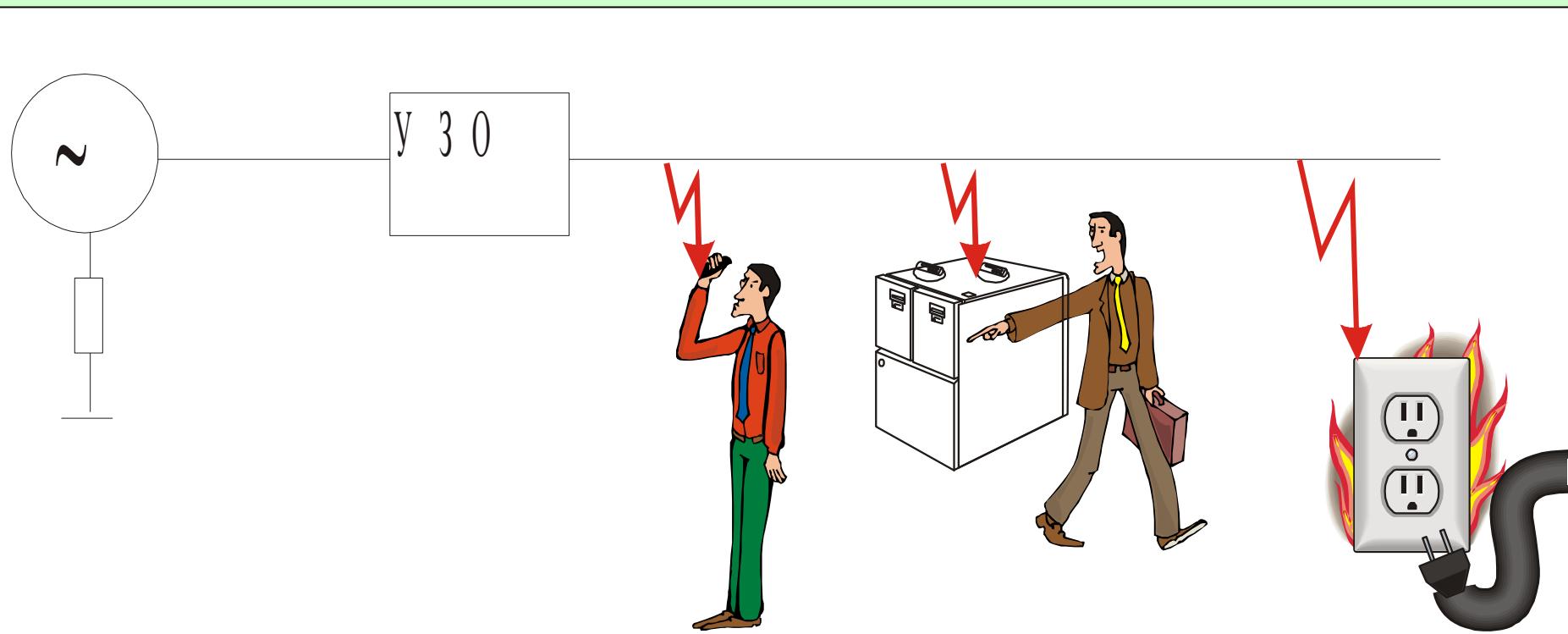
ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

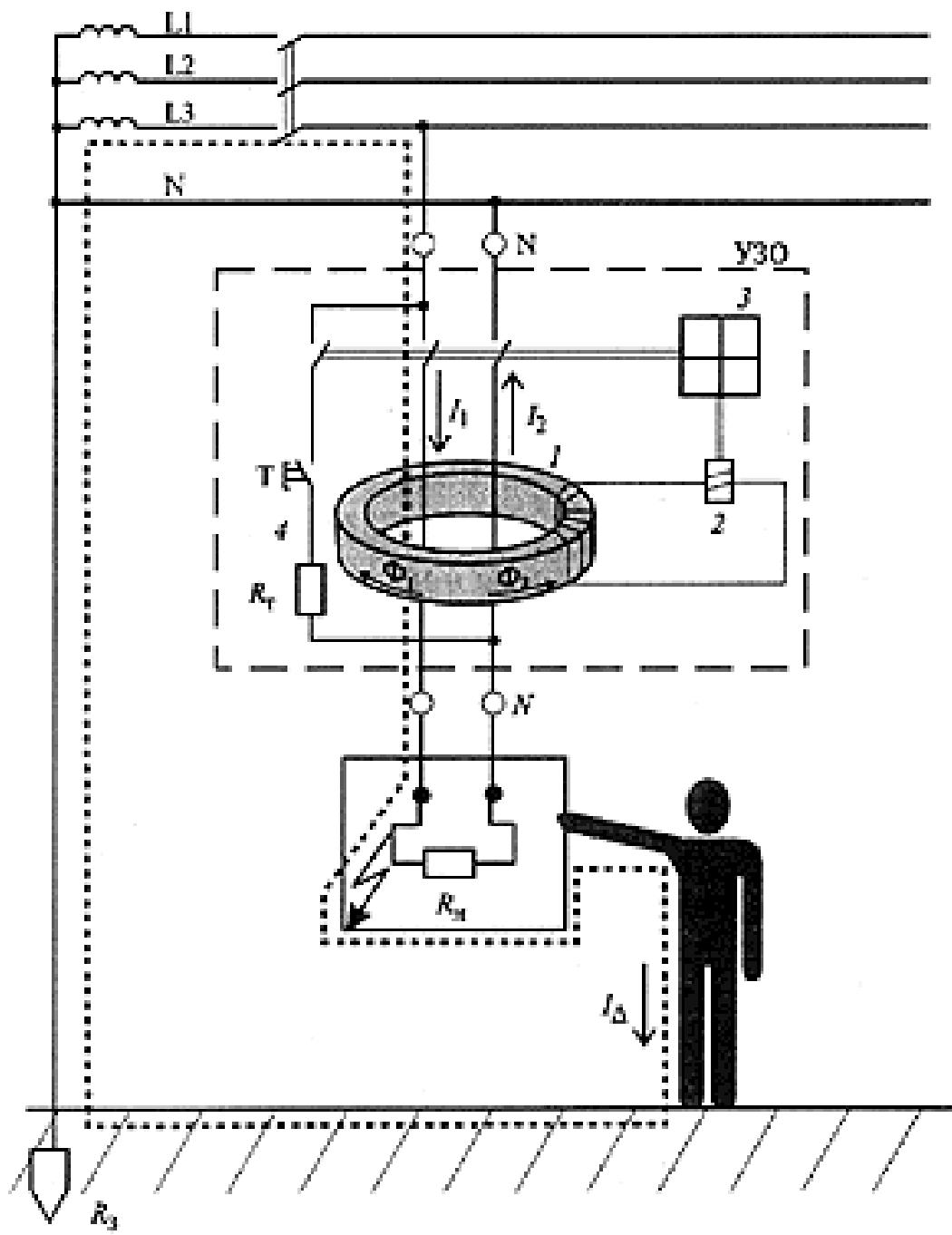
Устройства защитного отключения (УЗО) выявляют факт однофазного (однополюсного) прикосновения человека либо факт однофазного снижения сопротивления изоляции и снимают питание с защищаемого участка сети.



Особенности:

- Разнообразие защищаемых ситуаций
 - прямое и косвенное однофазное прикосновение,
 - пожарная опасность однофазных замыканий.
- Высокая чувствительность (способность выявить опасность на ранней стадии возникновения).
- Высокое быстродействие ($t_{\text{откл}} < t_{\text{h доп}}$)

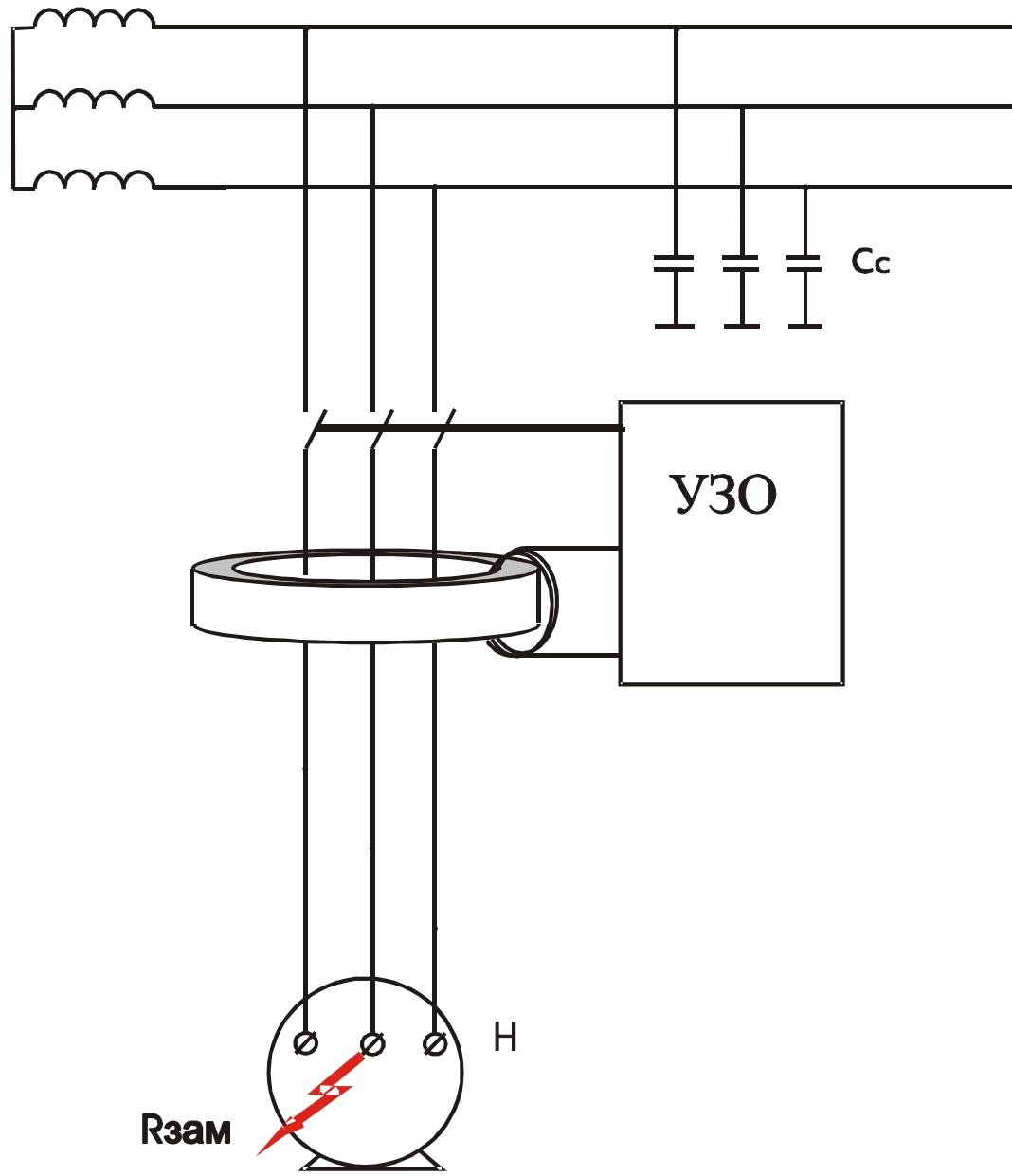




$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c + \dot{I}_N = 0$$

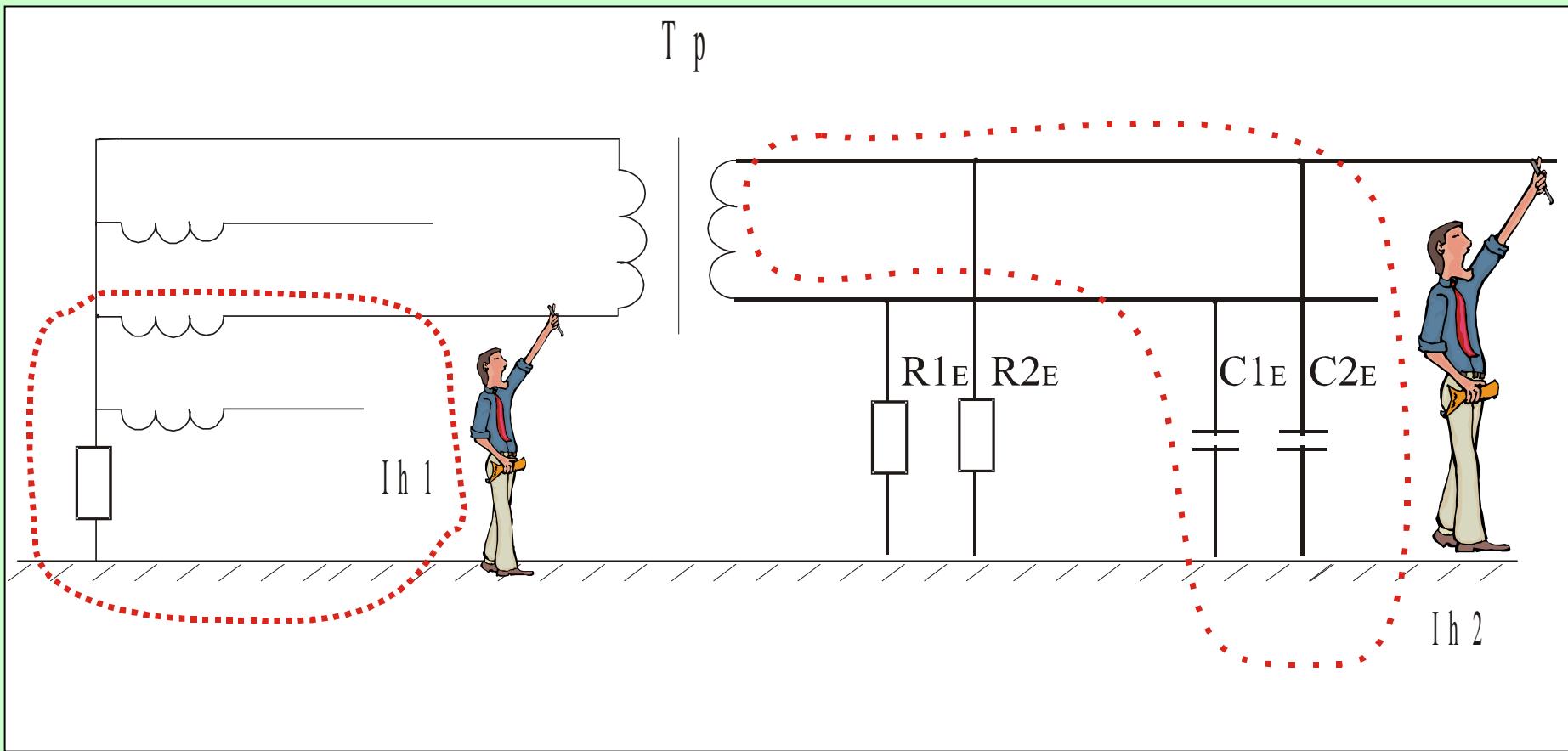


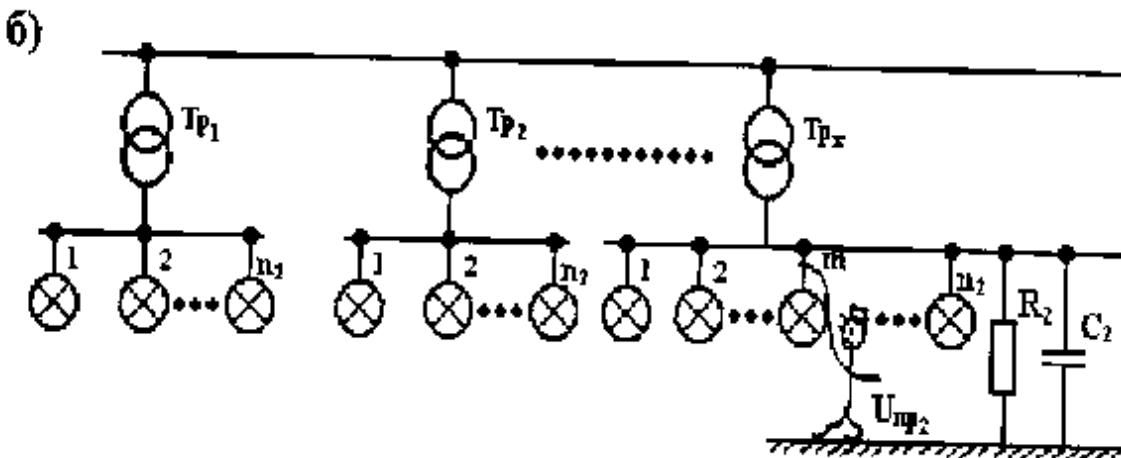
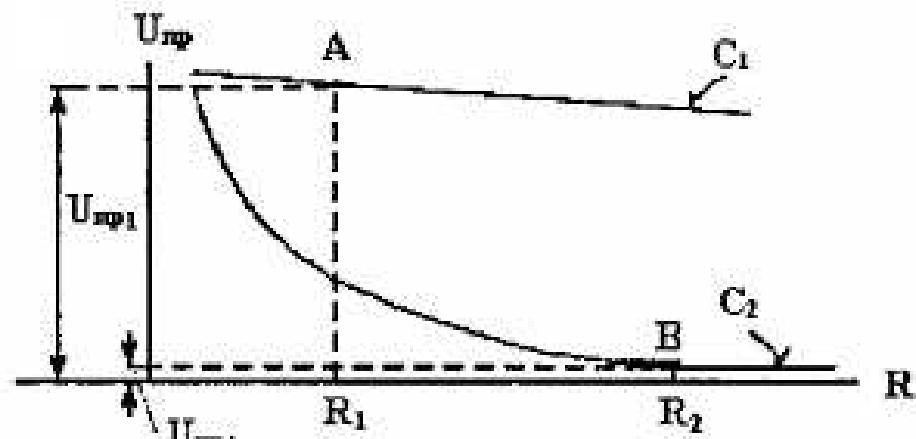
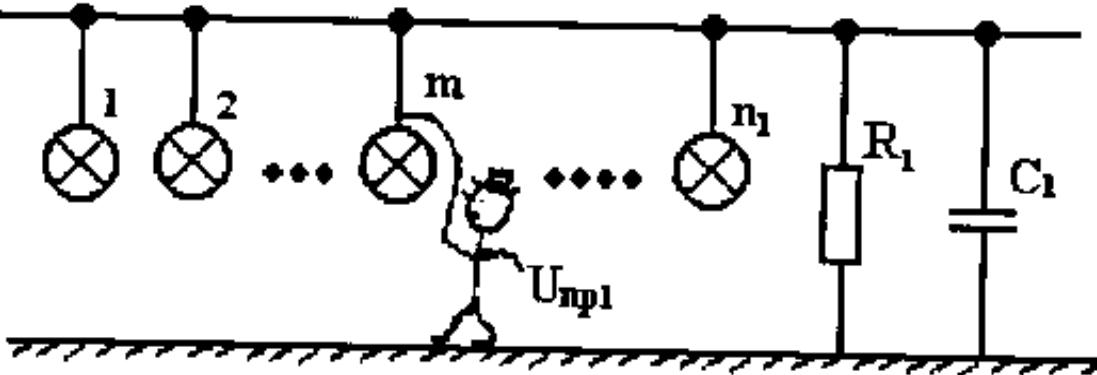
t



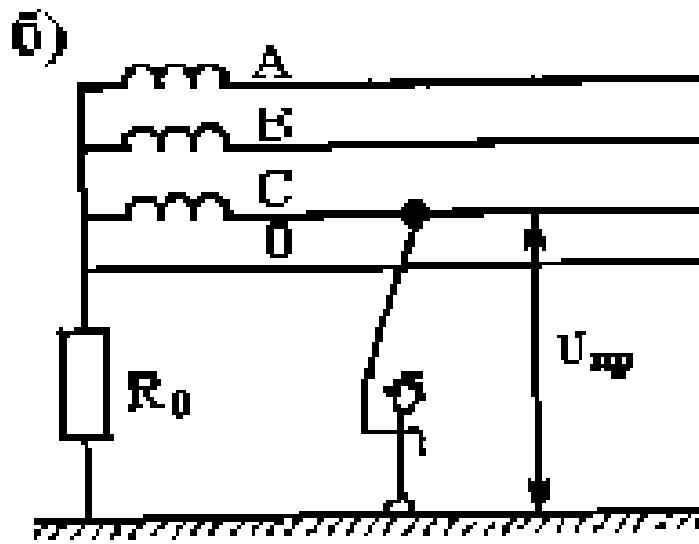
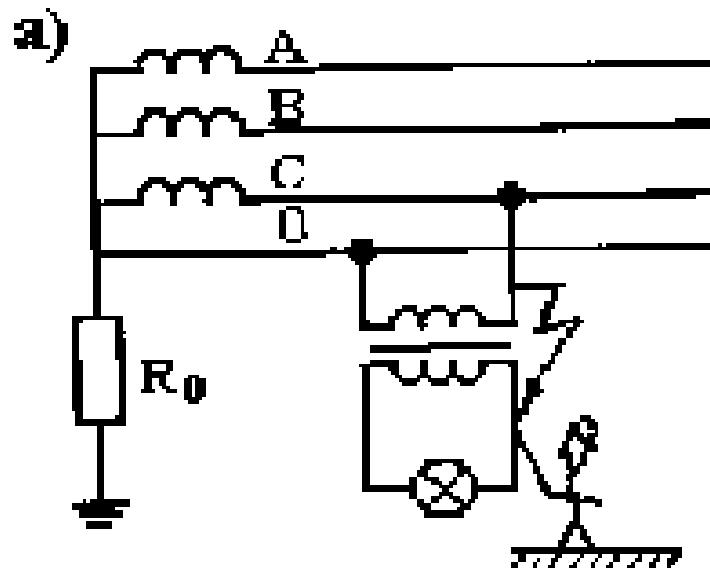
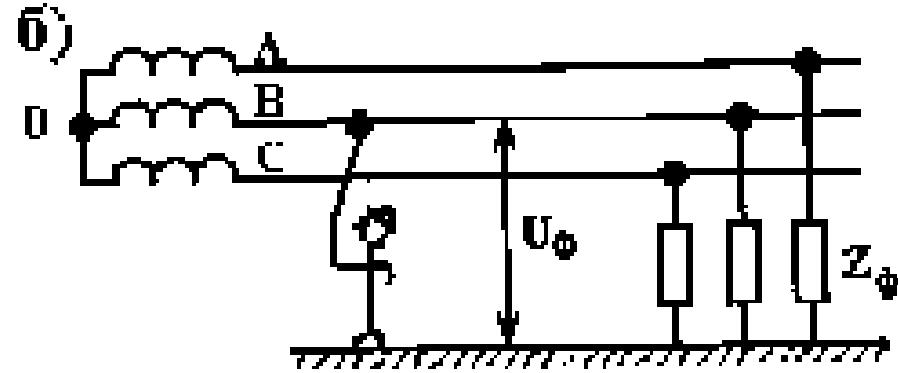
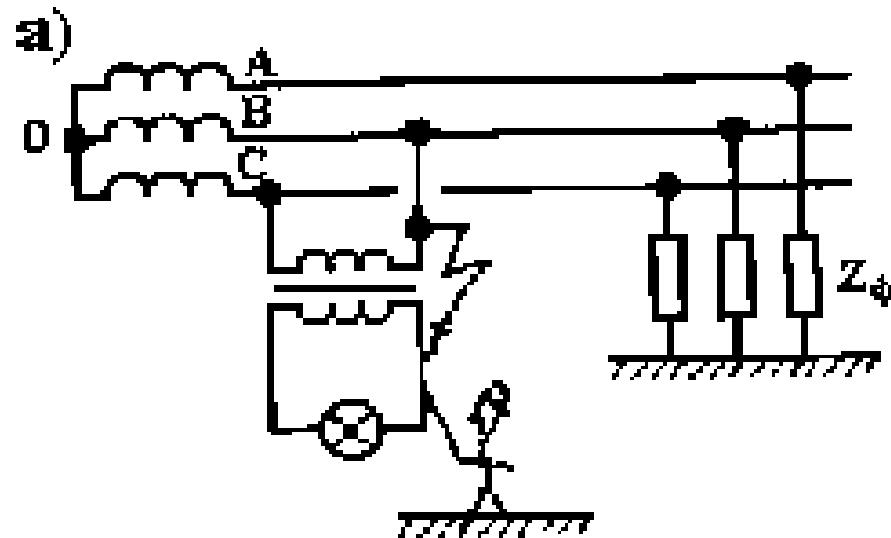
ЗАЩИТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СЕТЕЙ

Разделительным называется трансформатор, предназначенный для отделения сети, питающей электроприемник, от первичной электрической сети, а также от сети заземления или зануления (ПУЭ, п.1.7.31).



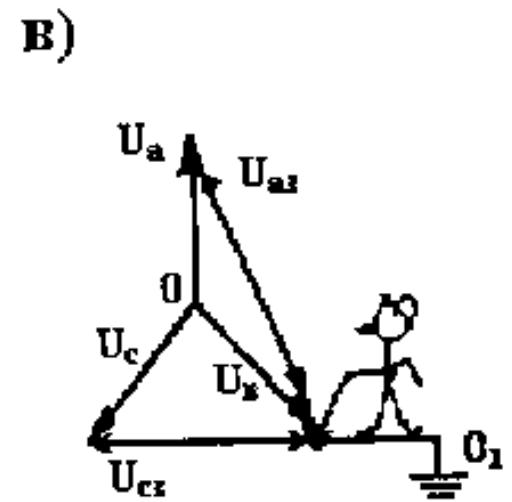
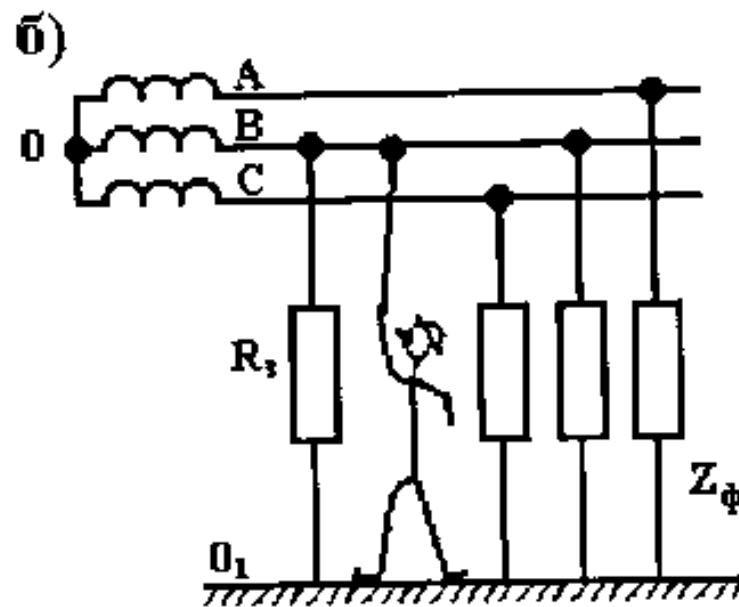
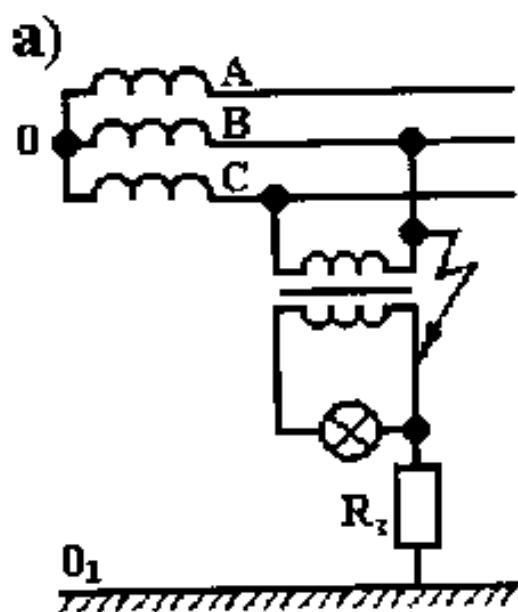


Захист від небезпеки переходу високого напруження на сторону нижчого



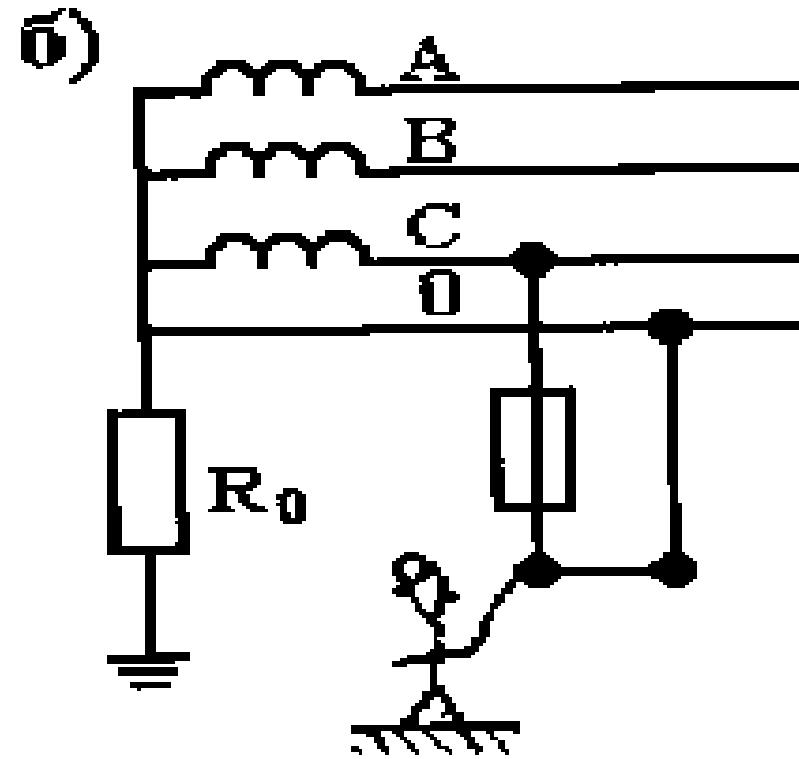
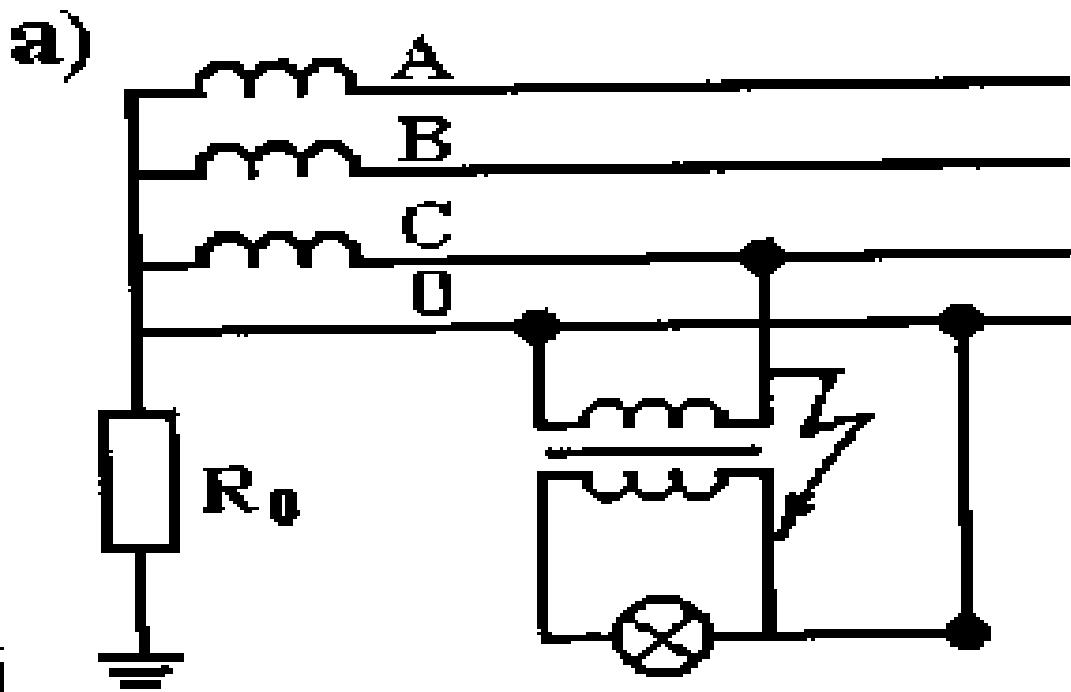
Защита в сетях с изолированной нейтралью

- осуществляется путем заземления одного полюса вторичной обмотки трансформатора



Защита в сетях с глухим заземлением нейтрали

- путем зануления одного полюса вторичной обмотки понижающего трансформатора



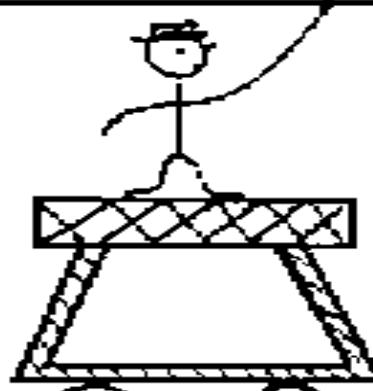
УРАВНИВАНИЕ и ВЫРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ

Уравнивание потенциалов - электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

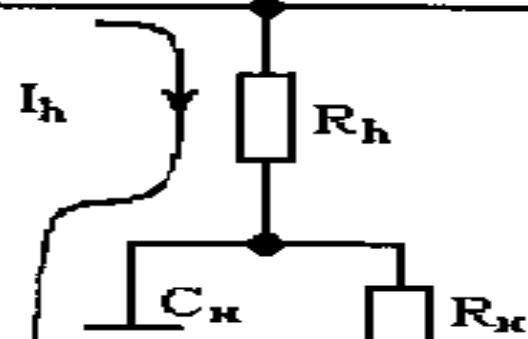
Выравнивание потенциалов - снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

$$\Phi = 3 \text{ mB}$$

a)

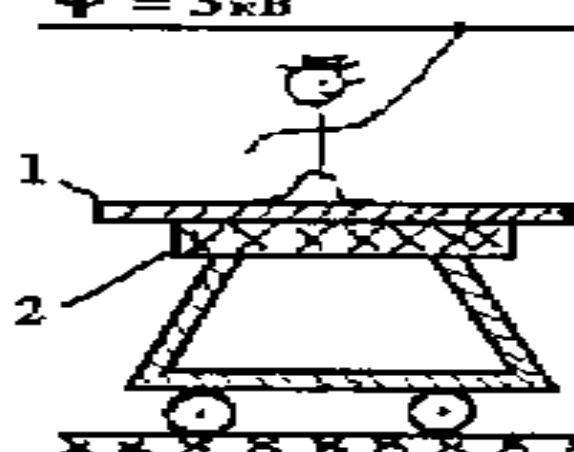


c)

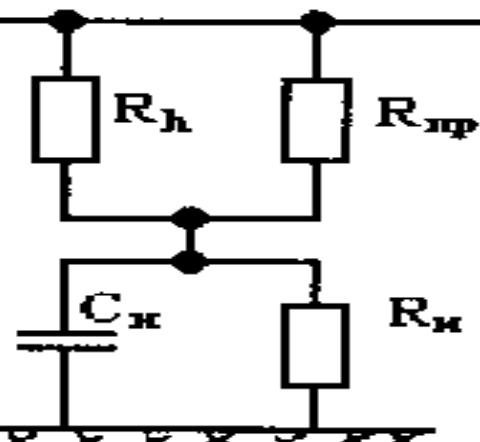


$$\Phi = 3 \text{ mB}$$

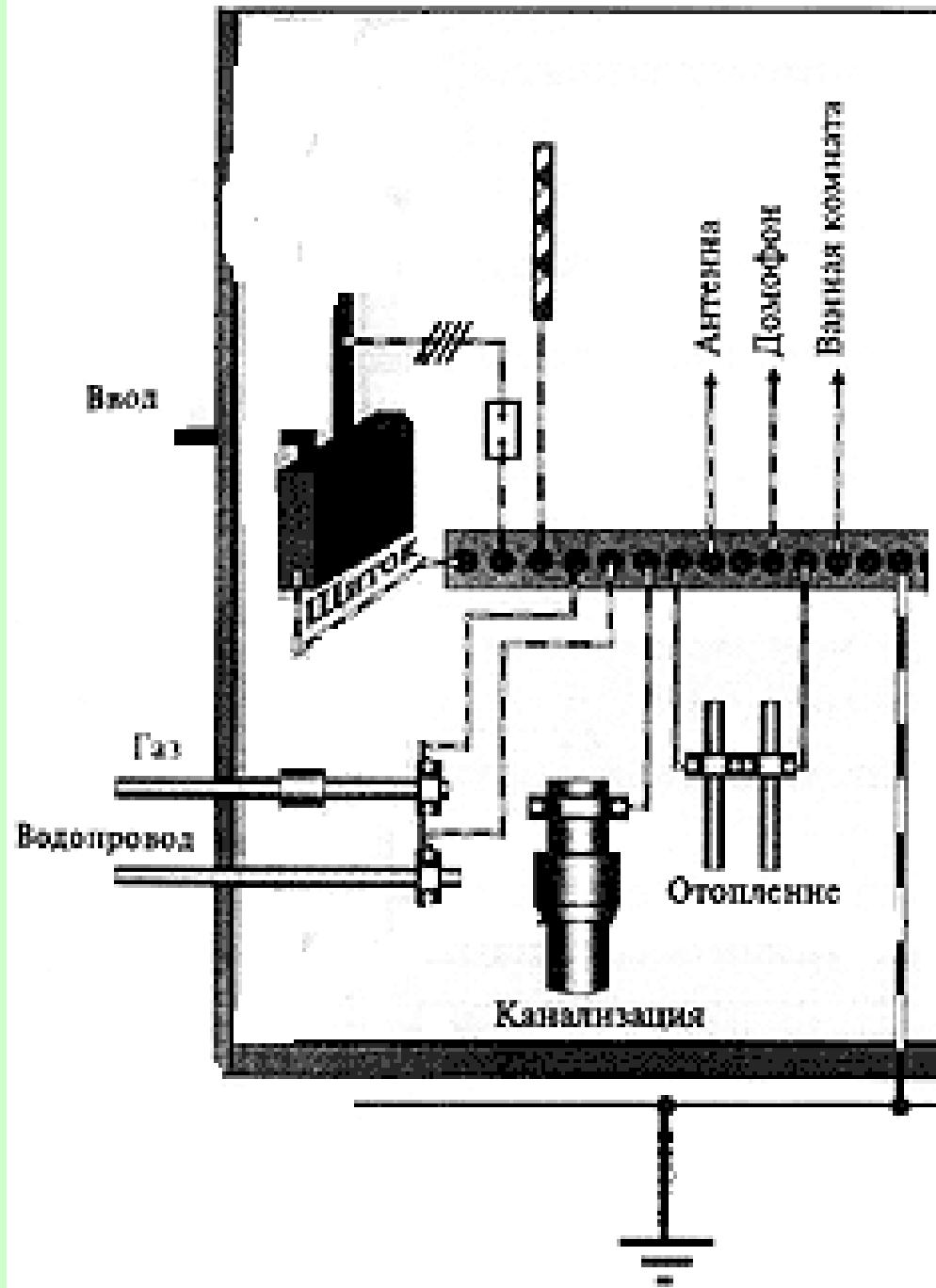
d)

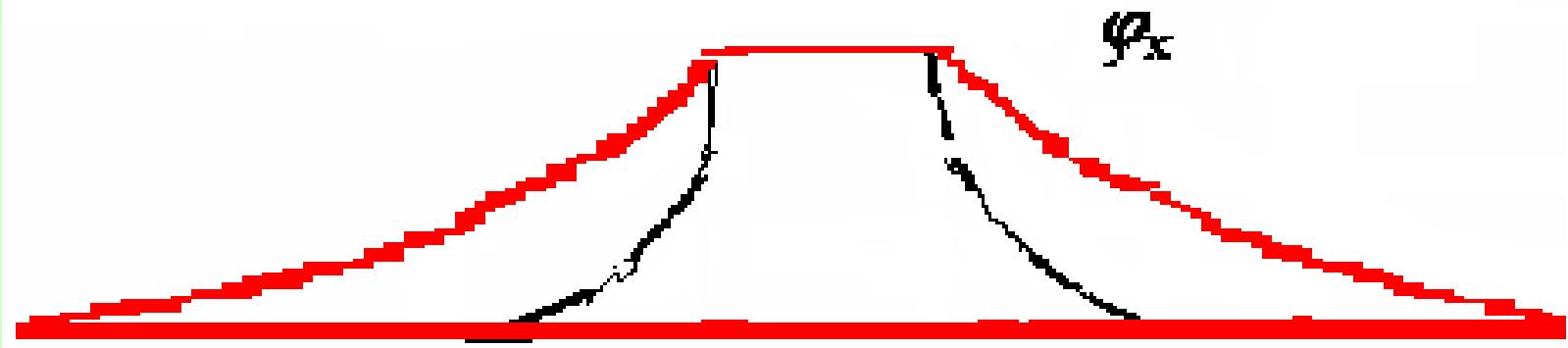
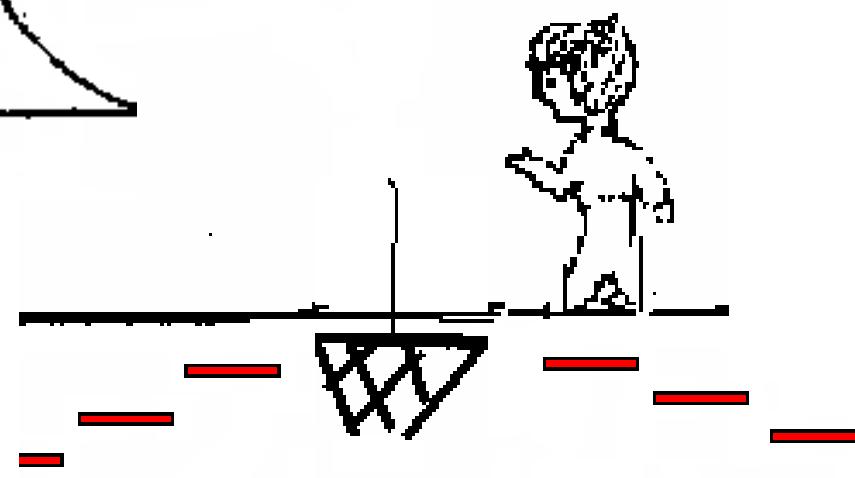
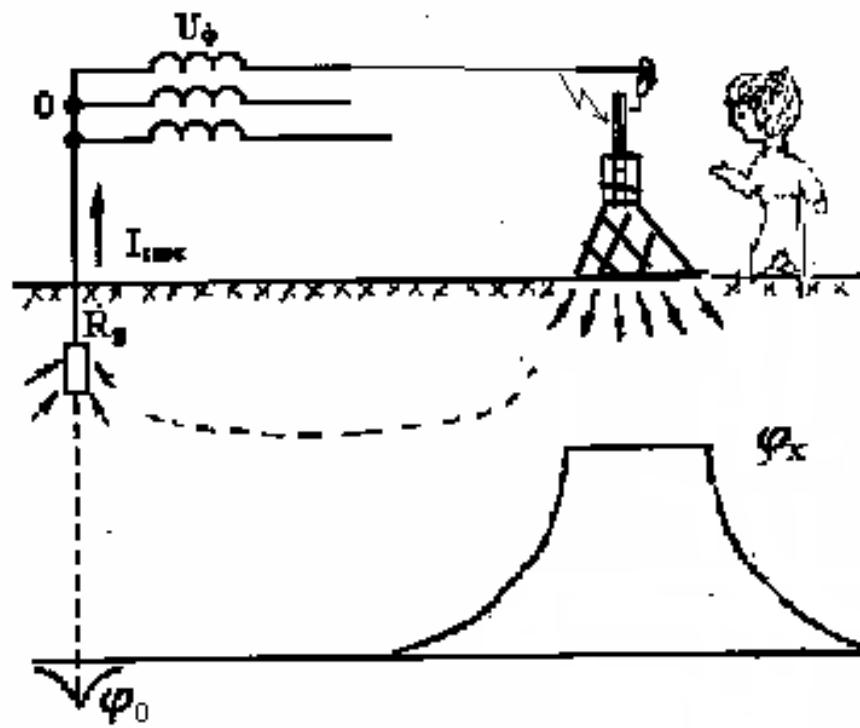


d)



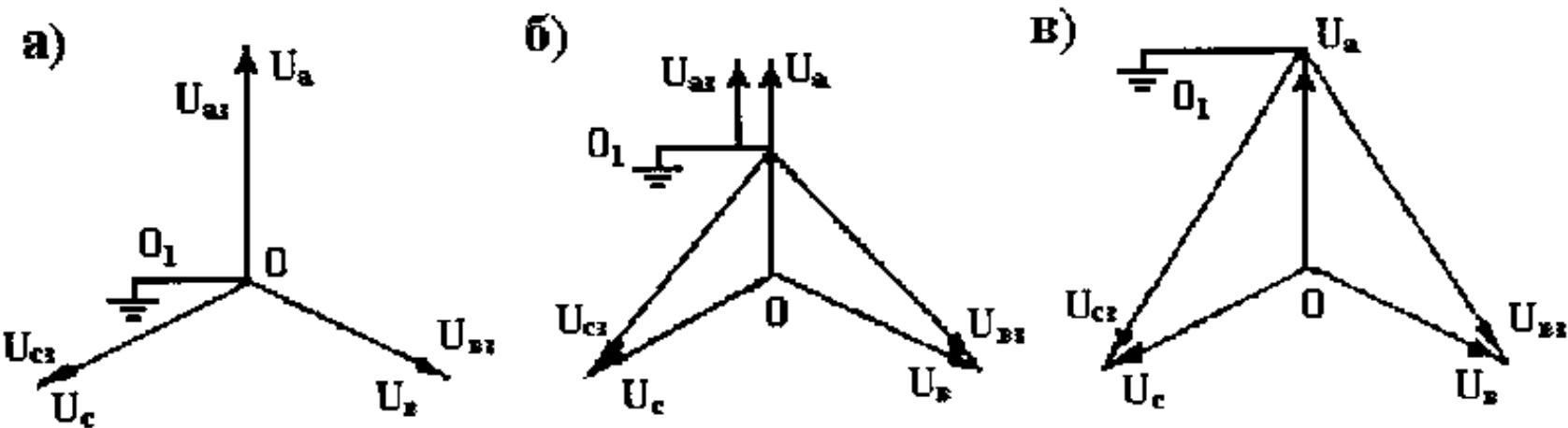
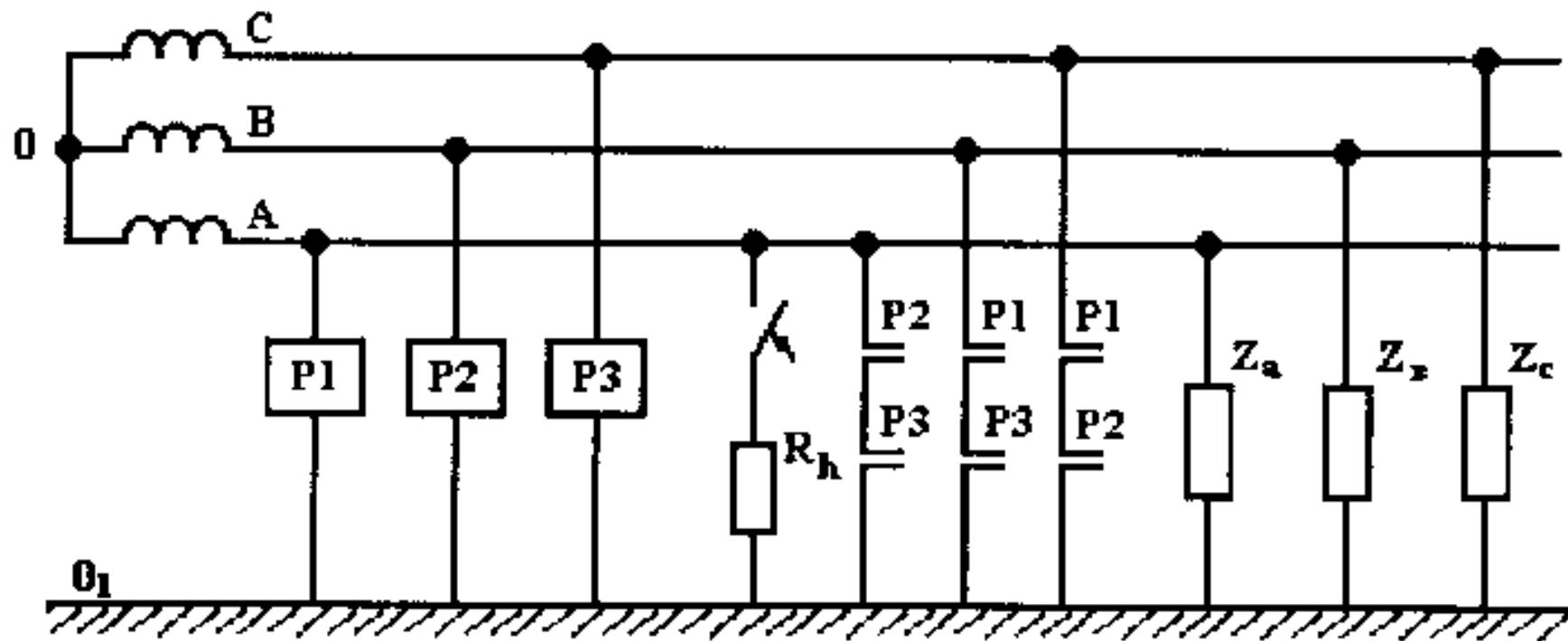
Правила выполнения
системы уравнивания
потенциалов определены
стандартом МЭК 364-4-41 и
пп. 7.1.87 и 7.1.88 ПУЭ





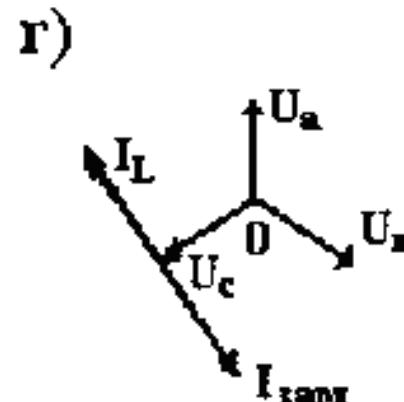
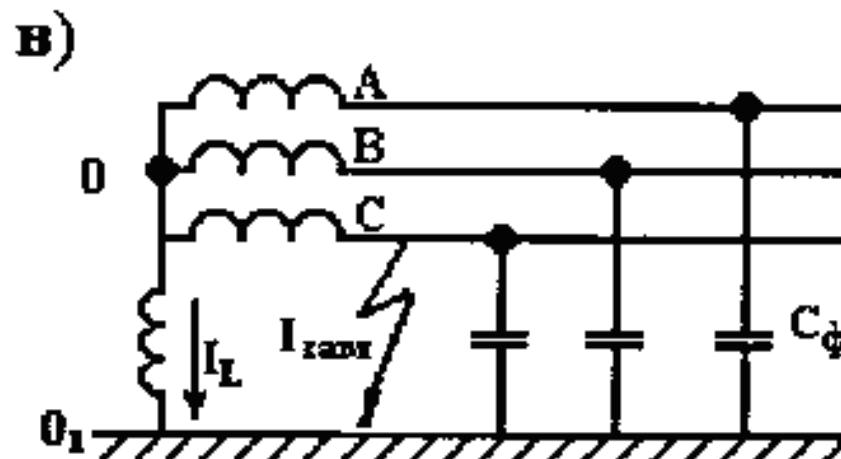
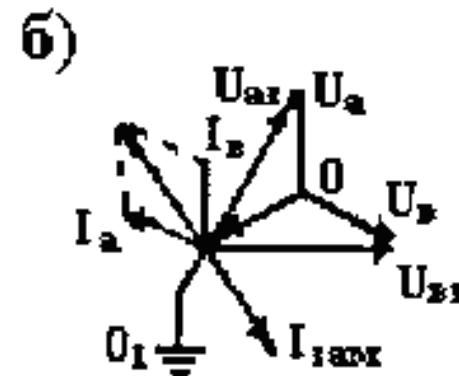
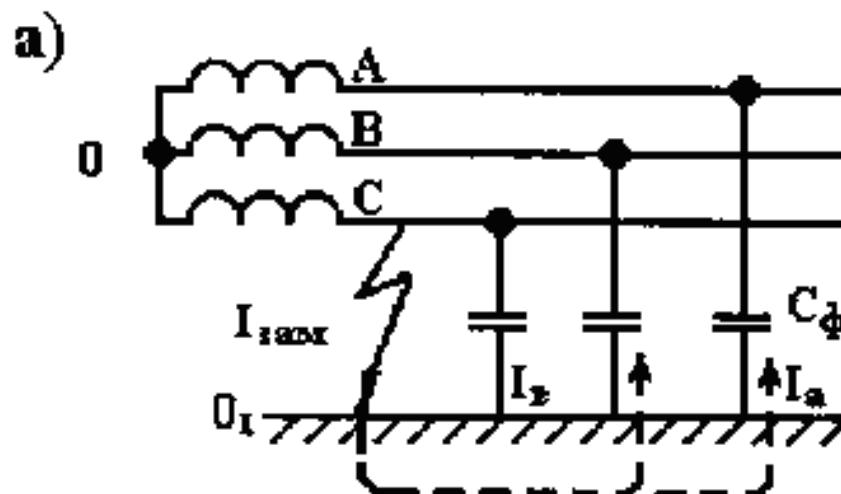
ЗАЩИТНОЕ ШУНТИРОВАНИЕ (ЗАМЫКАНИЕ)

- Защита от прямого и косвенного однофазного прикосновения
- Без снятия напряжения с приемников электроэнергии
- Применяют в сетях, изолированных от земли



КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ

В сетях переменного тока с изолированной нейтралью при значительной емкости фаз относительно земли.

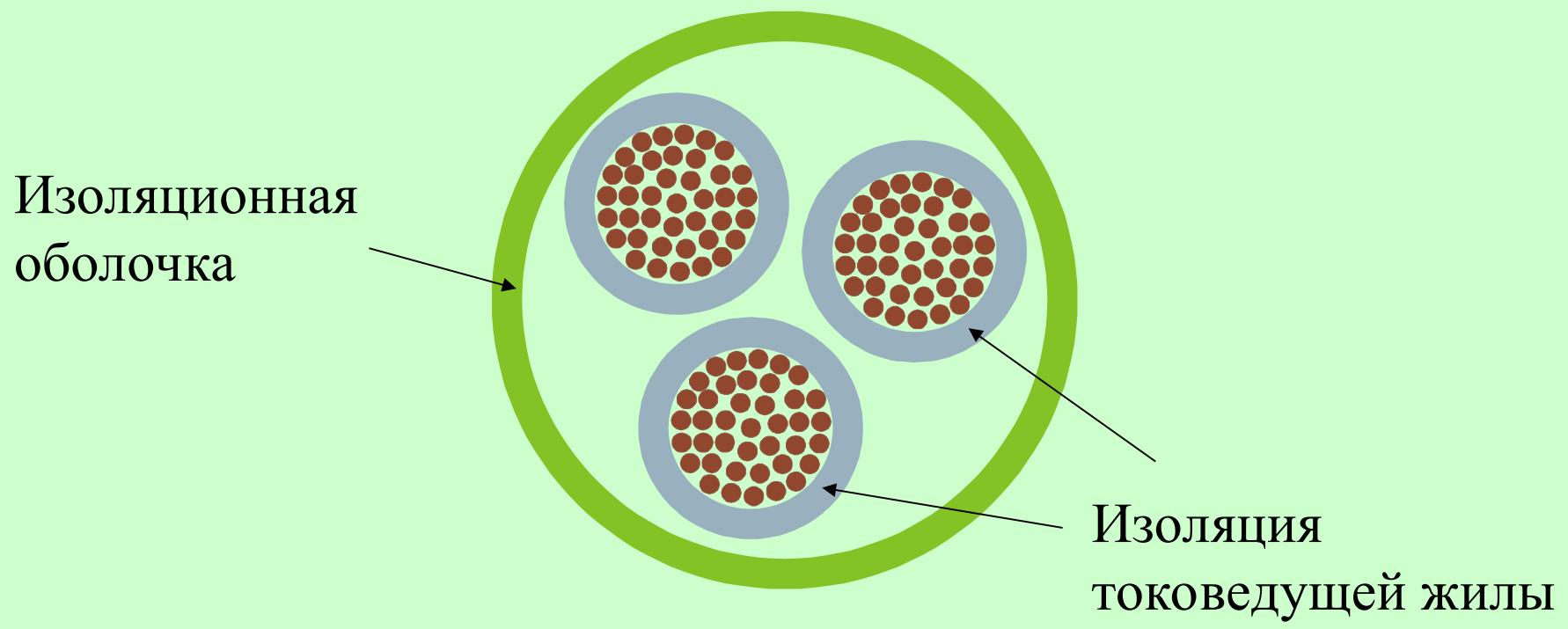


Условие полной компенсации

$$X_L = X_C \quad \omega L = \frac{1}{3\omega C_\phi}$$

ДВОЙНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

-совокупность рабочей и дополнительной изоляции, при которой доступные прикосновению части не приобретают опасного потенциала при повреждении только рабочей или только дополнительной изоляции.



КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО СПОСОБУ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ по ГОСТ Р МЭК 536-94.

Класс 0 - защита обеспечивается основной изоляцией.

(отсутствует электрическое соединение открытых проводящих частей, если таковые имеются, с защитным проводником) .

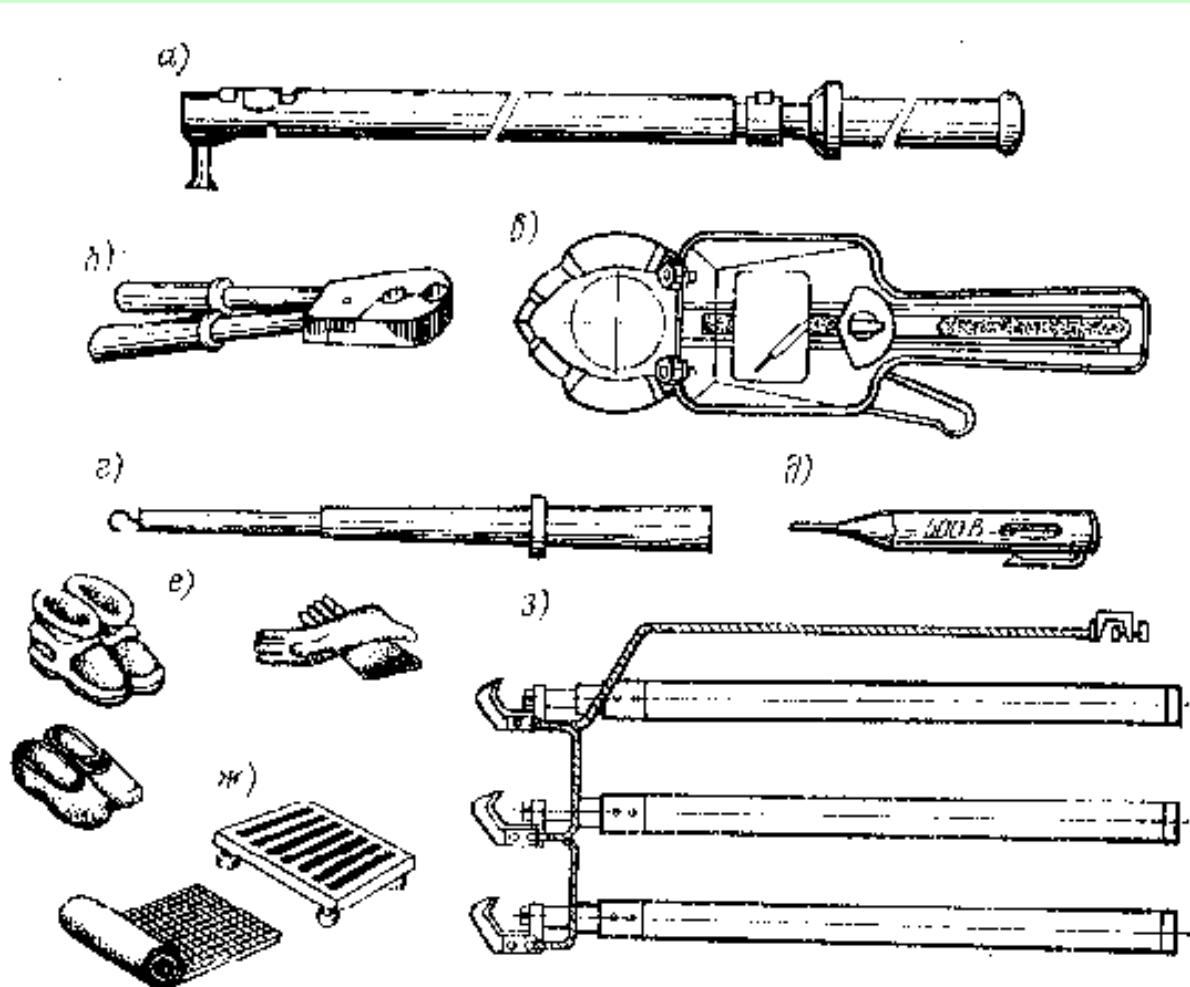
Класс I - защита обеспечивается основной изоляцией и соединением открытых проводящих частей, доступных прикосновению, с защитным проводником стационарной проводки.

Класс II - защита обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции (отсутствуют средства защитного заземления).

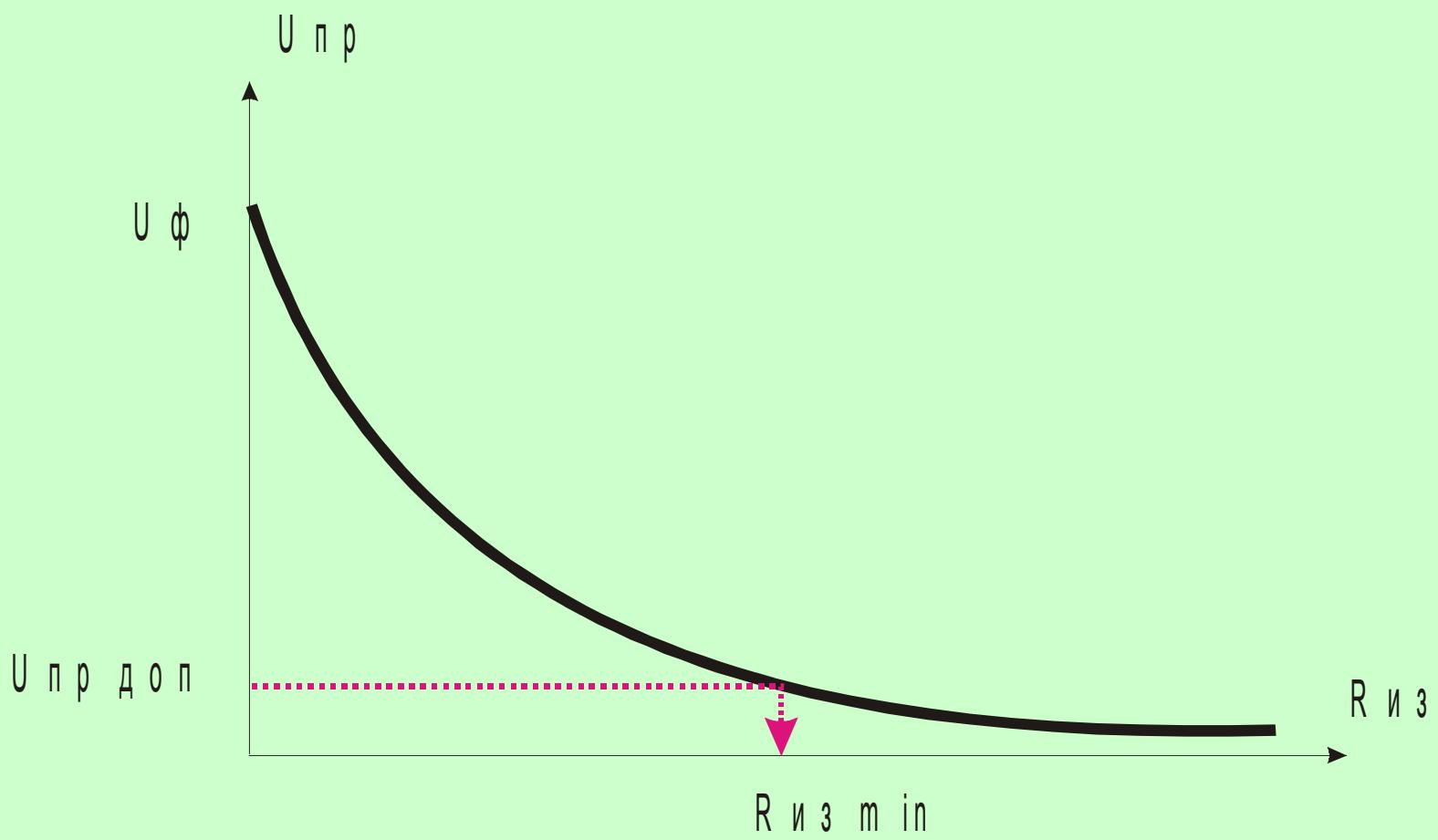
Класс III - защита основана на питании от источника безопасного сверхнизкого напряжения
(не возникают напряжения выше безопасного сверхнизкого напряжения).

Электрозащитные средства

- **основные** (позволяют работать на токоведущих частях)
- **дополнительные** (усиливают действие основных).



а – изолирующая штанга;
б - изолирующие клещи;
в - измерительные клещи;
г - измеритель напряжения
 $> 1000 \text{ В}$;
д - то же $< 1000 \text{ В}$;
е - диэлектрические
перчатки, галоши;
ж -коврики, подставки
з- переносное заземление.



$U_{\text{раб}} < 1000 \text{ В}$

$U_{\text{пр доп}} < 2 \text{ В}$

$R_{\text{из min}} > 500 \text{ кОм}$

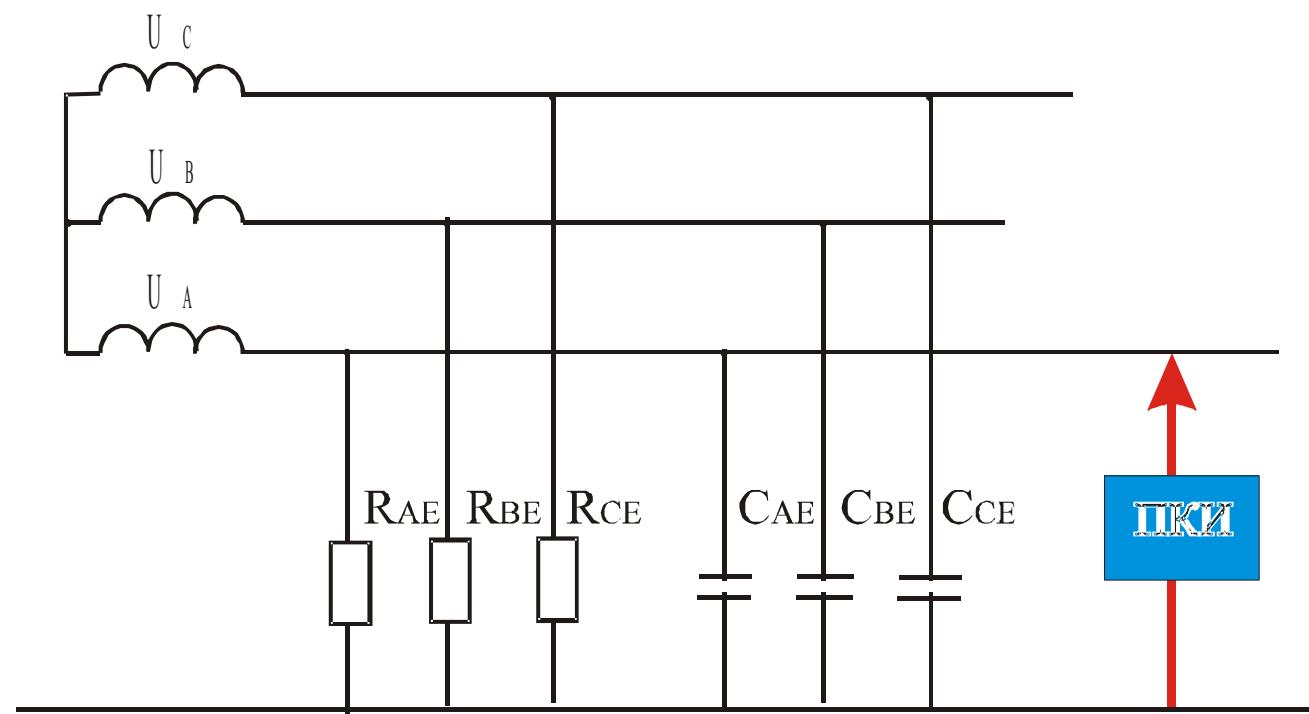
КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ

-профилактическое мероприятие, направленное на выявление неисправностей электрической изоляции, влияющих на:

- Электробезопасность
- Пожаробезопасность электроустановок
- Надежность функционирования электроустановок

Общие требования к приборам контроля изоляции:

- испытательное напряжение \approx рабочему напряжению электроустановки
- учет только активной составляющей Z изоляции (отстройка от C)
- безопасность контроля (малые измерительные токи)



Классификация приборов контроля изоляции по потребительским свойствам:

Контроль обесточенных
электроустановок

и/или

Контроль под рабочим
напряжением

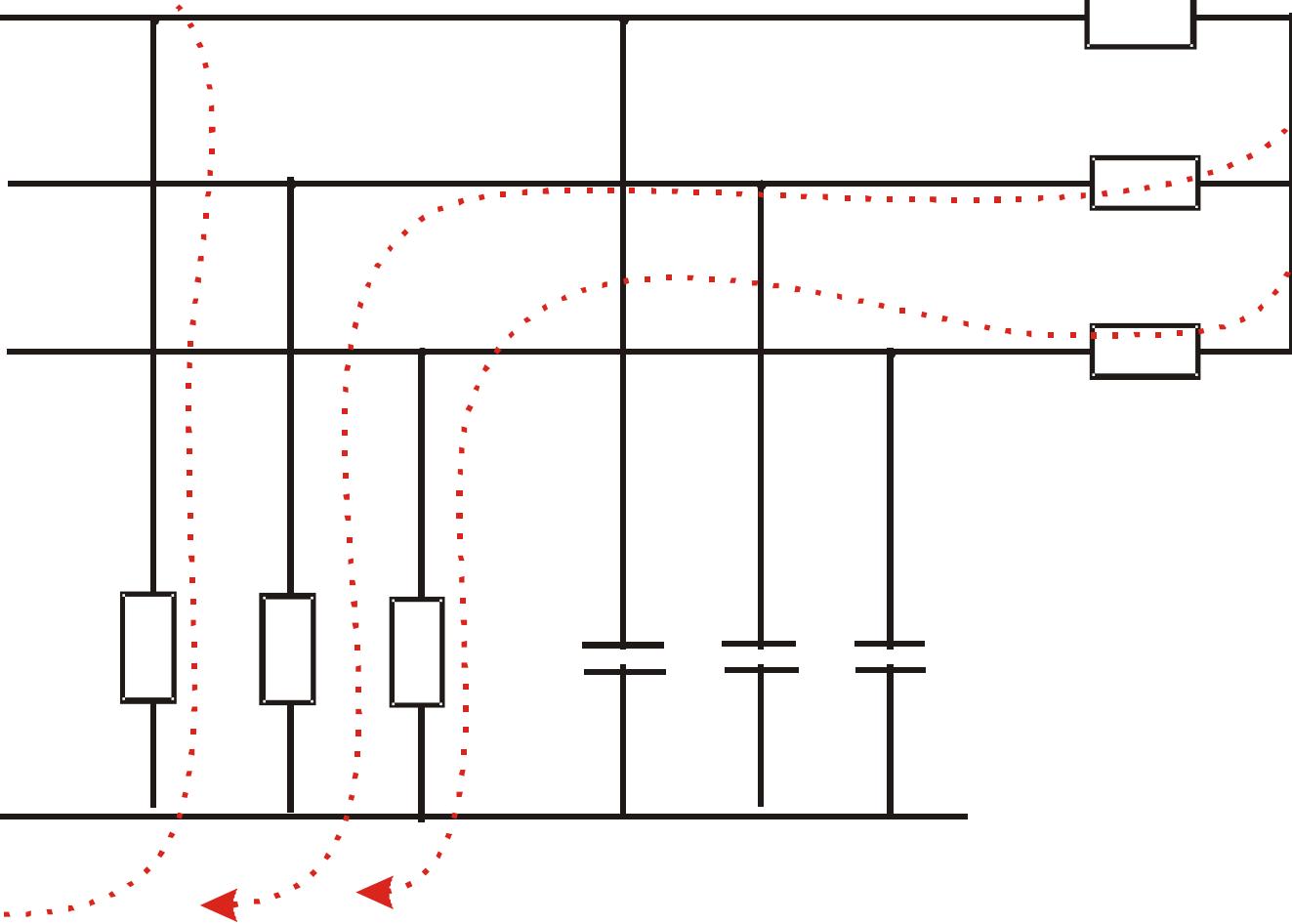
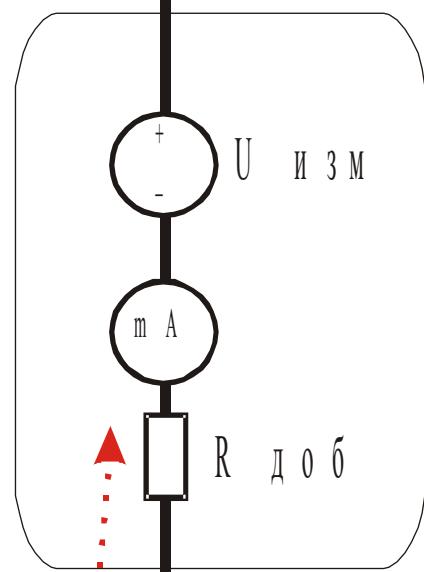
Непрерывный контроль и/или Периодический контроль

Измерение

и/или

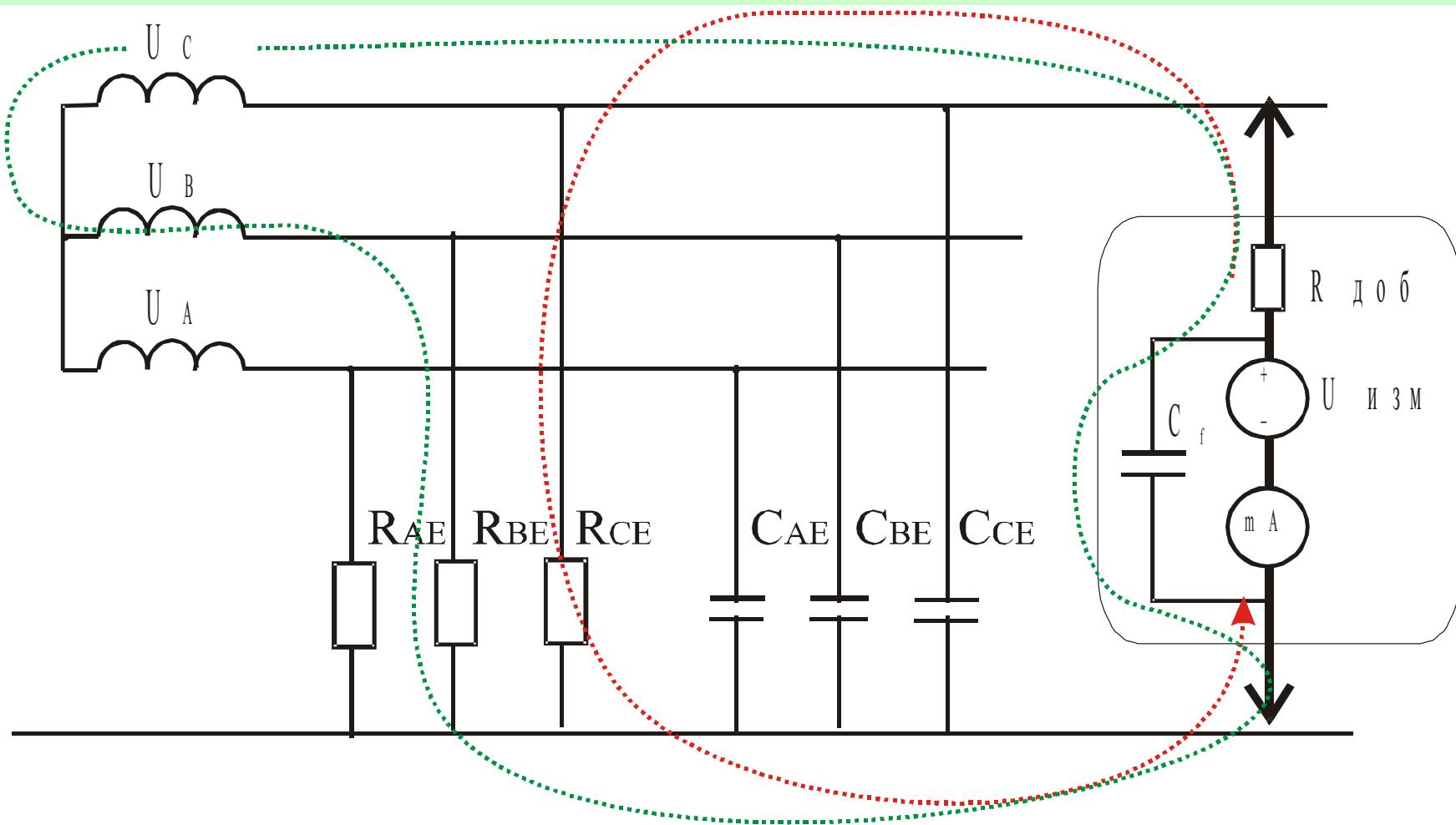
Сигнализация

ПКИ

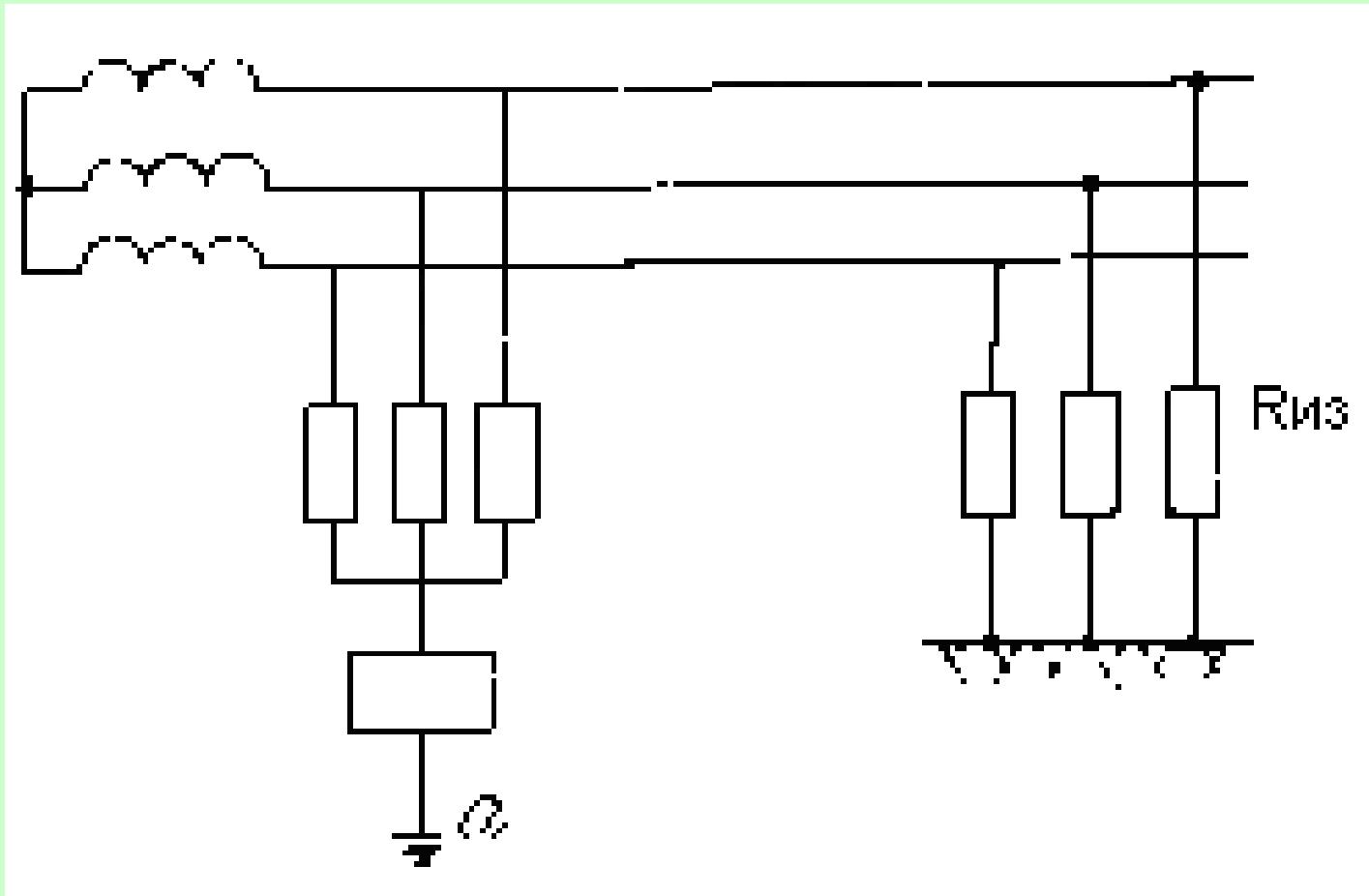


$$I_{изм} = E / (R_{доб} + R_{изм})$$

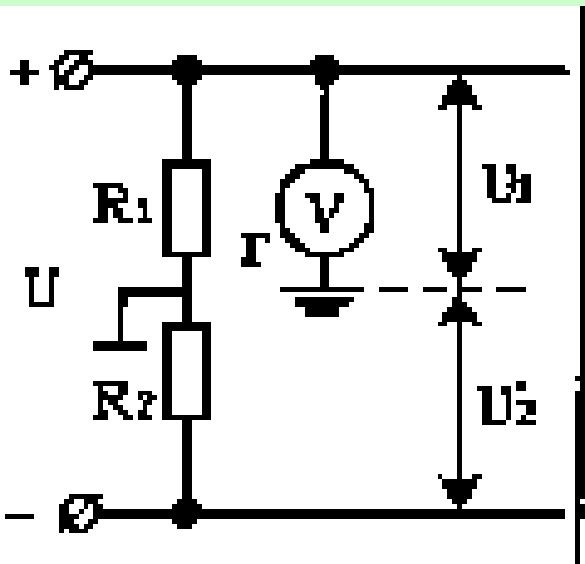
ПКИ



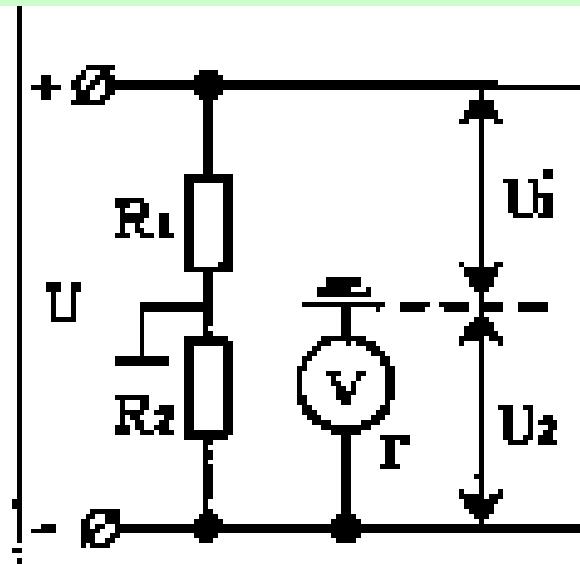
Асимметр



МЕТОД ТРЕХ ОТСЧЕТОВ ВОЛЬТМЕТРА



сопротивление изоляции сети



$$R_{\theta} = r_b \frac{U - (U_1 + U_2)}{U_1 + U_2}$$

положительного полюса

$$R_1 = r_b \frac{U - (U_1 + U_2)}{U_2}$$

отрицательного полюса

$$R_2 = r_b \frac{U - (U_1 + U_2)}{U_1}$$

Гигиена труда

Производственная санитария

- изучает воздействие вредных факторов, их нормирование, способы контроля и защиты.

ВФ - воздействие на работающего, которое в определенных условиях в течение длительного времени ведет к заболеванию или ухудшению здоровья .

Здоровье - это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней или физических дефектов (преамбула Устава Всемирной Организации Здравоохранения).

- Рабочая зона - это пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающего (более 50% рабочего времени или более 2 часов непрерывно). [ГОСТ 12.1.005-87]

Классификация труда по тяжести

1. Психофизиологические условия труда - комплекс показателей, характеризующих сам труд.

Тяжесть труда - характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечно-сосудистую, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность.

- физическая динамическая нагрузка, масса поднимаемого и перемещаемого груза, общее число стереотипных рабочих движений, величина статической нагрузки, форма рабочей позы, степень наклона корпуса, перемещения в пространстве.

Напряженность труда - характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника.

- интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, степень монотонных нагрузок, режим работы.

2. Санитарно-гигиенические условия труда – показатели, характеризующие внешнюю производственную среду, в которой совершается труд.

- микроклимат на рабочем месте, освещение, уровень шума и вибрации, присутствие в воздухе инородных аэрозолей, паров и газов, электромагнитные и ионизирующие излучения и др.

Принципы нормирования действия ВФ.

Нормирование :

- санитарно-гигиеническое
- техническое

Санитарно-гигиеническое нормирование.

—устанавливает предельно допустимые уровни воздействия ВФ на людей.

Критерий безопасности.

ПДУ для однократных воздействий (в аварийных и ЧС)
устанавливаются исходя из принципа невозможности
вызывать опасные для здоровья последствия.

Санитарно-гигиеническое нормирование

Критерий безвредности воздействия.

Уровень воздействия фактора, когда при **ежедневной работе** в пределах 8 часов, но не более 41 часа в неделю, в течение всего рабочего стажа (~50 лет) у работающих не могут возникать **заболевания или отклонения** в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, **непосредственно** в процессе работы или в **отдаленные** сроки.

Для населения ПДУ устанавливаются аналогично исходя из условия круглосуточного воздействия в течении всей жизни (~70 лет).

Санитарно-гигиеническое нормирование

Критерий комфорта

Воздействие ВФ не должно вызывать дополнительное напряжение сил организма при определенных видах деятельности (микроклимат, шум, освещенность).

Критерий работоспособности – вызываемое утомление не ведет к заметному снижению производительности труда

РУКОВОДСТВО Р 2.2.755-99 Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

Оптимальные условия труда (1 класс) - сохраняется здоровье работающих и поддерживается высокий уровень работоспособности.
- неблагоприятные факторы отсутствуют, либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

- наиболее высокое проявление функции работающей системы (двигательной, сенсорной и др.), например наибольшая точность различения, наибольшая скорость реакции и т. д.
- длительное сохранение работоспособности системы, т. е. выносливость.
- наиболее короткий период врабатываемости, т. е. период перехода включаемой в работу системы человека от состояния покоя к состоянию высокой работоспособности.

- **Допустимые условия труда (2 класс)**
- изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха.
- неблагоприятные факторы не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест.

Допустимые условия труда условно относят к безопасным.

Вредные условия труда (3 класс) - вредные факторы превышают гигиенические нормативы и оказывают неблагоприятное действие на организм работающего и/или его потомство.

1 степень 3 класса (3.1.) - функциональные изменения восстанавливаются при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2 степень 3 класса (3.2.) - стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости появлению начальных признаков профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3 степень 3 класса (3.3) - развитие профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, рост хронической (производственно-обусловленной) патологии;

4 степень 3 класса (3.4.) - могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности), значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Опасные (экстремальные) условия труда (4 класс), характеризуются уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в т.ч. и тяжелых форм.

- Работа в опасных (экстремальных) условиях труда (4 класс) **не допускается**, за исключением ликвидации аварий, проведения экстренных работ для предупреждения аварийных ситуаций

Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ химической природы (превышение ПДК, раз)

Класс условий труда					
Допустимый	Вредный				Опасный
2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
≤ ПДК	1,1-3,0	3,1-6,0	6,1-10,0	10,1-20,0	>20,0

Классы условий труда по показателям напряженности трудового процесса

Показатели напряженности трудового процесса	Классы условий труда			
	Оптимальный	Допустимый	Вредный	
	1	2	3.1	3.2

1. Интеллектуальные нагрузки:

1.1. Содержание работы	Отсутствует необходимость принятия решения	Решение простых задач по инструкции	Решение сложных задач с выбором по известным алгоритмам (работа по серии инструкций)	Эвристическая (творческая) деятельность, требующая решения алгоритма, единоличное руководство в сложных ситуациях
---------------------------	--	-------------------------------------	--	---

Техническое нормирование.

–устанавливает предельно допустимые уровни ВФ, создаваемого конкретным видом техники на рабочих местах или в окружающем пространстве.

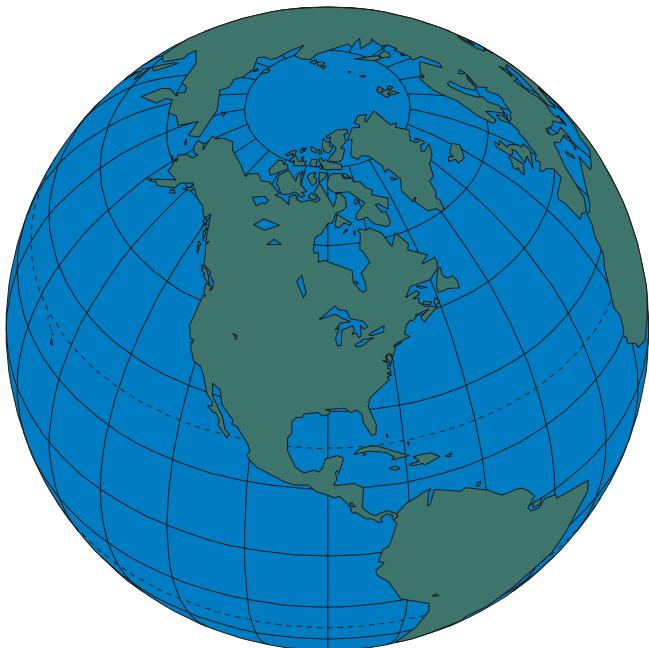
Жесткость ПДУ устанавливается с учетом условий эксплуатации по критериям:

- технической достижимости
- экономической целесообразности
- ограничение условий эксплуатации.

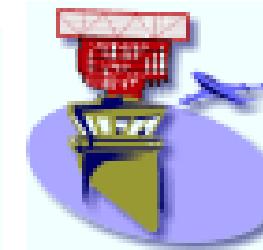
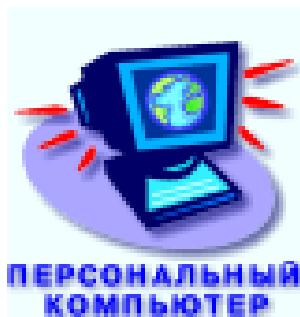
ALARA – Так низко как рационально достижимо.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

- естественные

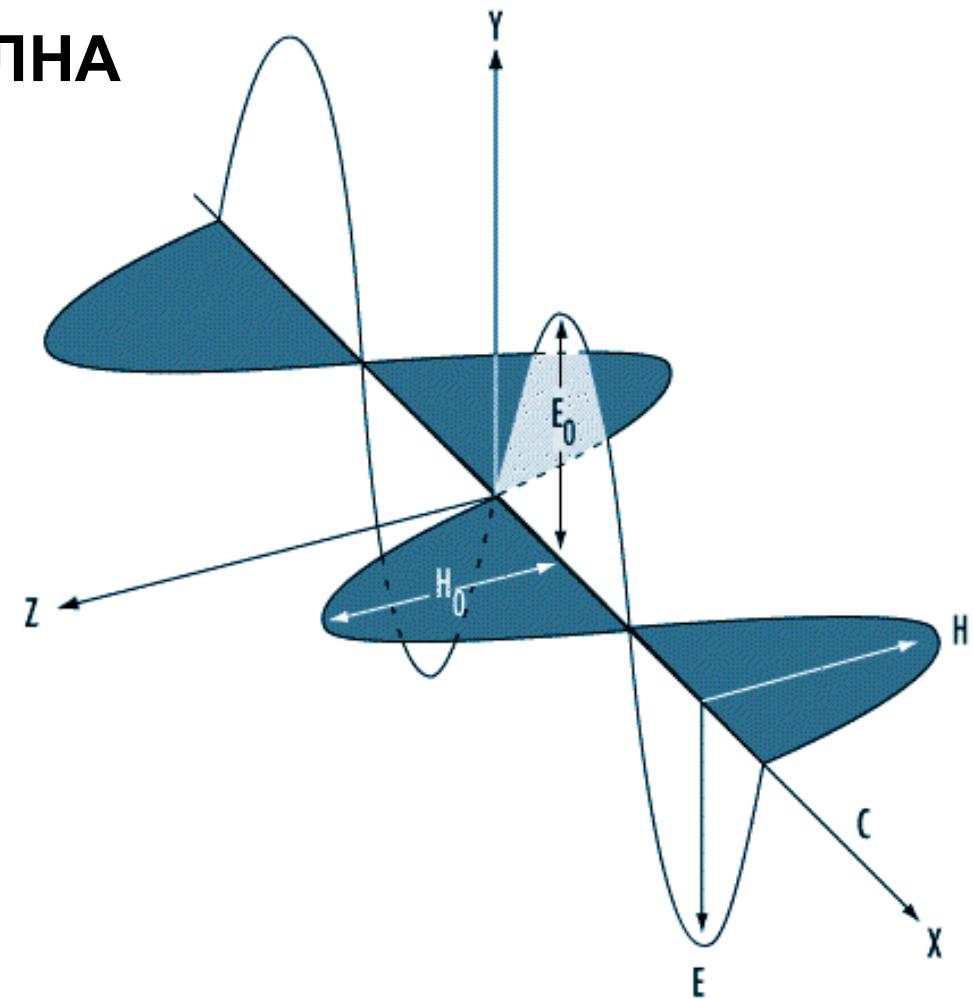


- техногенные



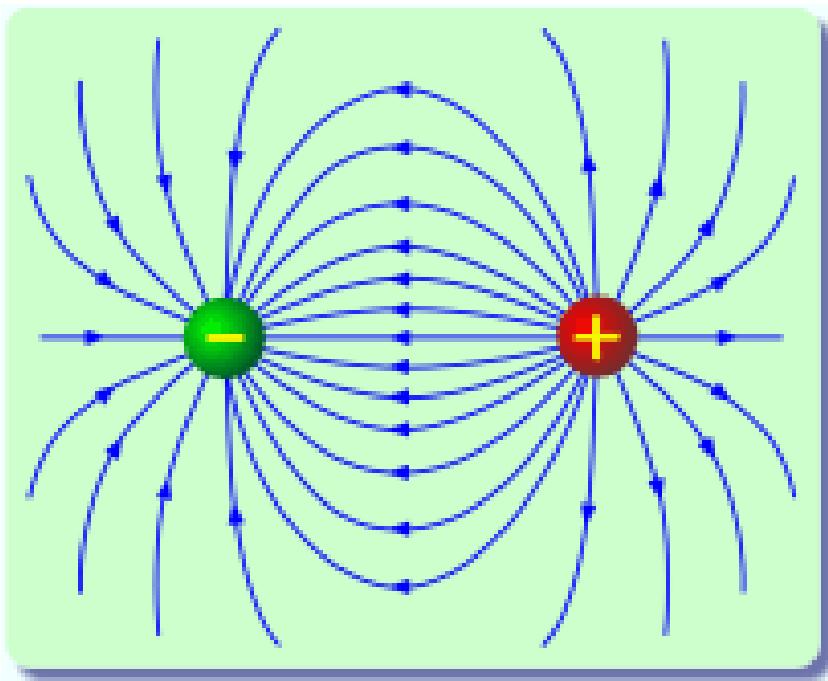
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon' \mu'}}$$



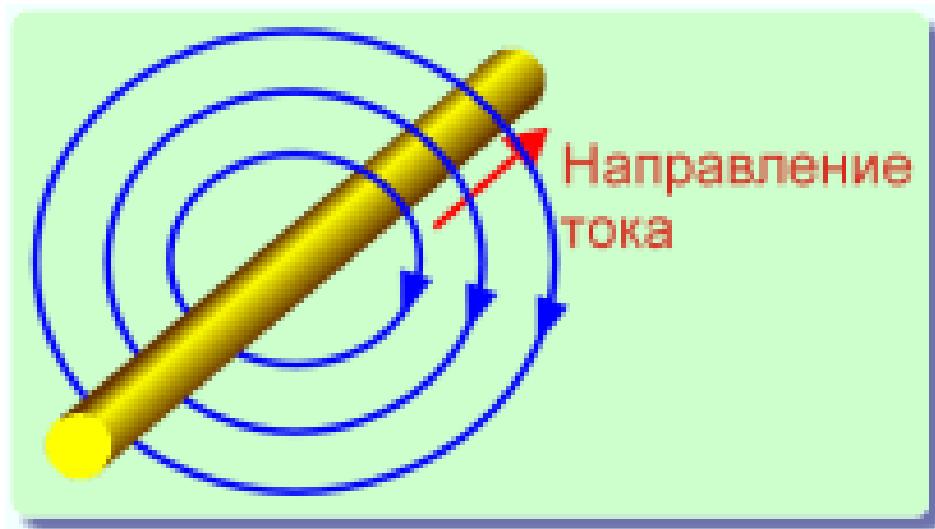
где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с скорость света в вакууме,
 ϵ' - относительная диэлектрическая проницаемость,
 μ' - относительная магнитная проницаемость.

Электрическое поле



напряженность
Е (В/м)

Магнитное поле



Н (А/м).



Ближняя зона (индукции)
- происходит формирование волны

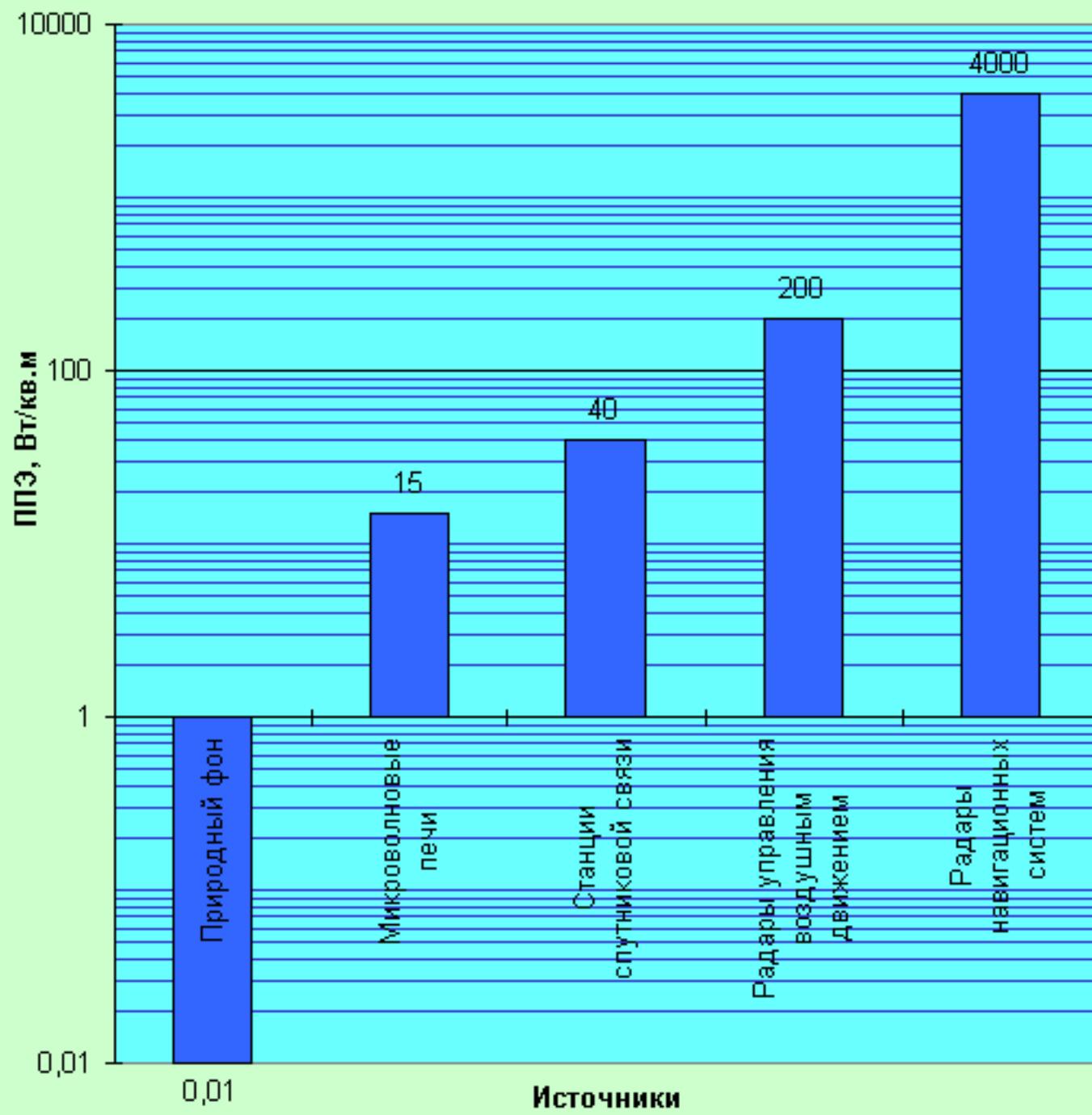
$$r < \lambda/2\pi$$

Интенсивность (E и H) $\sim r^{-2}$ или r^{-3}

$$\text{Е} \cdot \text{Н} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} S$$

Плотность потока энергии S , Вт/м²

$$S = E \cdot H \sim r^{-2}$$



Наименование	Длины волн	Частота
Промышленная частота	6000 – 300 км	50 - 1000 Гц
диапазон радиочастот	НЧ - ВЧ	10 км – 1 м
	СВЧ	1 м – 1 мм
Оптический диапазон	ИК	10000 - 760 нм
	Видимый свет	760—390 нм
	УФ	390 – 1 нм
Ионизирующие излучения	Рентгеновское излучение	10—0,01 Å
	Гамма-излучение	0,01 Å и менее

$$1\text{нм} = 10\text{\AA}$$

Характер воздействия ЭМП на организм определяется:

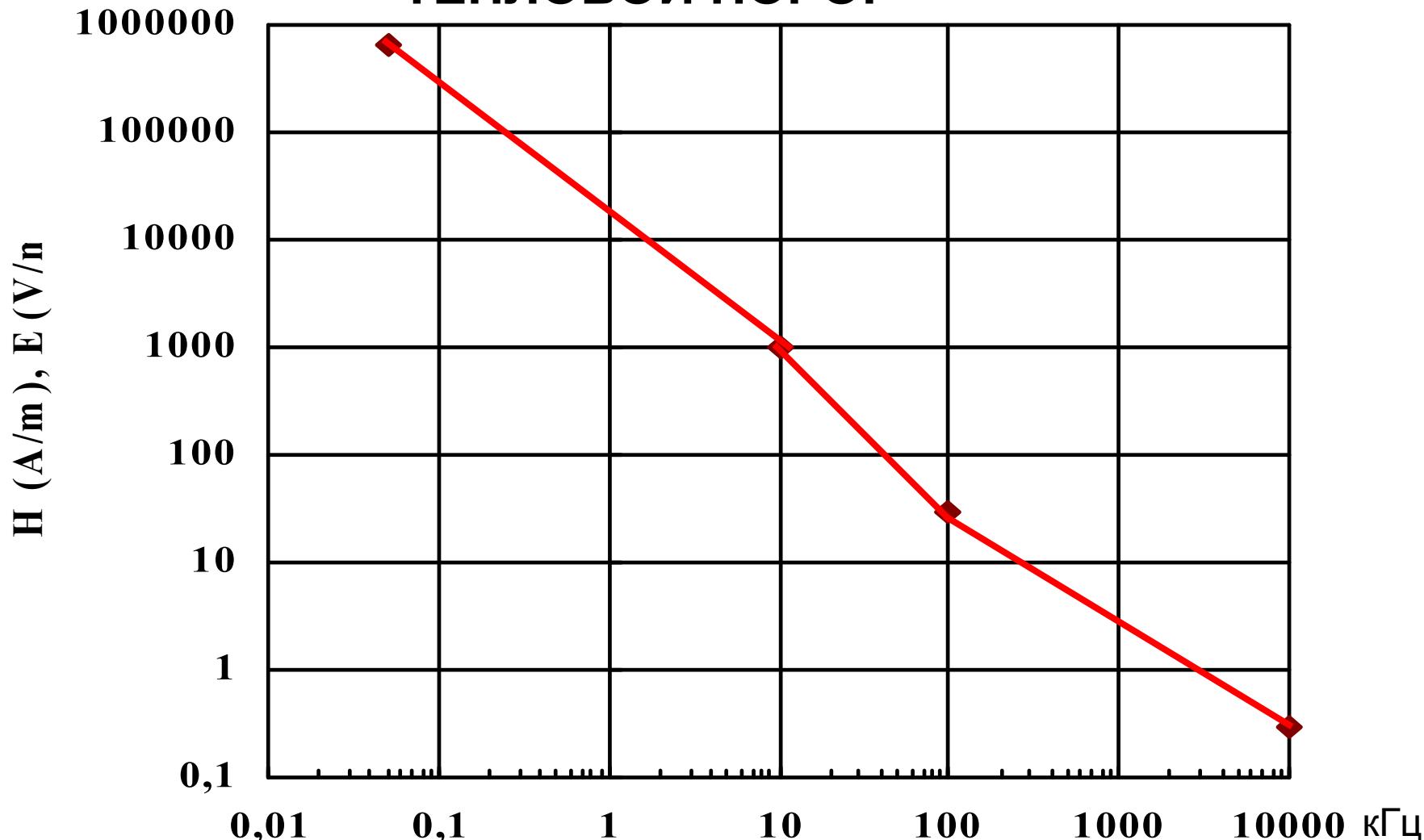
- **частотой** излучения;
- **интенсивностью** потока энергии (Е, Н, ППЭ)
- **продолжительностью** и режимом воздействия;
- размером облучаемой поверхности тела;
- индивидуальными особенностями организма;
- наличием сопутствующих вредных факторов, таких как: температура окружающей среды, шум, загазованность и другие факторы, которые снижают сопротивляемость организма.

ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

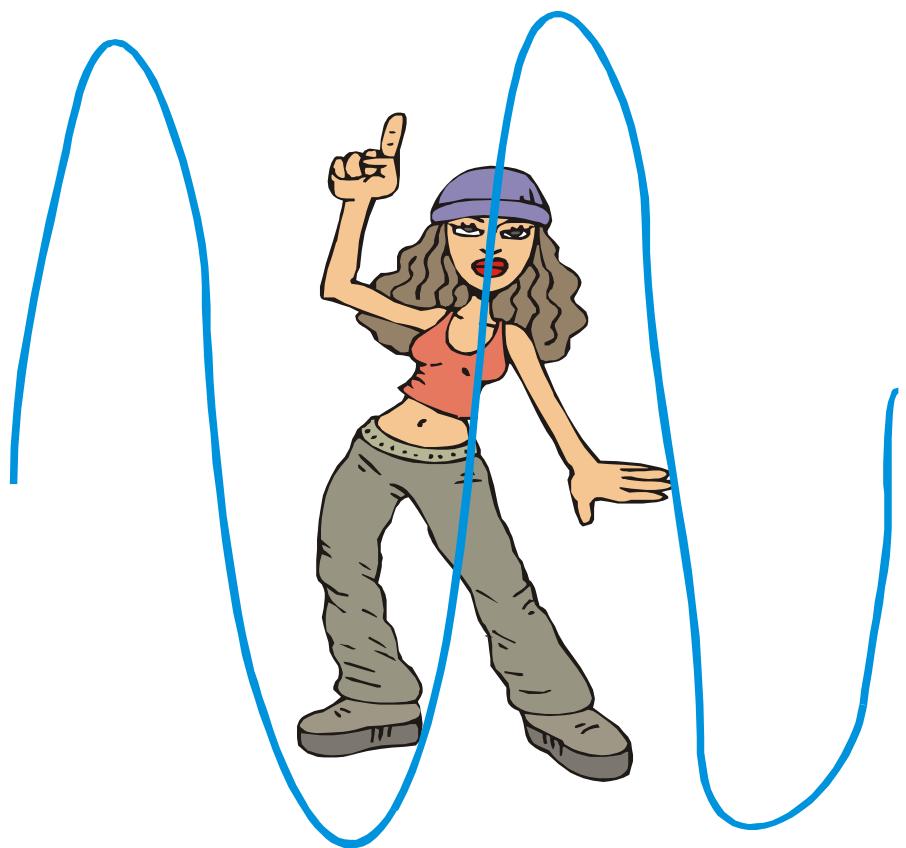
- тепловое:

ЭМП вызывает повышенный нагрев тканей человека, и если механизм терморегуляции не справляется с этим явлением, то возможно повышение температуры тела. Тепловое воздействие наиболее опасно для мозга, глаз, почек, кишечника. Облучение может вызвать помутнение хрусталика глаза (катаракту).

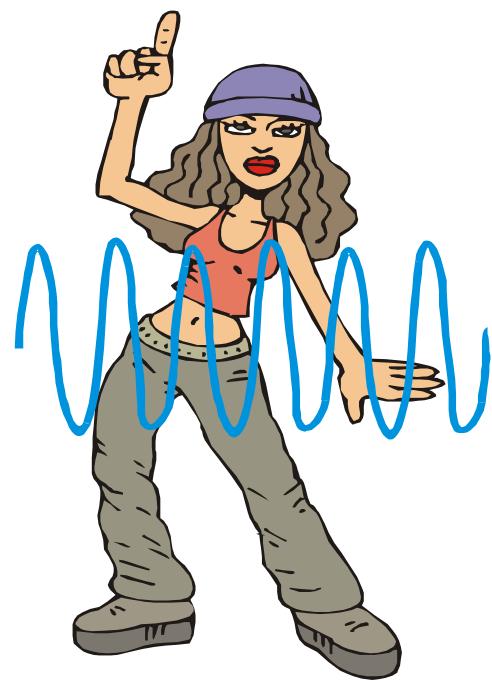
ТЕПЛОВОЙ ПОРОГ



$f, \text{ кГц}$	0,05	10	100	10000	$3 \cdot 10^8$
$E, \text{ В/м}, H, \text{ А/м}$	650000	1000	30	0,3	
$S, \text{ Вт}/\text{м}^2$					100



НЧ : $\lambda \gg r_T$



СВЧ : $\lambda \approx r_T$

ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

- нетепловое (информационное):

Под действием ЭМП изменяются микропроцессы в тканях, ослабляется активность белкового обмена, происходит торможение рефлексов, снижение кровяного давления, а в результате - головные боли, одышка, нарушение сна.

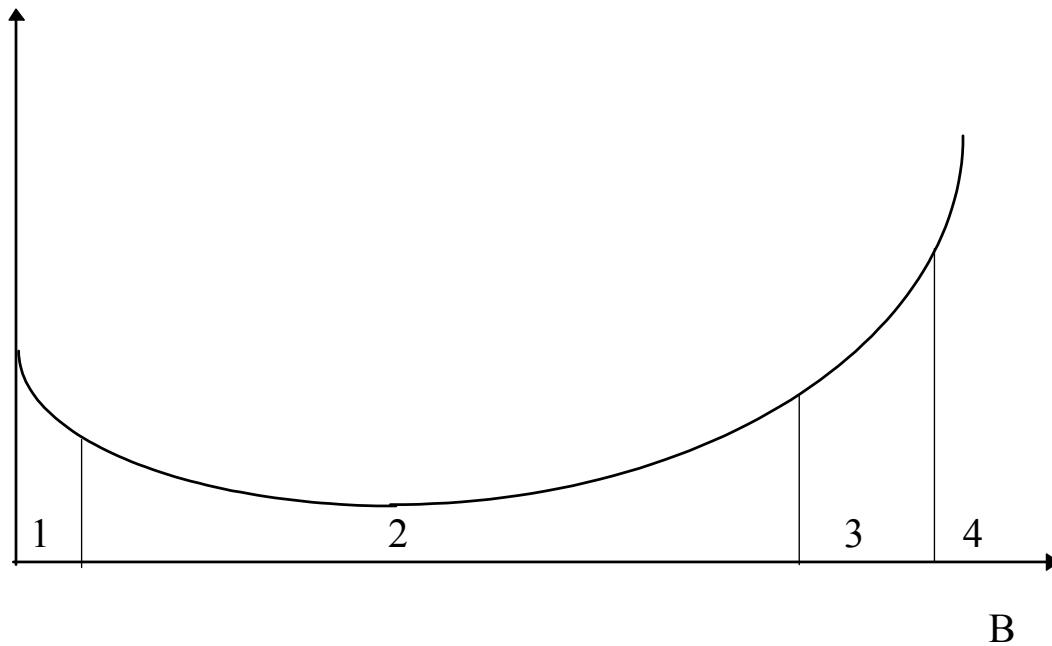
- *Влияние на нервную систему*
- *Влияние на иммунную систему*
- *Влияние на эндокринную систему и нейрогуморальную реакцию*
- *Влияние на половую функцию*

САНИТАРНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

**СанПиН 2.2.4.1191-03 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
УСЛОВИЯХ**

устанавливают на рабочих местах:

- временные допустимые уровни (ВДУ) ослабления геомагнитного поля (ГМП),
- ПДУ электростатического поля (ЭСП),
- ПДУ постоянного магнитного поля (ПМП),
- ПДУ электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц (ЭП и МП ПЧ),
- ПДУ электромагнитных полей в диапазоне частот $\geq 10 \text{ кГц} - 30 \text{ кГц}$,
- ПДУ электромагнитных полей в диапазоне частот $\geq 30 \text{ кГц} - 300 \text{ ГГц}$.



Изменение вредности (A)
в зависимости от
интенсивности ЭМП (B).

Временный допустимый коэффициент ослабления интенсивности геомагнитного поля на рабочих местах персонала в помещениях (объектах, технических средствах) в течение смены

$$K_0^{\text{гмп}} = H_0 / H_e \leq 2$$

где $|H_0|$ - модуль вектора напряженности магнитного поля в открытом пространстве;

$|H_e|$ - модуль вектора напряженности магнитного поля на рабочем месте в помещении.

- **электростатическое поле (ЭСП)**

Предельно допустимый уровень напряженности ЭСП равен **60 кВ/м** в течение ≤ 1 ч.

При напряженности менее **20 кВ/м** время пребывания в ЭСП не регламентируется.

В диапазоне напряженности 20...60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты (ч)

где Е— фактическое значение напряженности ЭСП, кВ/м.

$$t_{\partial on} = \left(\frac{60}{E_{факт}} \right)^2$$

ПДУ постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряжен- ности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряжен- ности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0 - 10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

1 А/м ~ 1,25 мкТл, 1 мкТл ~ 0,8 А/м.

Напряженность МП линии электропередачи напряжением до 750 кВ обычно не превышает 20...25 А/м.

ЭМП промышленной частоты

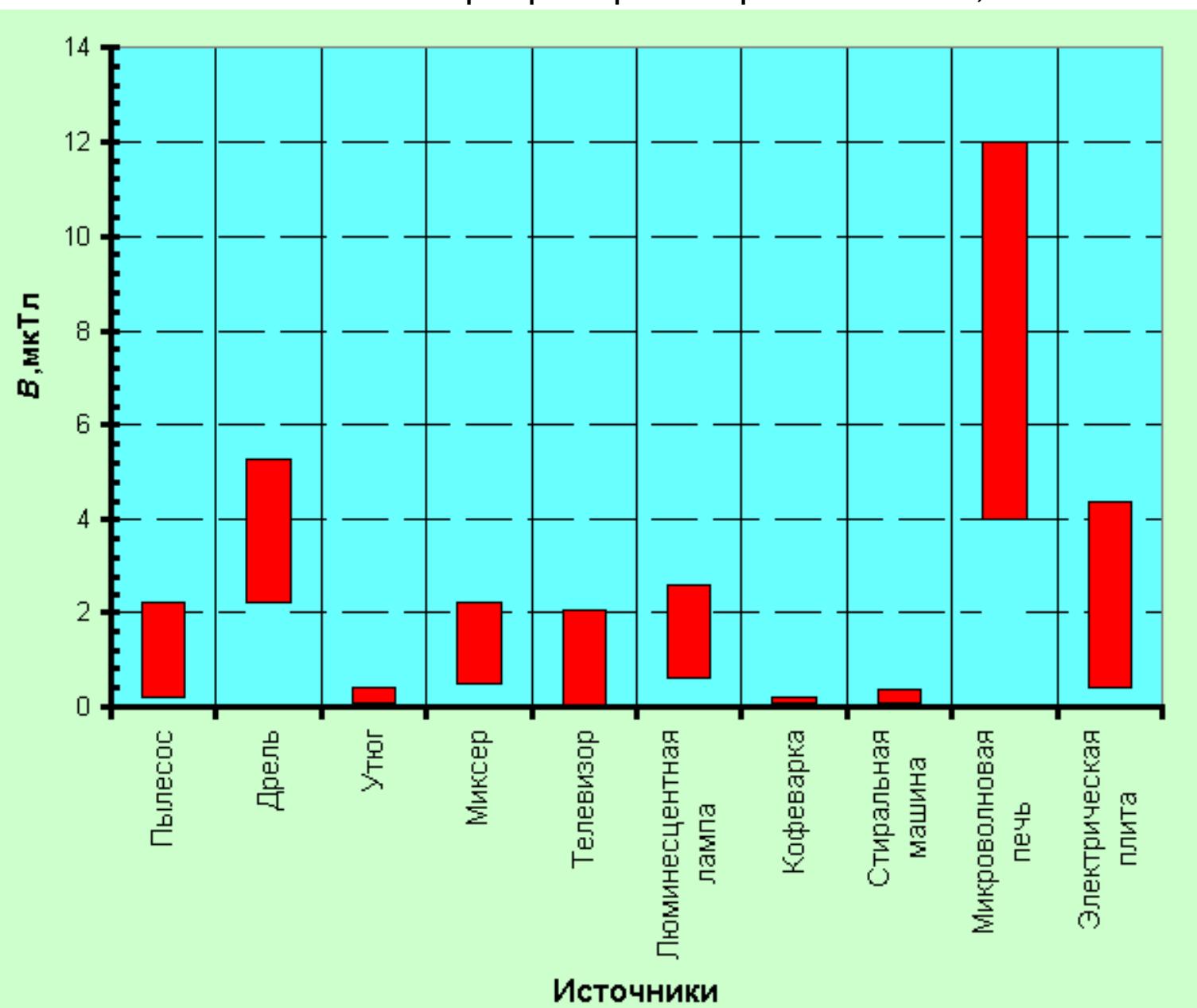
- Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным **5 кВ/м**.
- при $E = 5 \dots 20$ кВ/м допустимое время пребывания в ЭП
$$T = (50/E) - 2, \text{ час}$$
- При $20 < E < 25$ кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.
- Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

- внутри жилых зданий 0,5 кВ/м;
- на территории жилой застройки 1 кВ/м;
- в населенной местности, вне зоны жилой застройки, а также на территории огородов и садов 5 кВ/м;
- на участках пересечения воздушных линий (ВЛ) с автомобильными дорогами 10 кВ/м;
- в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и частично посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) 15 кВ/м;
- в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения 20 кВ/м.

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
<= 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Средние уровни магнитного поля промышленной частоты бытовых электроприборов на расстоянии 0,3 м



Нормирование ЭМИ радиочастотного диапазона

В основу гигиенического нормирования положен принцип действующей дозы.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот

- $\geq 30 \text{ кГц} - 300 \text{ МГц}$:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 \cdot T, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}, \quad \mathcal{E}\mathcal{E}_H = H^2 \cdot T, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$$

- $\geq 300 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$:

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ппэ}} = PPE \times T, (\text{Вт/м}^2) \cdot \text{ч}, (\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{ч}$$

где Е - напряженность электрического поля (В/м),

Н - напряженность магнитного поля (А/м),

Т - время воздействия за смену (час.).

ППЭ - плотность потока энергии (Вт/м², мкВт/см²).

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции для рабочих мест

Диапазоны частот	По электрической составляющей		По магнитной составляющей		По плотности потока энергии.			
	$\mathcal{E}\mathcal{E}_E$ $(\text{В/м})^2 \text{ ч}$	E В/м		$\mathcal{E}\mathcal{E}_H$ $(\text{А/м})^2 \text{ ч}$	H А\м		$\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ппЭ}}$ $(\text{мкВт/см}^2) \text{ ч}$	ППЭ мкВт/см^2
		T ≥ 8 ч	T ≤ 0.08 ч		T ≥ 8 ч	T ≤ 0.08 ч		
30 кГц-3 МГц	20000.0	50	500	200,0	5.0	50		
3-30 МГц	7000.0	30	296	-	-			
30-50 МГц	800.0	10	80	0.72	0.3	3		
50-300 МГц	800.0	10	80	-	-			
300 МГц-300 ГГц	—	—	---	—	—	--	200.0	25 1000

Предельно допустимые уровни ЭМИ РЧ для населения, лиц, не достигших 18 лет и женщин в состоянии беременности

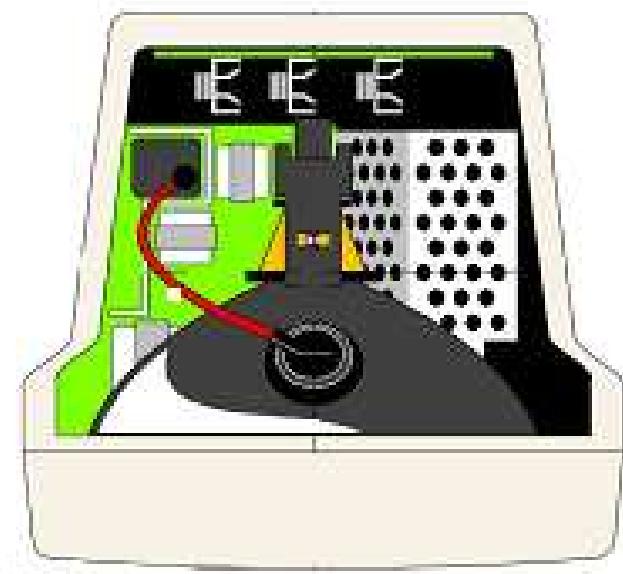
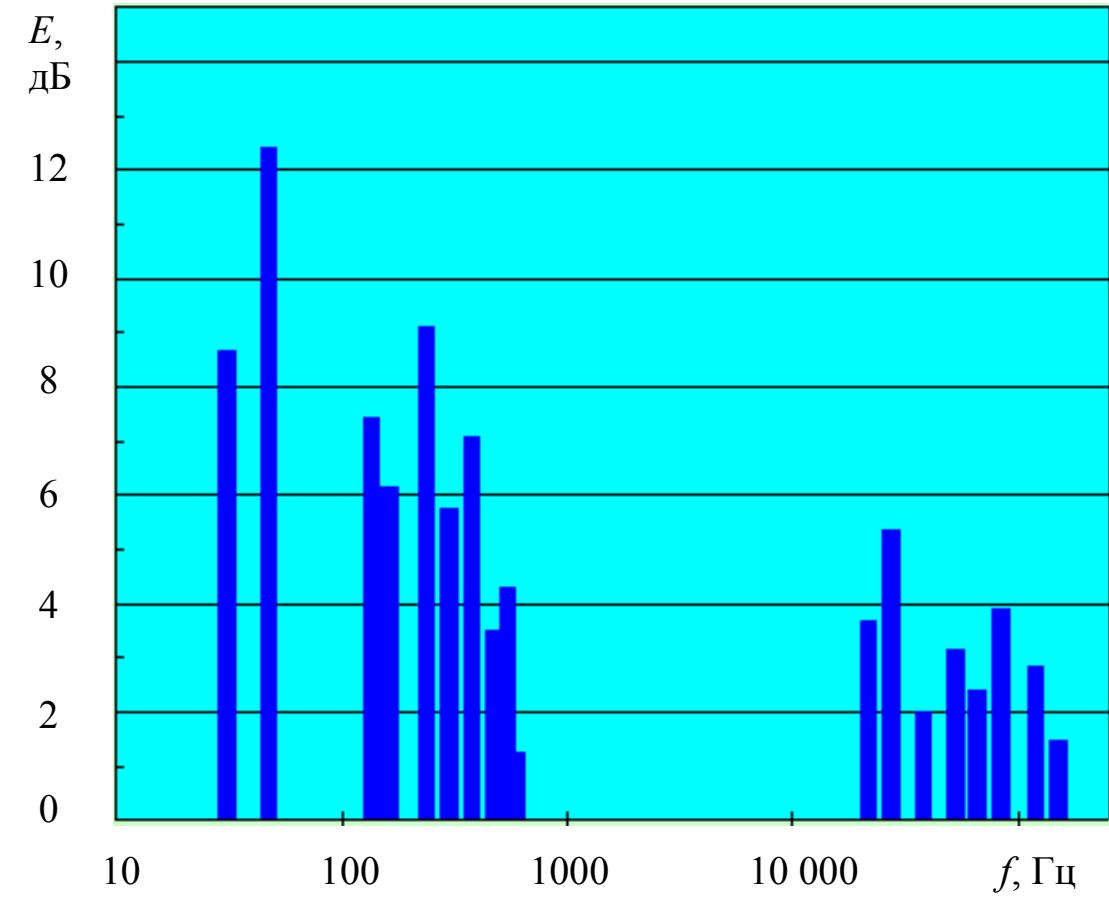
	Напряженность электрического поля, В\м				Плотность потока энергии, мкВт\см ²
территории жилой застройки и массового отдыха, помещения жилых, общественных и производственных зданий	25	15	10	3	10 100 -сканирующие антенны или кратковременно

ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ЭМП

ПЭВМ



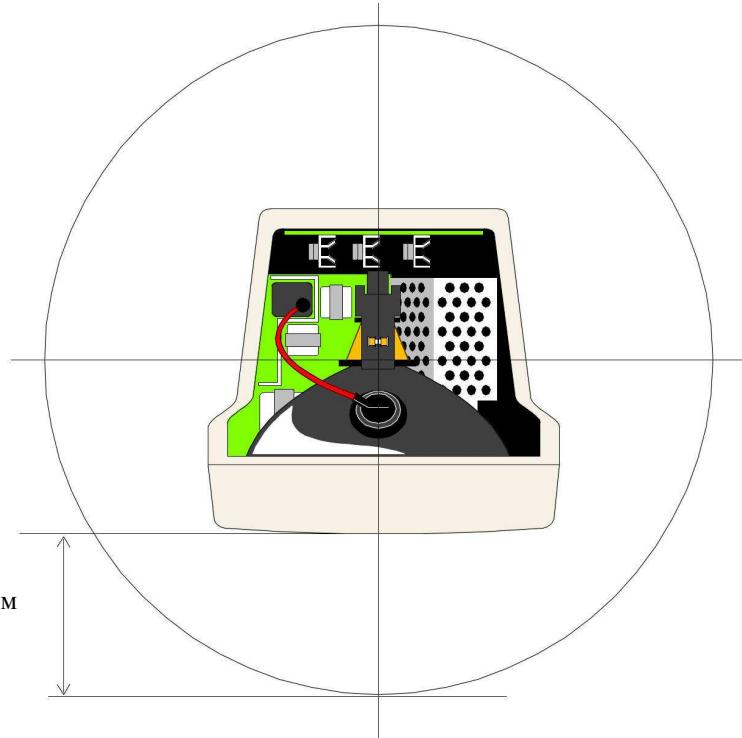
Вид воздействия	Нарушения зрения	Кожные заболевания	Стресс	Нарушения в период беременности
Ультрафиолетовое излучение	+	?	?	?
Мерцание изображения	+	-	+	?
Яркий видимый свет	+	-	+	-
Блики и отражённый свет	+	-	+	-
Статическое электричество	+	+	?	?
Электромагнитные поля низких частот	?	-	?	+
Рентгеновские излучения	?	-	-	+



Спектральная характеристика излучения
монитора в диапазоне 10 Гц...400 кГц

- **ГОСТ Р 50948-2001**
Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности
- **СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03** Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

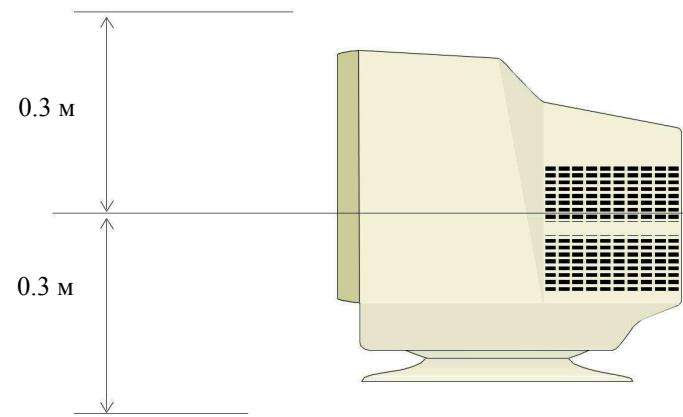
Наименование параметра	Допустимое значение		
	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, MPR II	TCO-92, TCO-95, TCO-99, TCO-03	
Напряжённость электрического поля: при частотах 5 Гц...2 кГц при частотах 2...400 кГц	25 В/м 2.5 В/м	10 В/м 1 В/м	
Плотность магнитного потока: при частотах 5 Гц...2 кГц при частотах 2...400 кГц	250 нТ 25 нТ	200 нТ 25 нТ	
Электростатический потенциал экрана видеомонитора	500 В	500 В	
Напряжённость электростатического поля на рабочем месте	15 кВ/м	—	



СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 : измерение уровней переменных электрических и магнитных полей, статических электрических полей производится вокруг ПЭВМ на расстоянии 50 см от экрана на трёх уровнях на высоте 0.5; 1.0 и 1.5 м.

ТСО:

показатели замеряются на расстоянии 30 см от фронтальной плоскости экрана и 50 см вокруг дисплея (за исключением магнитного поля в области 2...400 кГц – где все расстояния составляют 50 см).



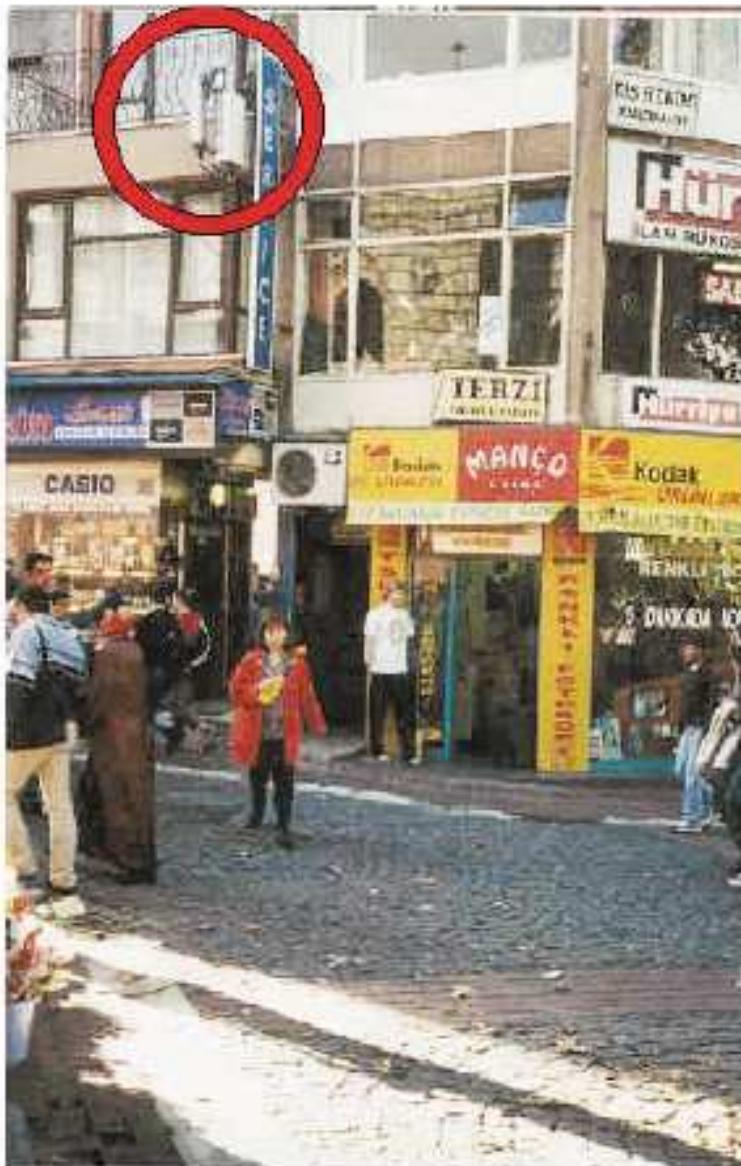


Система сотовой радиотелефонной связи



В 1910 году Ларс Эрикссон предпринял попытку сделать первый мобильный телефон

Наименование стандарта	Диапазон рабочих частот БС	Диапазон рабочих частот МРТ	Максимальная излучаемая мощность БС	Максимальная излучаемая мощность МРТ
NMT-450 аналоговый	463 – 467,5 МГц	453 – 457,5 МГц	100 Вт	1 Вт
AMPS аналоговый	869 – 894 МГц	824 – 849 МГц	100 Вт	0,6 Вт
D-AMPS (IS-136) цифровой	869 – 894 МГц	824 – 849 МГц	50 Вт	0,2 Вт
CDMA цифровой	869 – 894 МГц	824 – 849 МГц	100 Вт	0,6 Вт
GSM-900 цифровой	925 – 965 МГц	890 – 915 МГц	40 Вт	0,25 Вт
GSM-1800 (DCS) цифровой	1805 – 1880 МГц	1710 – 1785 МГц	20 Вт	0,125 Вт

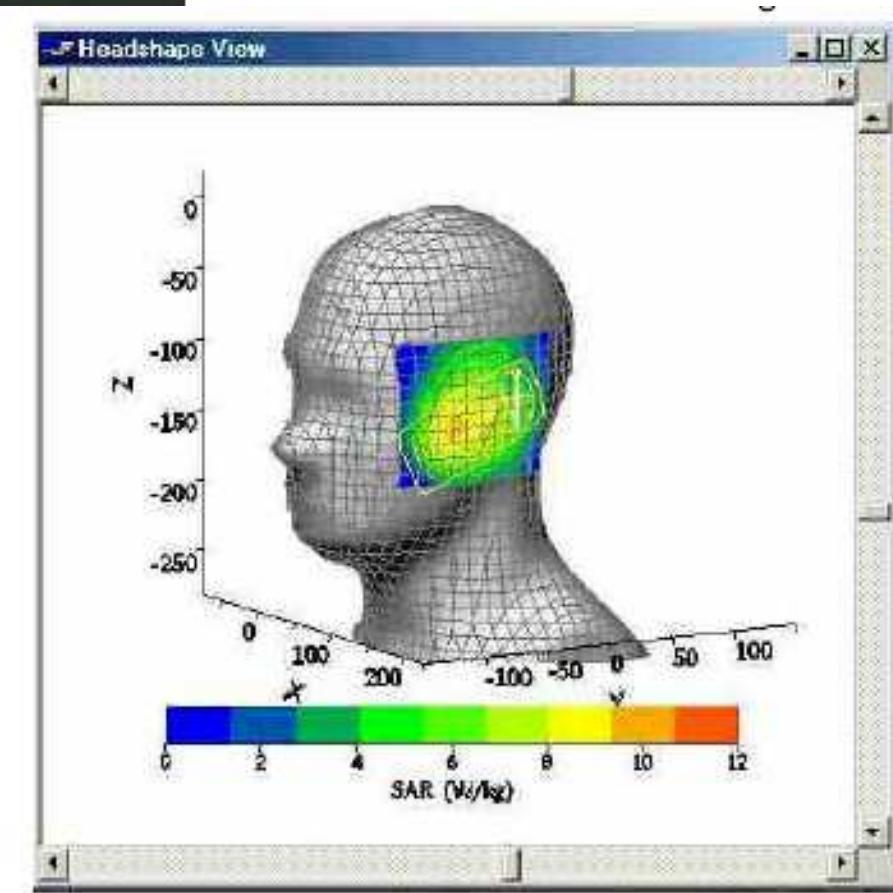




- Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03

ПДУ ЭМП базовых станций

Нормируемые параметры	Диапазоны частот, МГц		
	27 ≤ f < 30	30 ≤ f < 300	300 ≤ f ≤ 2400
Предельно допустимое значение ЭЭ	7000 (В/м) ² · ч	800 (В/м) ² · ч	200 мкВт/см ² ·ч
Максимальный ПДУ	296 В/м	80 В/м	1000 мкВт/см ²
ПДУ для T ≥ 8 ч за смену на рабочих местах персонала БС	30 В/м	10 В/м	25 мкВт/см ²
ПДУ на территории жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений	10 В/м	3 В/м	10 мкВт/см ²





НВ.RU

Доктор Кристофер Ньюман

Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи (включая абонентские терминалы спутниковой связи) непосредственно у головы пользователя



$27 \text{ МГц} \leq f < 30 \text{ МГц}$	- 45 В/м;
$30 \text{ МГц} \leq f < 300 \text{ МГц}$	- 15 В/м;
$300 \text{ МГц} \leq f \leq 2400 \text{ МГц}$	- 100

Мартин Купер, инженер из Motorola, запатентовал конструкцию первого сотового телефона в 1975

SAR - Specific Adsorption Rate

удельная поглощенная мощность, выраженная на единицу массы тела

$$SAR = \frac{|E|^2 \sigma}{2 \rho} \text{ (Вт/кг).}$$

где E – амплитуда электрического поля,
 σ - удельная проводимость,
 ρ - плотность поглощающего материала.

Ткань	Удельная проводимость σ , См/м	Плотность ρ , кг/м ³
Мышцы	0.8	1040
Кожа	0.9	1080
Мозг	1.2	1030
Кость, череп	0.3	1850

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЭМП

» **организационные**

- нормирование параметров облучения
- выбор рациональных режимов работы установок;
- ограничение времени нахождения в зоне облучения;
- предупредительные надписи и знаки

» **лечебно-профилактические**

- предварительные и периодические медосмотры,
- лечение пострадавших от электромагнитного воздействия,
- временный или постоянный перевод на другую работу граждан с профессиональной патологией или усугубляющимися общими заболеваниями, а также женщин в период беременности и кормления;
- недопущение к самостоятельной работе на высокочастотных установках лиц не достигших 18 лет.

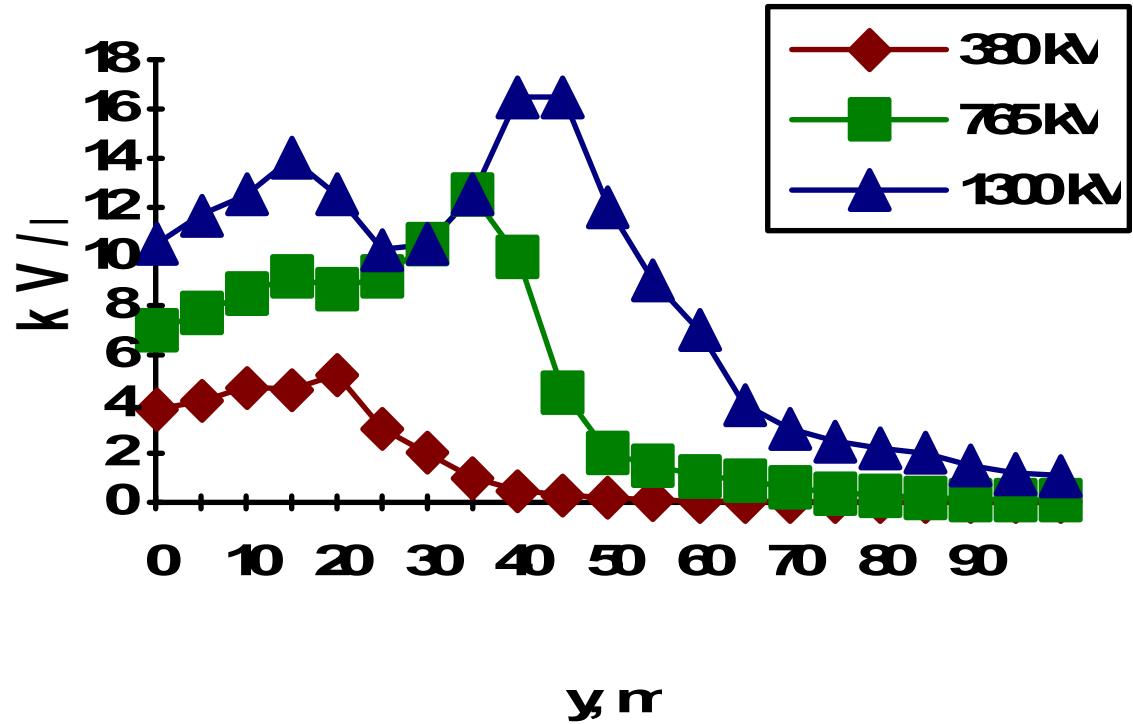
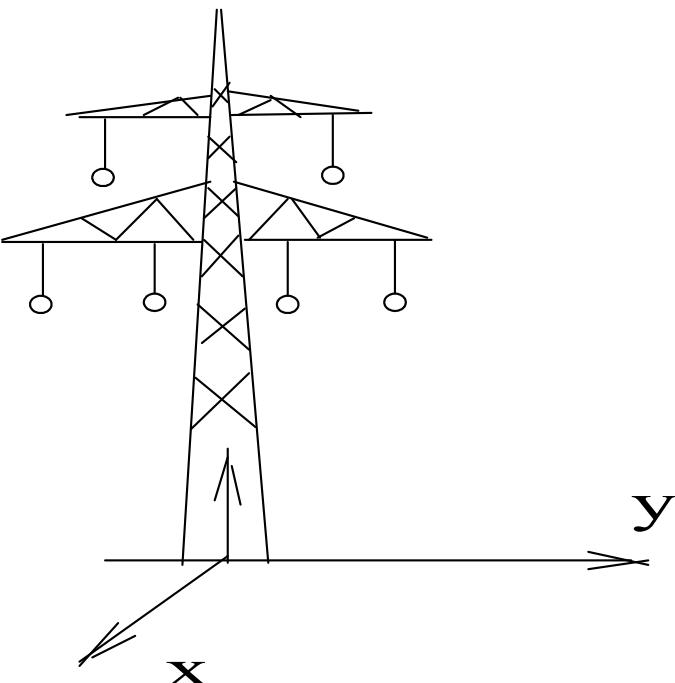
» **инженерно-технические**

Инженерно-технические мероприятия включают:

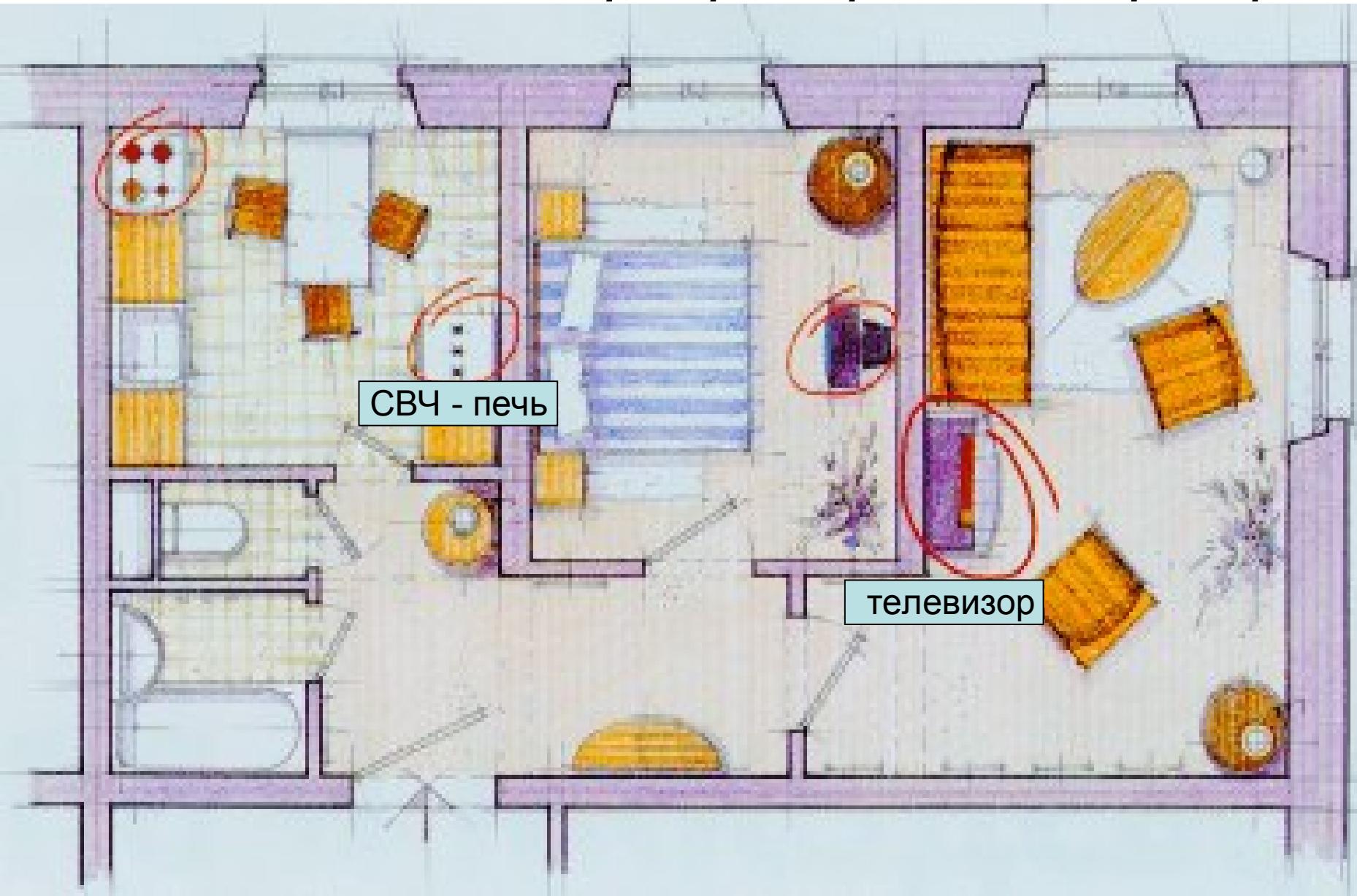
- размещение рабочих мест в зонах ниже ПДУ излучений
 - защита «расстоянием»
 - защита «углом»
- использование средств подавления ЭМП на источнике, на трассе распространения (экранирование), у рецептора (средства индивидуальной защиты);
- использование коаксиальных линий передачи энергии, устранение паразитных наводок на электропровода, металлоконструкции зданий, сети водопровода и отопления, могущие быть переизлучателями электромагнитной энергии.

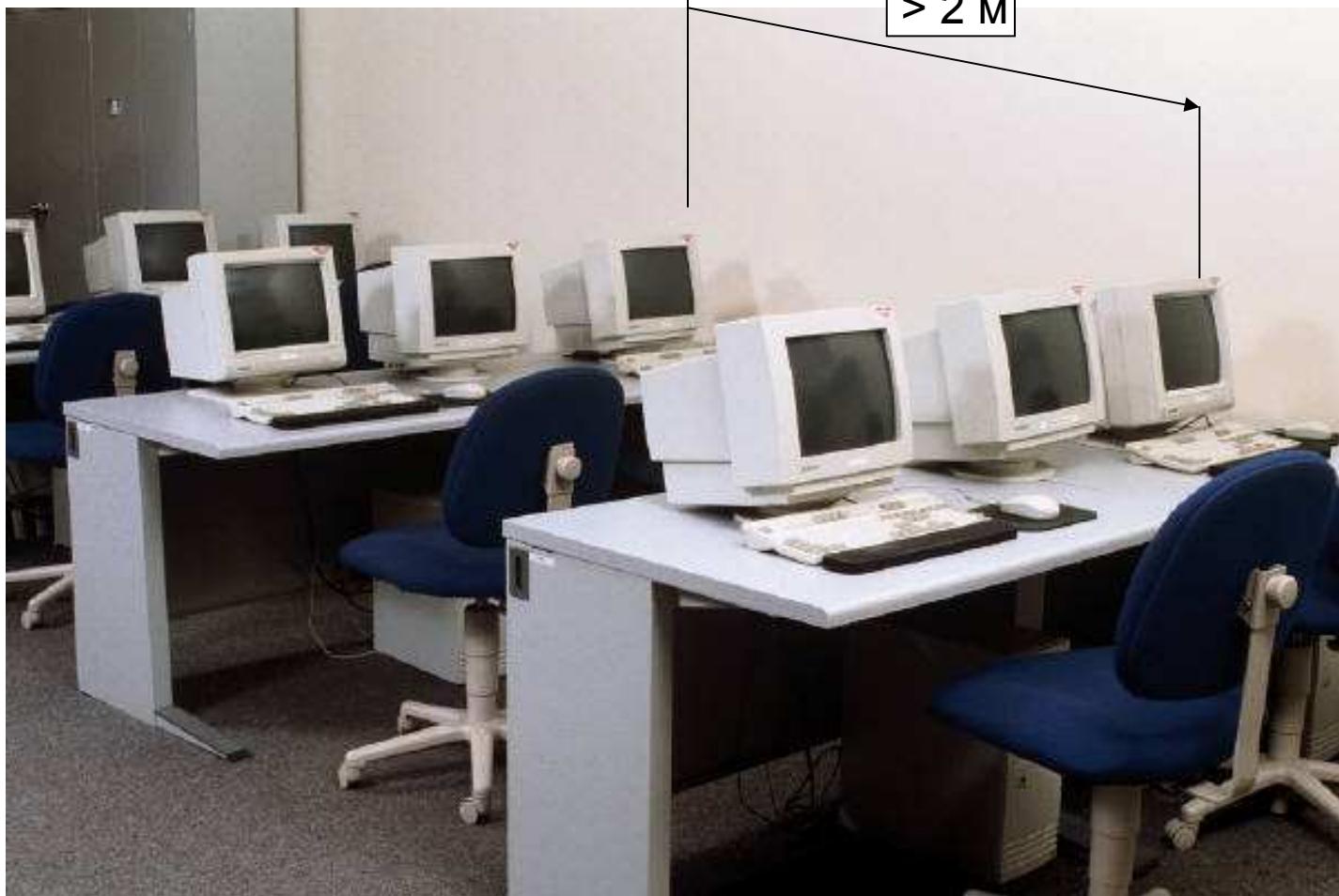
защита «расстоянием»

$$E \sim 1/Y^2$$

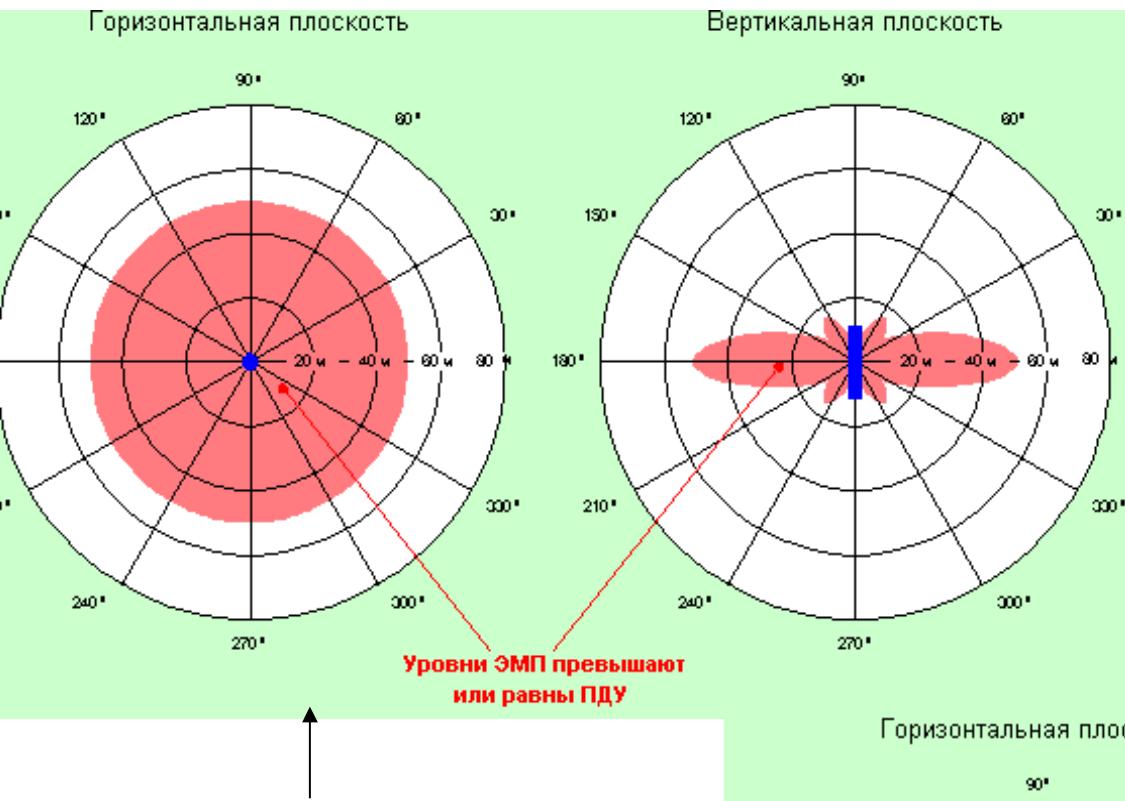


- Вариант **неправильного** размещения бытовых электроприборов в квартире

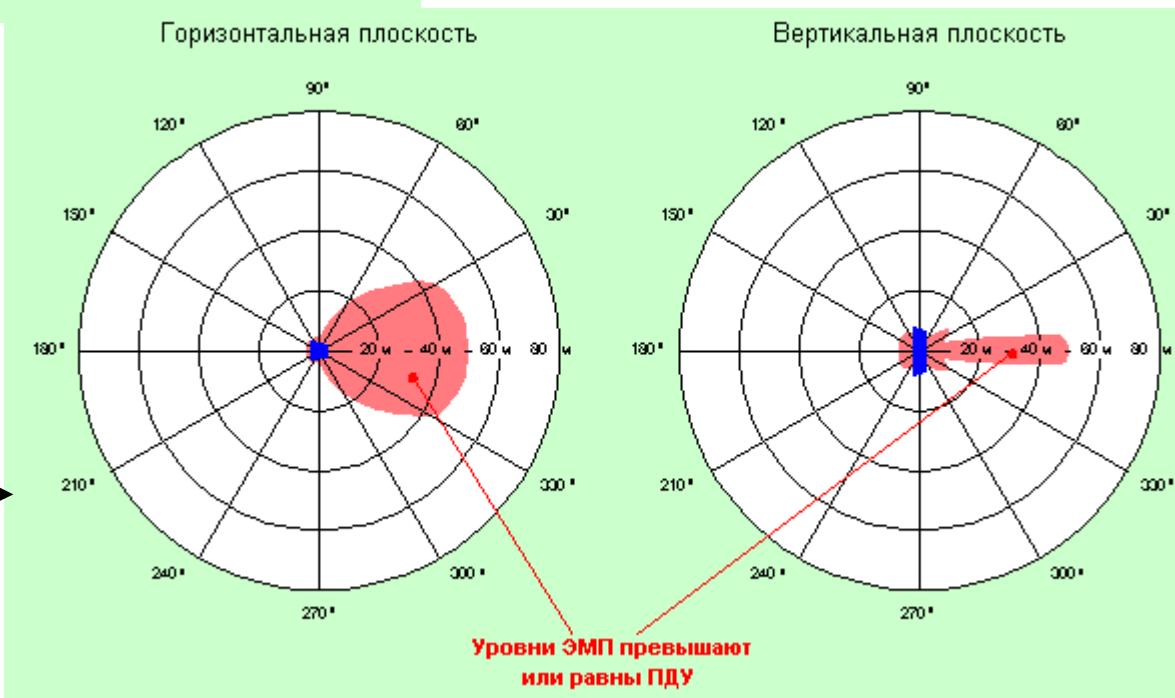
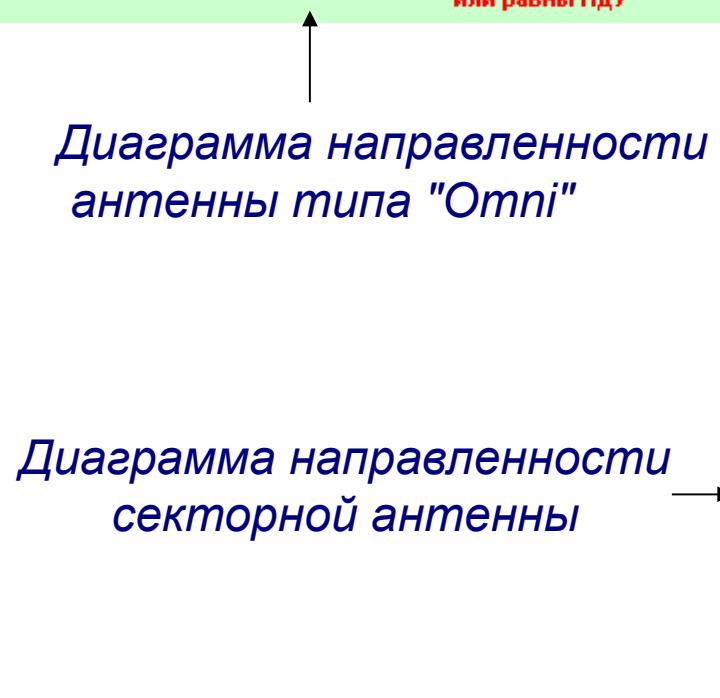


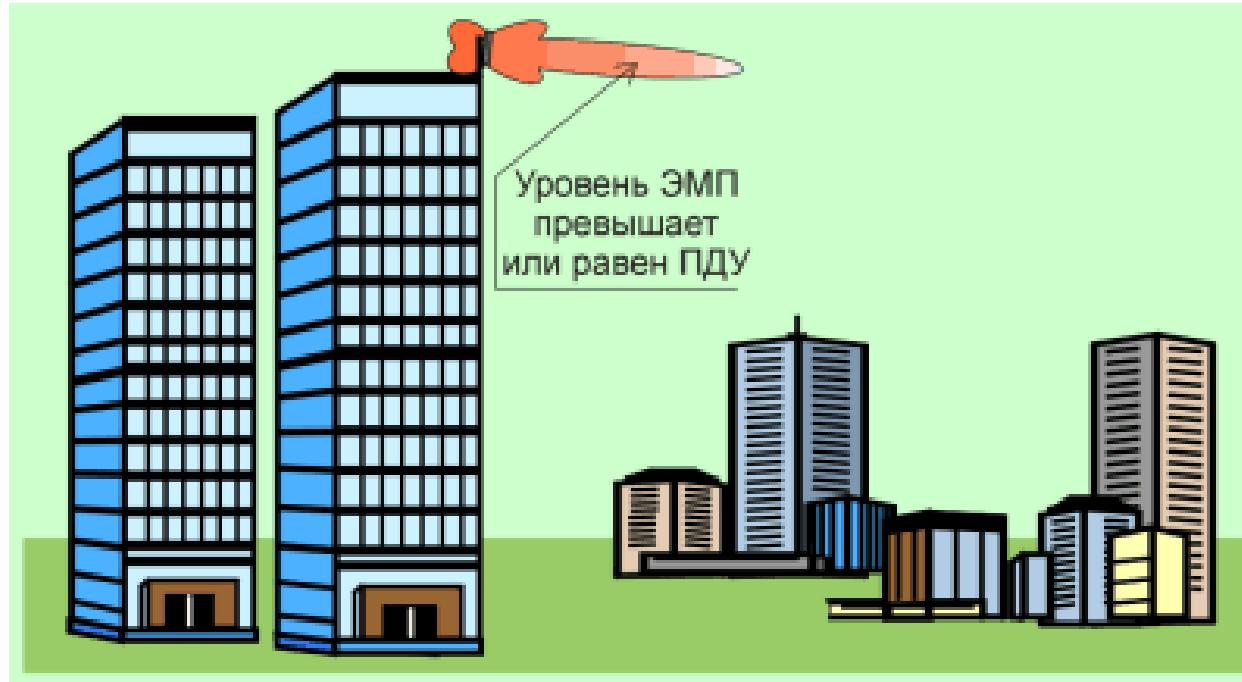


> 2 M



защита «углом»

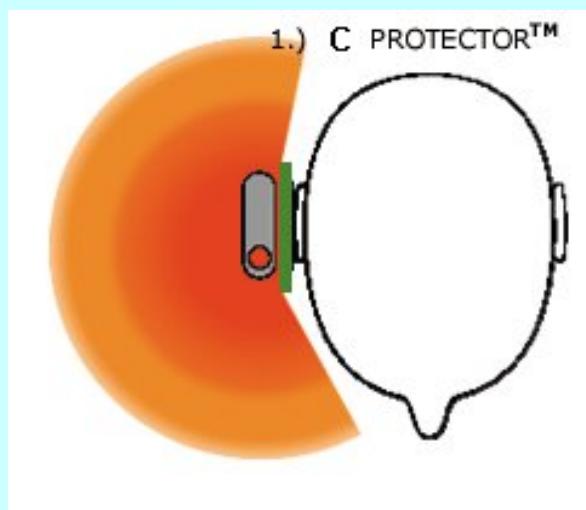
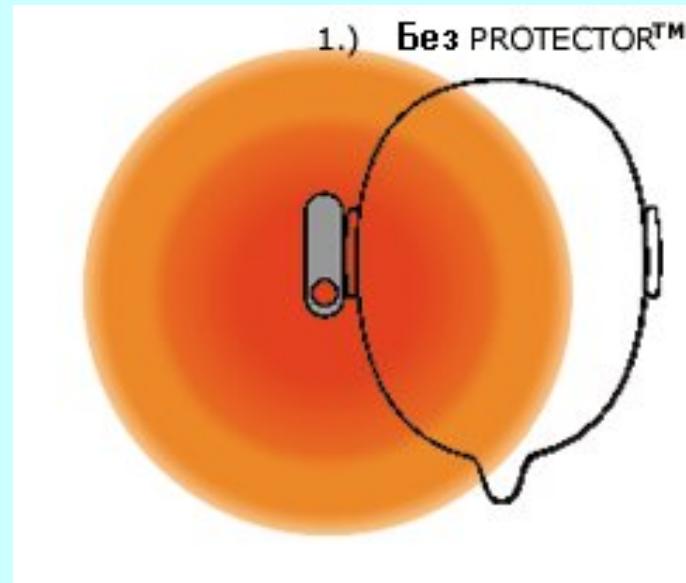




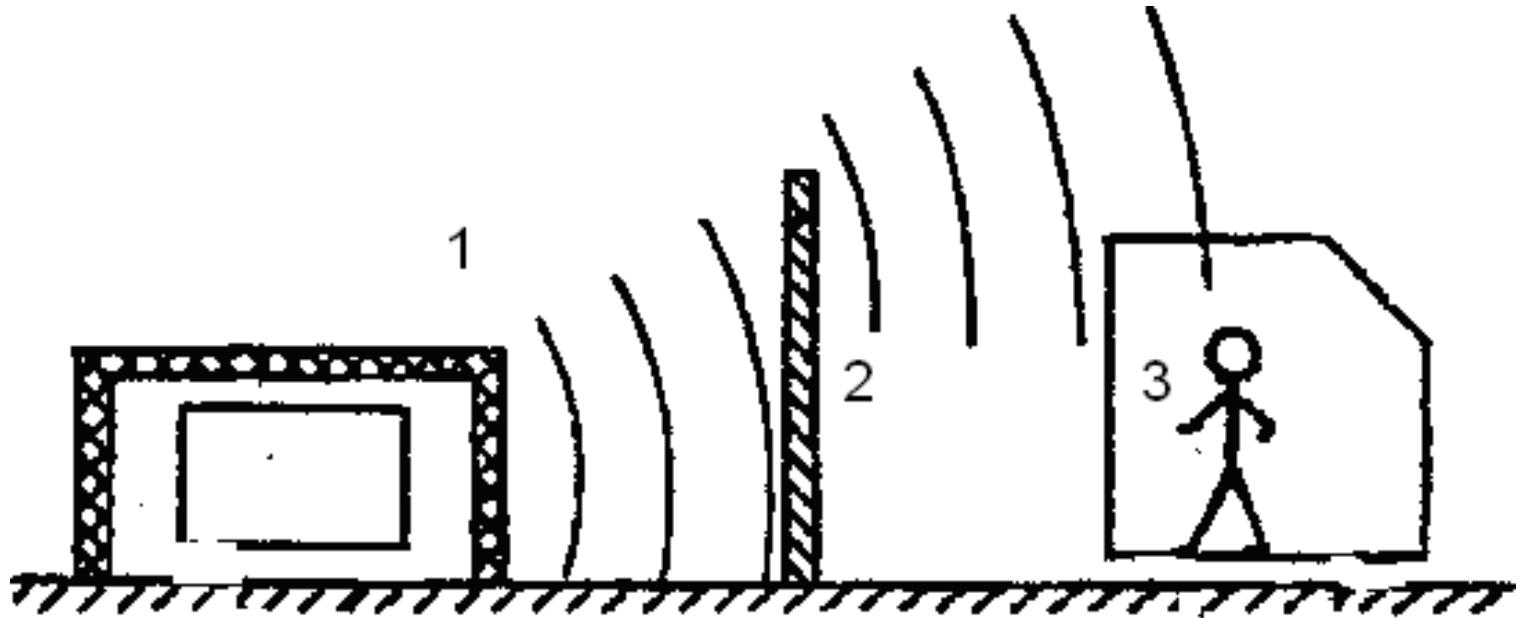
Распределение энергии излучения антенны БС



Pictures of a Nokia 5110 with the PRO TECH PLUS accessory.



Экранирование



Степень ослабления ЭМП зависит от конструкции экрана, материала и параметров источника излучения.

Коэффициент ослабления, дБ

$$L = 20 \lg \frac{E}{E_H}$$

$$L = 20 \lg \frac{H}{H_H}$$

$$L = 20 \lg \frac{ППЭ}{ППЭ_H}$$

- -отражение
- поглощение

Глубина проникновения волны, м

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{2\pi f \mu' \mu_0}}$$

Необходимая толщина сплошного экрана

$$\delta = \frac{65L}{\sqrt{f \mu_a \sigma}}$$





Дробь Вебера

Степень восприятия оценивается относительной величиной интенсивности раздражителя, что характеризуется дробью Вебера:

$$\frac{\Delta I}{I_0} = \text{const}$$

где ΔI - приращение интенсивности раздражителя;
 I_0 - первоначальная интенсивность.

Например, если горит 10 ламп, то добавление одной вызывает едва заметное изменение освещённости. Однако, если зажжено 100 ламп, то чтобы получить изменение освещённости, надо добавить уже 10 ламп. Считая, что количество ламп пропорционально силе света, это рассуждение можно выразить дробью:

$$1/10 = 10/100 = 100/1000 = 0,1.$$

Психофизиологический закон Вебера-Фехнера

Установлено, что величина ощущения изменяется медленнее, чем сила раздражителя. Закон Вебера-Фехнера связывает уровень ощущения **L** и силу (интенсивность) раздражителя **I**.

Формулировка закона:

**Уровень ощущения L пропорционален логарифму
относительной величины интенсивности I раздражителя.**

$$L = K \lg \frac{I}{I_0} + C,$$

где I_0 - интенсивность на нижнем пороге чувствительности;
К и С - некоторые константы.

Выводы из закона Вебера-Фехнера

- 1** В диапазоне работы анализатора степень чувствительности определяется относительной величиной, то есть отношением интенсивности к интенсивности на нижнем пороге чувствительности.
- 2** Чувствительность анализатора возрастает при слабых раздражителях и автоматически загрубляется при действии мощных раздражителей; этим обеспечивается самозащита анализатора и человека.

Закон Вебера-Фехнера только в первом приближении моделирует сложный физиологический процесс ощущений.

Шум

Физические характеристики звука

Звук - волновое движение упругой среды; как физиологическое явление он определяется ощущением, воспринимаемым органом слуха при воздействии звуковых волн, слышимых человеком.

Он характеризуется:

- частотой колебаний f (Гц), то есть числом колебаний в секунду;
- звуковым давлением p (Па) - переменной составляющей давления воздуха;
- интенсивностью или силой звука I ($\text{вт}/\text{м}^2$) равной потоку звуковой энергии, проходящей в единицу времени через 1м^2 площади.

Интенсивность пропорциональна квадрату звукового давления.

По частоте колебаний звуки классифицируются:

Инфразвук

20Гц

Слышимый звук

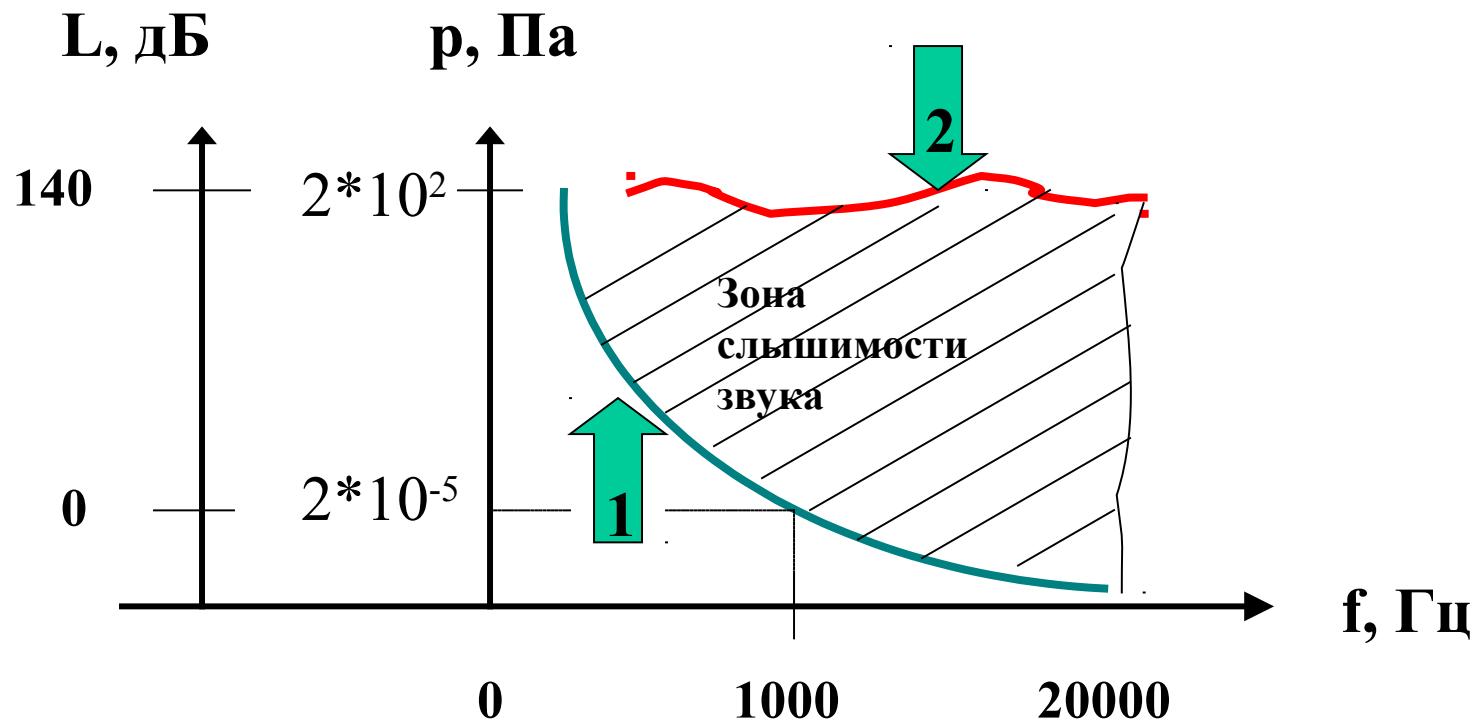
20000Гц

Ультразвук

Шум - всякий мешающий, нежелательный звук.

Вибрация, или структурный звук, – это периодическое изменение хотя бы одной координатной точки или системы, возникающее в твердых упругих телах.

Зона слышимости звука



Порог слышимости (1) зависит от частоты, а порог болевого ощущения (2) имеет слабую частотную зависимость. Уровень звука на пороге слышимости равен 0 дБ при звуковом давлении $2 \cdot 10^{-5}$ Па, а на пороге болевого ощущения 140 дБ при звуковом давлении $2 \cdot 10^2$ Па. Область, расположенная между порогами, называется зоной слышимости звука.

Шум и его характеристики

Шум - сложное колебание, комплекс звуков разных частот; его оценивают спектром, то есть зависимостью уровня звукового давления от частоты.

Среднегеометрическая октавная полоса частот определяется:

$$f_{cp} = \sqrt{f_h \cdot f_v}$$

где f_v и f_h - верхняя и нижняя граничные частоты , причем для октавной полосы $f_v / f_h = 2$, для третьоктавных полос $f_v / f_h = 1.26$.

Средние частоты октавных полос

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Гц
45	90	180	355	710	1400	2800	5600	11200

Граничные частоты октавных полос

интенсивность звука

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

,
где ρ - плотность среды ($\text{кг}/\text{м}^3$), c - скорость распространения ($\text{м}/\text{с}$), $340 \text{ м}/\text{с}$ - для воздуха.

Уровень интенсивности звука

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

где $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт}/\text{м}^2$ - пороговая (нулевая) интенсивность звука, соответствующая интенсивности едва слышимого звука на $f=1000 \text{ Гц}$.

уровень звукового давления:

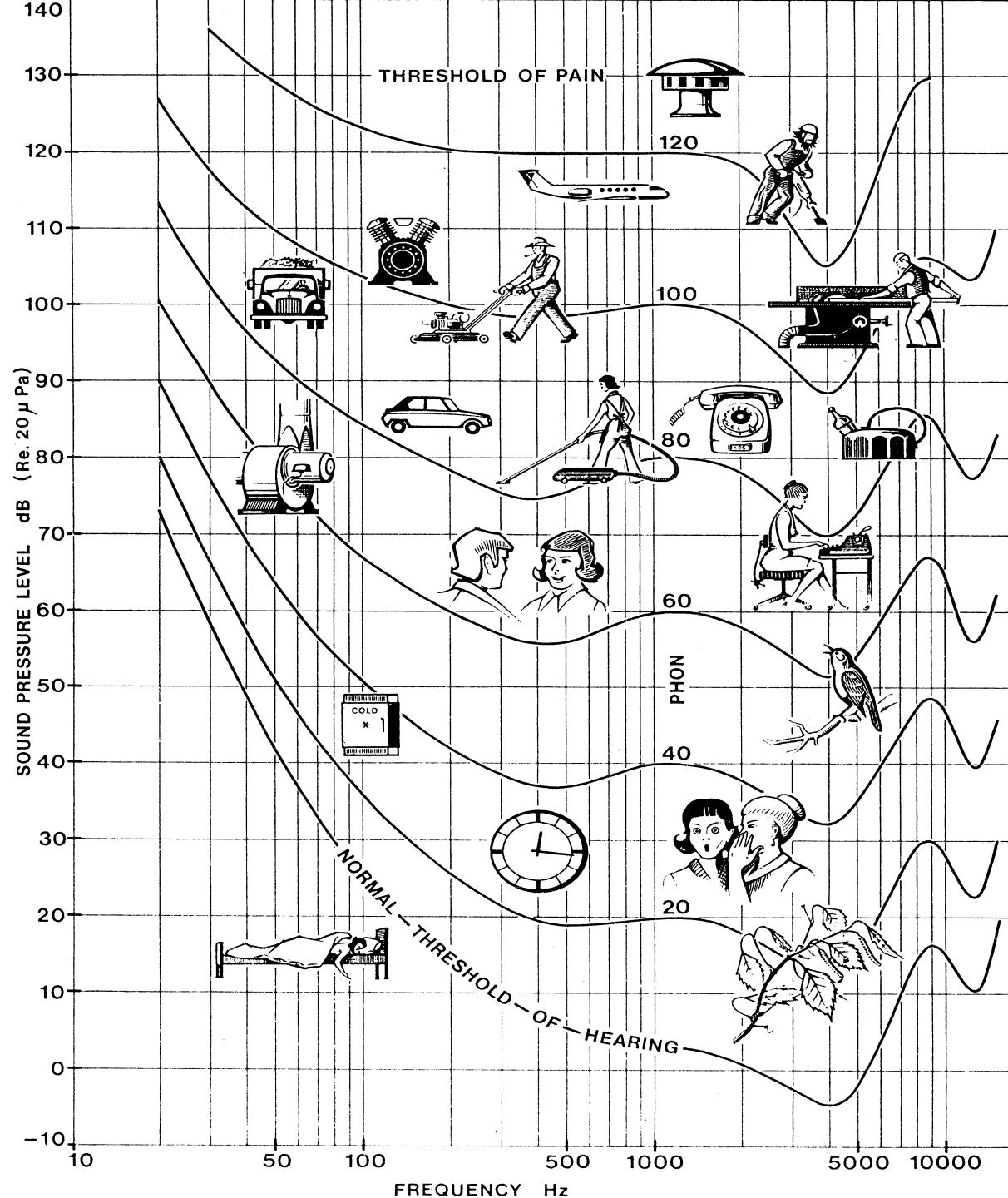
$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad \text{Па (Н/м}^2\text{)}$$

где $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па,

сложение уровней звукового давления нескольких источников

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right)$$

где L_i - уровни звука (или уровни звукового давления) i -го источника шума, дБА (дБ).



P > 140-150 дБ - разрыв барабанных перепонок.

P > 80 дБ - специфические заболевания (снижение остроты слуха, тугоухость и глухота),

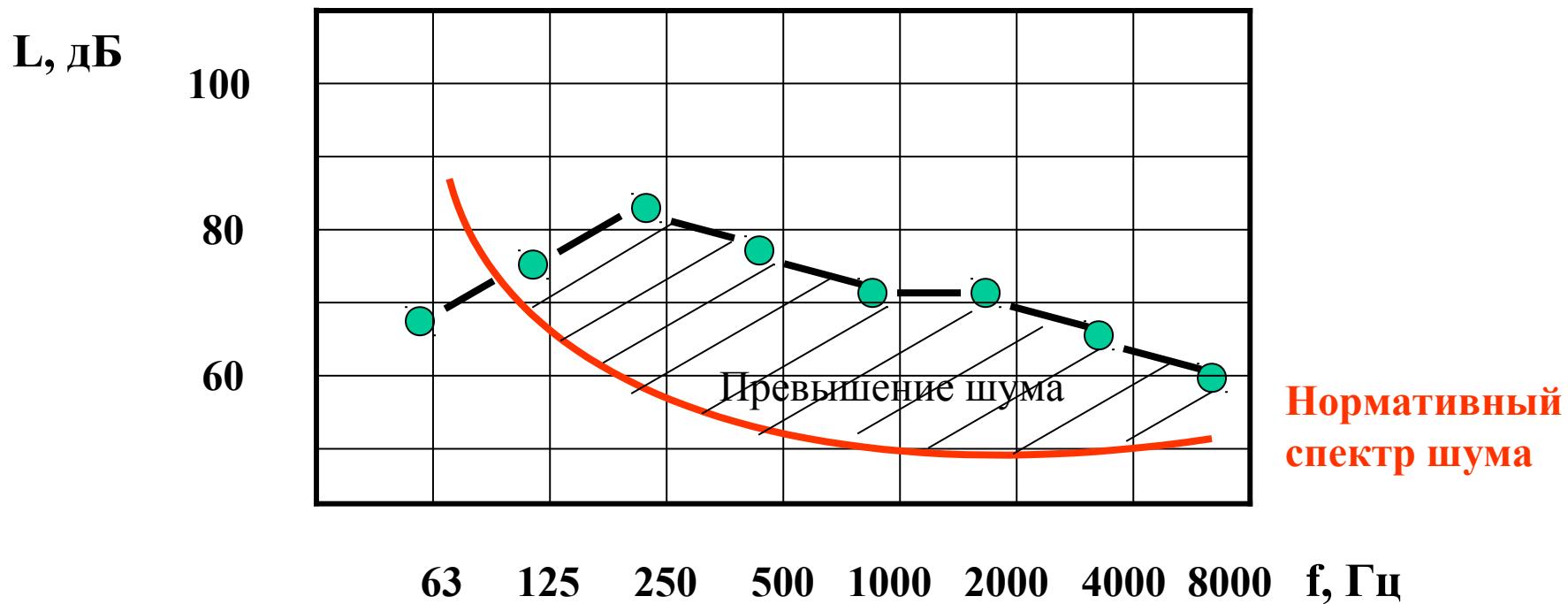
P < 80 дБ - неспецифические заболевания (неврозы, сердечно-сосудистые заболевания, заболевания внутренних органов: желудочно-кишечные, язвы и др.).

Человеческий организм реагирует на шум как на опасность: напрягаются мускулы, повышается кровяное давление, учащается сердцебиение, меняется содержание в крови сахара и жира, в больших количествах вырабатывается гормон адреналин.

Шум является вторым, после курения, фактором риска, вызывающим инфаркт миокарда.

«Сама по себе громкость звука— это еще не вся проблема, важно его качество, его содержание»,

Построение спектра шума



Кроме спектральной характеристики шум оценивают одним числом - уровнем звука в дБА. Это общий уровень шума, откорректированный в соответствии с кривой слышимости.

По положению максимума в спектре шум условно делят на:
низкочастотный (основные составляющие на частотах <300 Гц)
среднечастотный (300-800 Гц)
высокочастотный (выше 800 Гц).

По характеру спектра шум делится на:

- *широкополосный* с непрерывным спектром шириной более одной октавы;
- *тональный*, в спектре которого имеются выраженные дискретные тона (устанавливается при измерениях в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними на величину не менее 10 дБ);
- *смешанный*, когда на сплошные участки накладываются отдельные дискретные составляющие.

По временным характеристикам шум подразделяется на:

- **постоянный шум**, уровень звука которого за выбранный отрезок времени изменяется во времени не более чем на 5 дБА ;
- **непостоянный шум**, уровень звука которого за выбранный отрезок времени изменяется более чем на 5 дБА.
 - **колеблющийся** во времени, уровень звука которого непрерывно меняется во времени;
 - **прерывистый**, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более, причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет более 1 с);
 - **импульсный**, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый из которых длительностью менее 1с, при этом уровни звука, измеренные на импульсной характеристике шумомера, отличаются не менее чем на 7 дБА .

Санитарное нормирование шума.

ГОСТ 12.1.1.003-83* «ССБТ. Шум . Общие требования безопасности», СН 2.2. 4/22.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки».

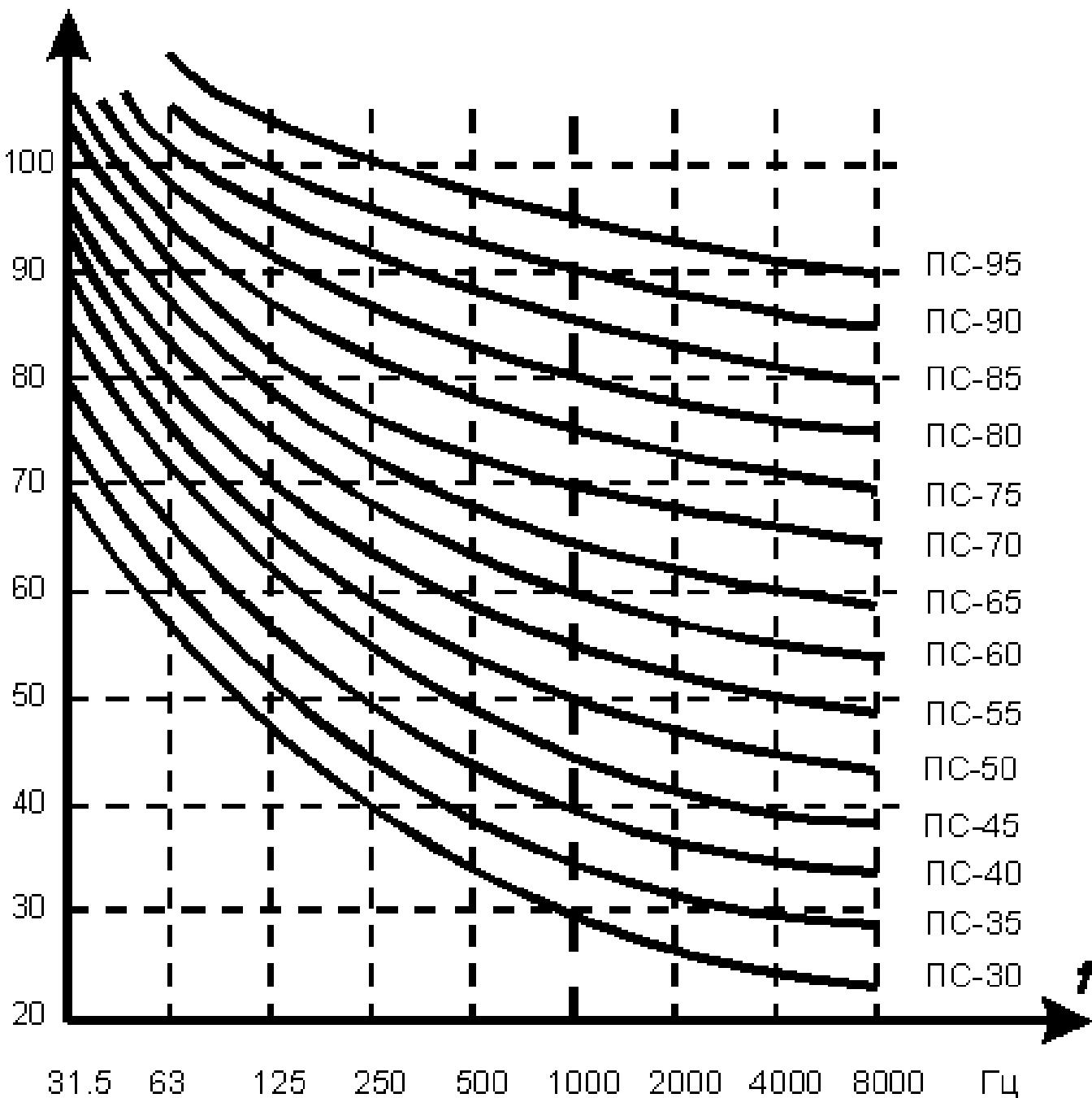
Ведётся:

- по предельному спектру, ПС, дБ, в октавных полосах частот

Нормируемыми параметрами шума являются уровни среднеквадратических звуковых давлений (дБ) в октавных полосах с частотой 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц

- по эквивалентному уровню звука, дБА. - без частотного анализа по шкале А шумометра, которая приблизительно соответствует частотной характеристике слуха человека .

дБ P_∞



Семейство
нормировочных
кривых шума
(ПС),
рекомендованных
ISO.

1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность.	ПС-45
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории.	ПС-55
3	Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля.	ПС-60
4	Работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами.	ПС-70
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1—4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах	ПС-75 (80 дБА)

$$L_A = 20 \lg \frac{P_A}{P_0}, \text{ дБА}$$

где P_A - среднеквадратичное значение звукового давления с учетом коррекции «A» шумометра, Па.

Между ПС и интегральным показателем в дБА существует простое соотношение:

$$L_A^{\text{ном}} = PC + 5$$

где ПС – номер предельного спектра (например, ПС-75 соответствует интегральная норма $L_A^{\text{ном}} = 80$ дБА).

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Уровни звука (в дБА)	Макси- мальные уровни звука, дБА
Палаты больниц и санаториев, операционные больниц...	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	35 25	50 40
учебные кабинеты, аудитории школ и других учебных заведений, конференцзалы, читальные залы...		40	55
Жилые комнаты квартир, домов отдыха...	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	40 30	55 45

При оценке шума допускается использовать дозу шума, т.к. установлена линейная зависимость – эффект по временному смещению порога слуха, что свидетельствует об адекватности оценки шума по энергии. Дозный подход позволяет оценивать кумуляцию (накопление) шумового воздействия за рабочую смену.

Доза шума D в Па²ч- интегральная величина, учитывающая акустическую энергию, действующую на человека, за определенный период времени

$$D = \int_0^T P_A^2(t) dt$$

где $P_A(t)$ – текущее значение среднеквадратического звукового давления с учетом коррекции А шумомера, T – продолжительность воздействия шума.

Способы борьбы с шумом.

1. Борьба в источнике.

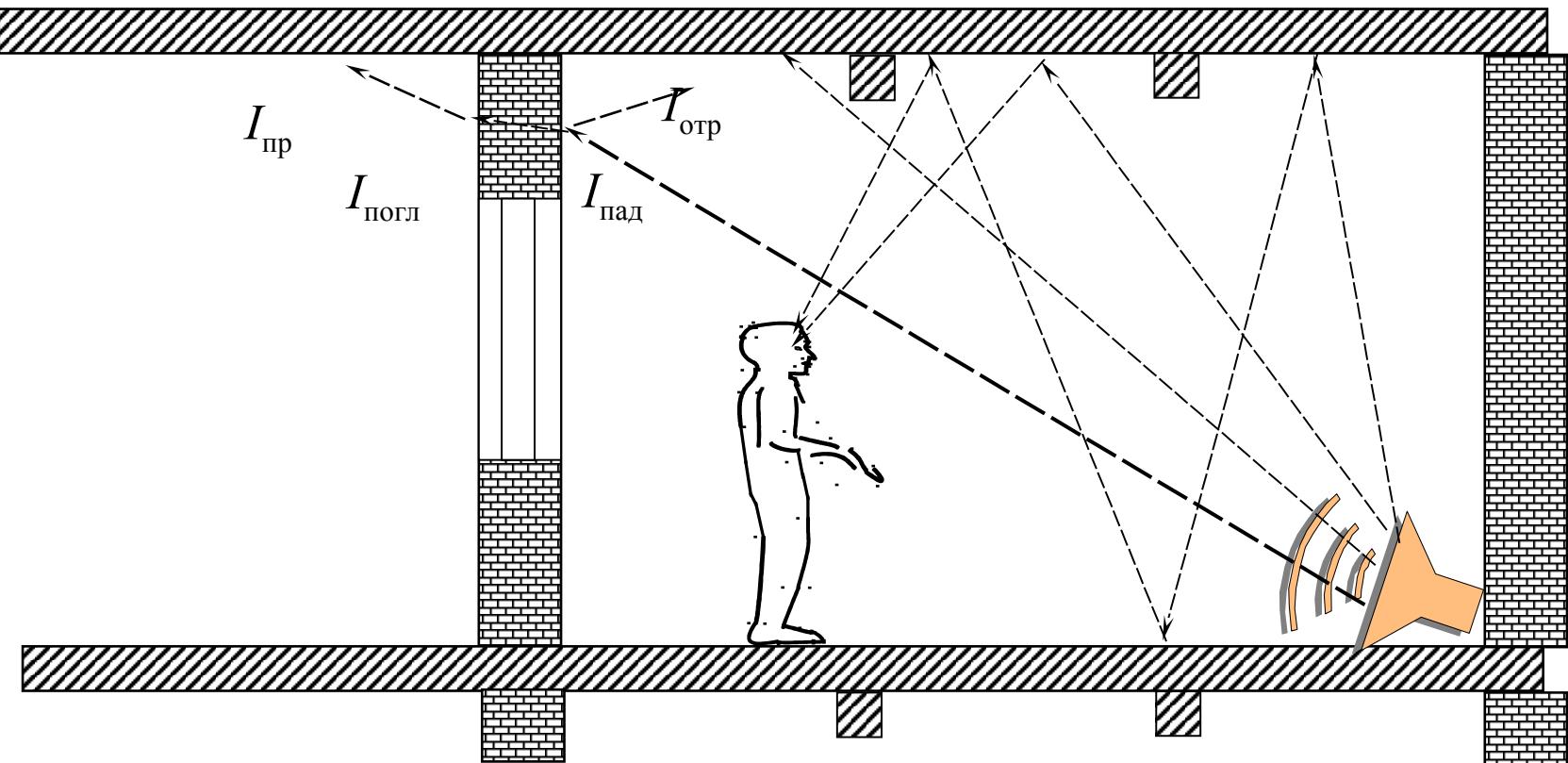
правильный выбор параметров, материалов (вместо металла - пластмассы), уход (смазка, подтяжка, регулировка), использование прокладок.

2. Борьба на пути его распространения.

Используются принципы отражения и поглощения.

3. Борьба с шумом в приёмнике.

сокращение времени воздействия, применение индивидуальных средств защиты слуха (мягкие противошумные вкладыши, шлемы, каски и специальные противошумные костюмы).

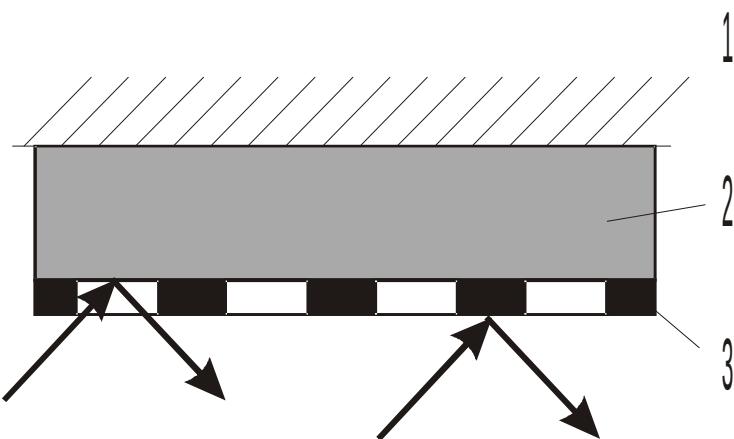
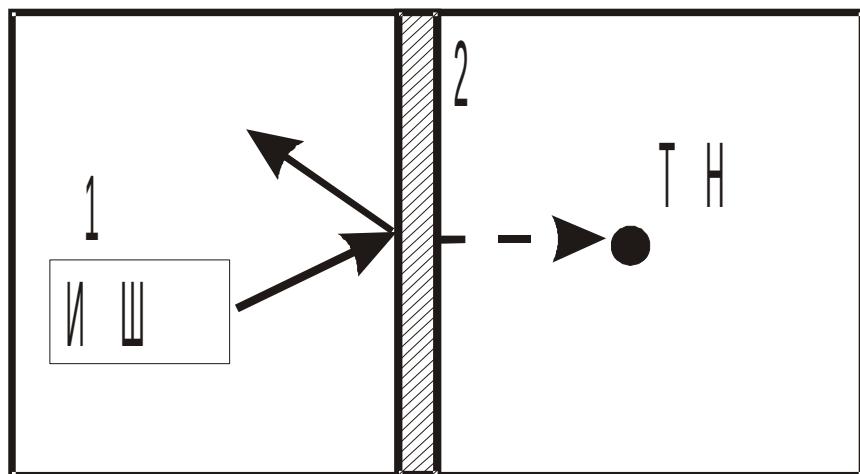


В зависимости от принципа действия методы защиты от шума и звуковой вибрации делятся на следующие:

- звукоизоляция;
- звукопоглощение;
- виброизоляция;
- вибропоглощение;
- глушители шума.

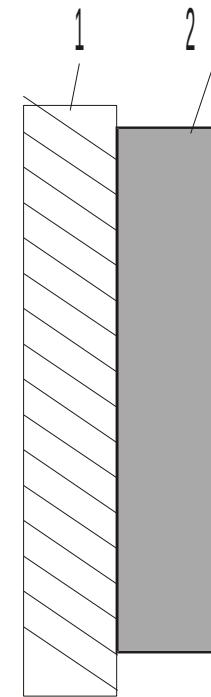
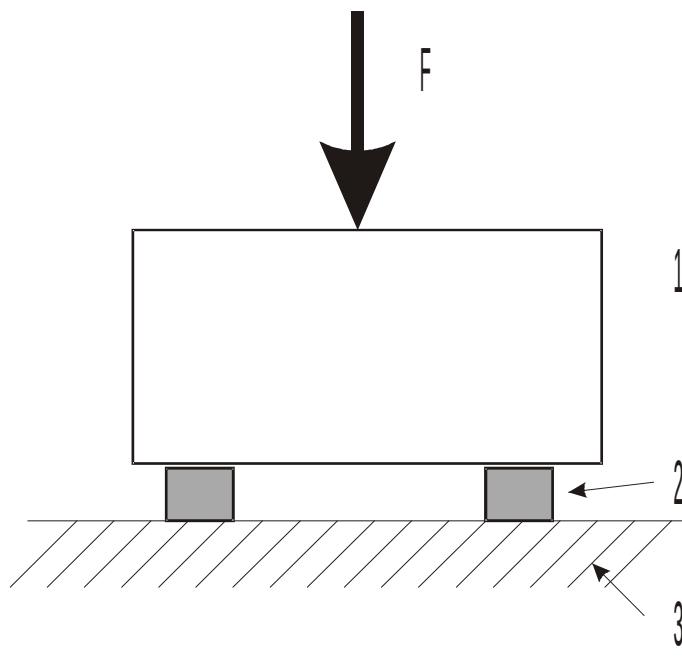
Звукоизоляция - метод защиты от воздушного шума, основанный на отражении звука от бесконечной плотной звукоизолирующей преграды

Звукопоглощение - метод защиты от воздушного шума, основанный на поглощении звука при переходе звуковой энергии в тепловую в мягкой звукопоглащающей (волокнистой или пористой) конструкции

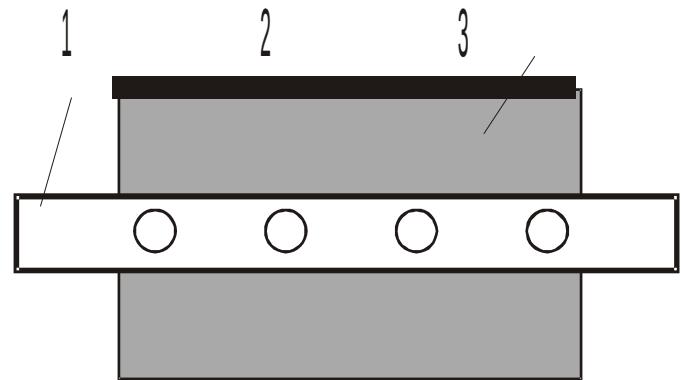
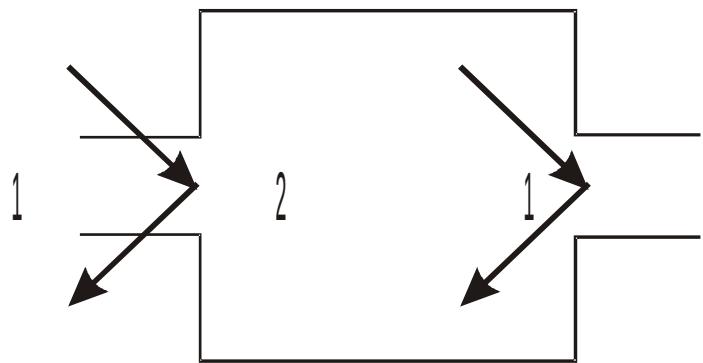


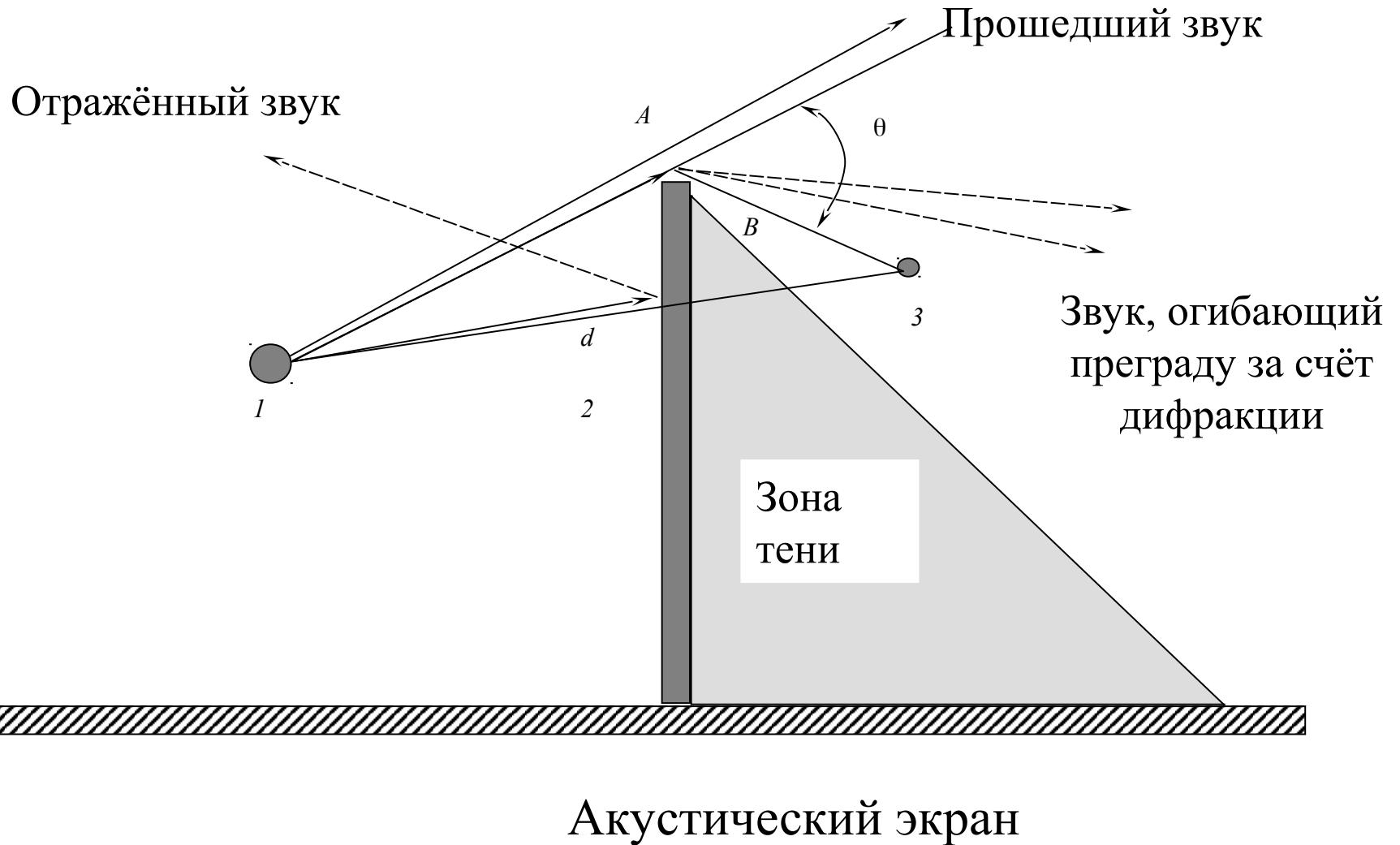
Виброизоляция - метод снижения структурного звука, основанный на отражении вибрации в виброизоляторах .

Вибродемпфирование - способ защиты от звуковой вибрации за счёт перехода вибрационной энергии в тепловую в вибродемпфирующих покрытиях .



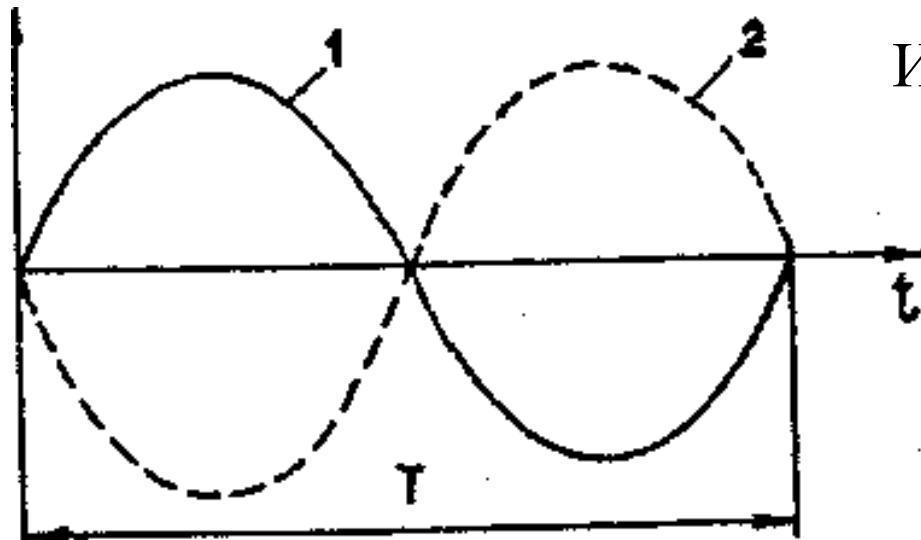
Глушители шума - устройства, применяемые для снижения аэродинамического или гидродинамического шума за счёт отражения (реактивные) или поглощения (абсорбционные) звуковой энергии.





В зависимости от использования дополнительного источника энергии все средства защиты от шума и вибрации делятся на следующее:

- пассивные, в которых не используется дополнительный источник энергии;
- активные, в которых используется дополнительный источник энергии.



Интерференция звуковых волн

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \cos \varphi}$$

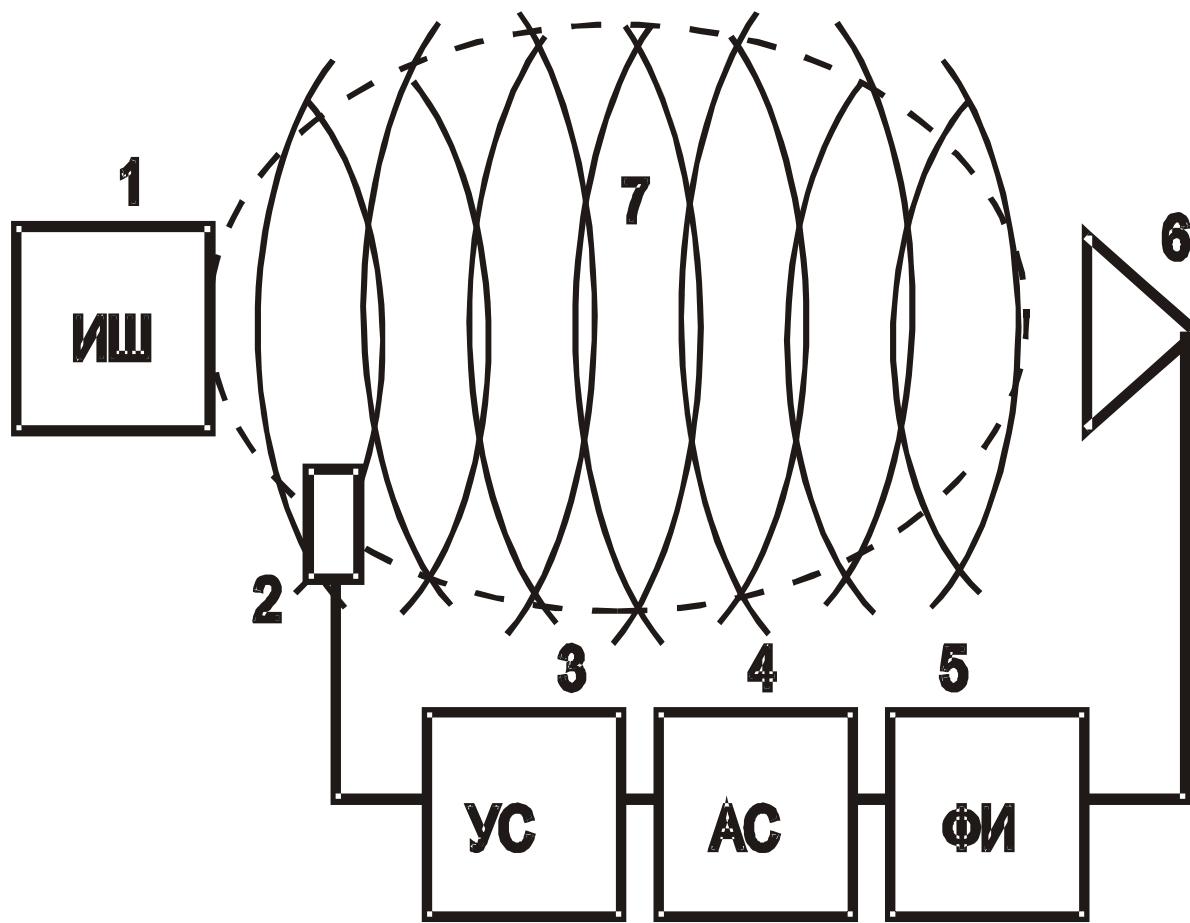
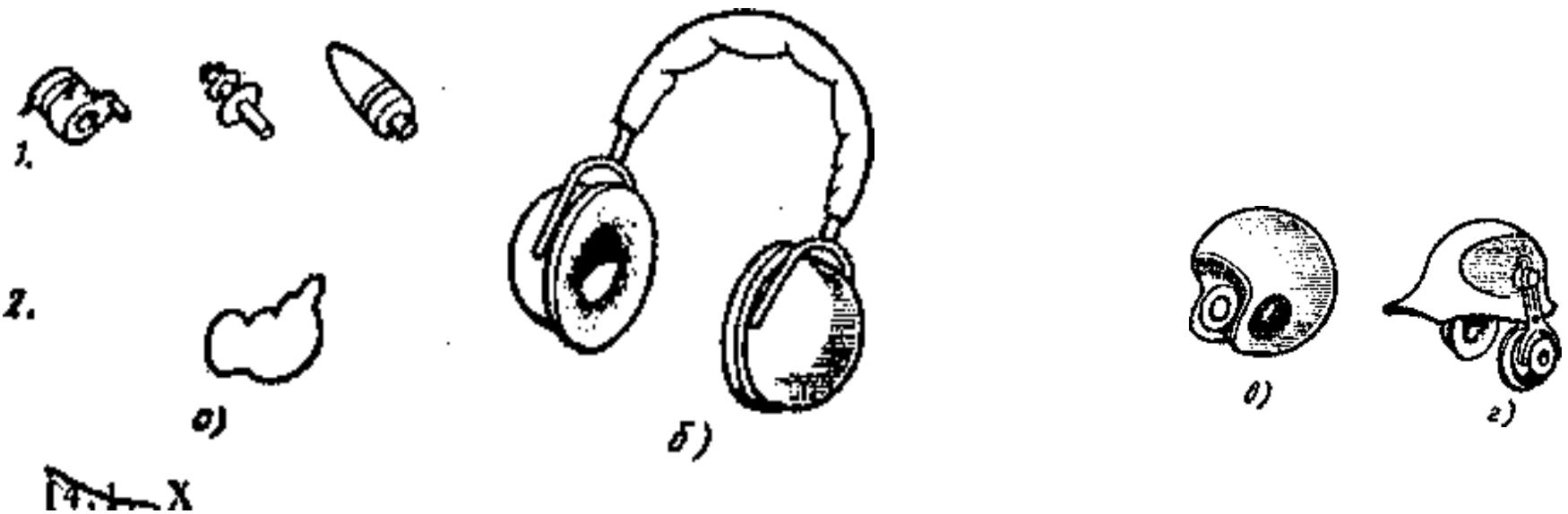


Схема устройства активной шумозащиты

- 1- источник- шума, 2 - микрофон;
- 3 - усилитель; 4 - анализатор спектра; 5- фазоинвертор;
- 6 - блок динамиков; 7 - зона защиты



Характерные типы средств индивидуальной защиты от шума:

a — вкладыши: *1* — многократного пользования; *2* — однократного пользования (из волокнистого материала); *б* — наушники; *в* — шлем; *г* — каска с наушниками

Вибрацией машин и механизмов называется механическое колебательное движение упругих тел, при которых энергия механических колебаний по пути распространения вибраций передается телу человека.

Если вибрация передается на все тело человека, например, через пол, такая вибрация называется общей;

если же только на часть тела, например, через руки — называется местной, или локальной.

Вибрация характеризуется

частотой t ,

периодом колебания T ,

виброскоростью $v = 2\pi f A$

виброускорением $u = (2\pi f)^2 A$.

Местная вибрация характеризуется колебаниями инструмента или органов управления.

Гигиенические допустимые уровни вибраций регламентирует ГОСТ 12.1.012-78 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности».

Нормируемым параметром вибрации являются среднеквадратичные значения виброскорости, м/с, или ее логарифмические уровни, дБ, в октавных полосах частот — для общей вибрации 1,4, 16, 63 Гц, а для местной 8, 32, 125, 500 Гц.

Коллективная защита в зависимости от способа реализации подразделяется: на акустическую (звукозащита, звукопоглощение, виброизоляция, демпфирование, глушители шума); архитектурно-планировочную; организационно-техническую (применение малошумных технологических процессов, оснащение средствами дистанционного управления).

Индивидуальная защита от шума и вибраций применяется в тех случаях, когда техническими и другими мерами не удается снизить уровень шума и вибраций.

- **Пожар** - это процесс неконтролируемого горения, приводящий к материальному ущербу.

треугольник горения

- а) наличие горючего вещества;
- б) наличие окислителя (например, кислорода воздуха);
- в) нагрев вещества до температуры самовоспламенения.

для пожара - четвёртое условие:

- г) цепная реакция пожара,

Вспышка □ быстрое сгорание горючей смеси без образования повышенного давления газов.

Возгорание □ возникновение горения от внешнего источника зажигания.

Воспламенение □ возгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Самовозгорание □ горение, возникающее при отсутствии внешнего источника зажигания.

Самовоспламенение □ самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Взрыв □ чрезвычайно быстрое горение, при котором происходит выделение энергии и образование сжатых газов, способных производить механические разрушения.

самовозгорание.

три основных причины :

- окисление некоторых веществ кислородом воздуха (порошки алюминия, цинка, титана, белый фосфор, каменный уголь, пропитанный маслом хлопок);

- различного рода химические реакции. Например, интенсивное выделение тепла происходит в реакции щелочных металлов и их карбидов с водой, марганцовокислого калия с глицерином.

- микробиологические процессы в органических веществах (растительные масла, животные жиры, фрезерный торф и пр.).

Показатель	Агрегатное состояние веществ и материалов			
	газы	жидкости	твердые	пыли
Группа горючести	+	+	+	+
Температура вспышки	-	+	-	-
Температура воспламенения	-	+	+	+
Температура самовоспламенения	+	+	+	+
Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения)	+	+	-	+
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения)	-	+	-	-
Температура тления	-	-	+	+
Условия теплового самовозгорания	-	-	+	+
Минимальная энергия зажигания	+	+	-	+
Кислородный индекс	-	-	+	-
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+
Нормальная скорость распространения пламени	+	+	-	-
Скорость выгорания	-	+	-	-
Коэффициент дымообразования	-	-	+	-
Индекс распространения пламени	-	-	+	-
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	-	-	+	-
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода	+	+	-	+
Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора	+	+	-	+
Максимальное давление взрыва	+	+	-	+
Скорость нарастания давления взрыва	+	+	-	+
Концентрационный предел диффузионного горения газовых смесей в воздухе	+	+	-	-

- *Группа горючести* – способность вещества к самостоятельному горению
 - негорючее
 - трудногорючее
 - горючее

- Категория взрывоопасности зависит от способности данного вещества, заключённого в какой-то негерметизированный объём, содержащий источник зажигания, передать взрыв в окружающую взрывоопасную среду.
- За нормируемый показатель взрывоопасности газа принят **размер (высота) безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ)** (при ширине зазора 1 см). Чем меньше безопасный зазор (чем выше категория), тем опаснее газовая смесь.

Предотвращение инициации пожара
должно достигаться:

- предотвращением образования горючей среды;
- предотвращением образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.

Предотвращение образования горючей среды :

- максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;
- ограничением массы горючих веществ, материалов и наиболее безопасным способом их размещения;
- изоляцией горючей среды (применением изолированных отсеков, камер и т. п.);
- поддержанием безопасной концентрации среды ;
- достаточной концентрацией флегматизатора в воздухе защищаемого объема (его составной части);
- поддержанием температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается;
- максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ

- **Предотвращение образования в горючей среде источников зажигания :**
- применением устройств, при эксплуатации которых не образуются источники зажигания;
- применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной и взрывоопасной зонам, группе и категории взрывоопасной смеси;
- применением в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;
- применением технологического процесса и оборудования, удовлетворяющего требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018;
- устройством молниезащиты зданий, сооружений и оборудования;
- поддержанием температуры нагрева поверхности машин ниже предельно допустимой, составляющей 80 % наименьшей температуры самовоспламенения горючего

- Категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности
- **А – взрывопожароопасная** - горючие газы или ЛВЖ с Твсп< 28 С ⇒ Р> 5 кПа.
- **Б – взрывопожароопасная** горючие пыли, волокна или ЛВЖ с Твсп >28 С ⇒ Р> 5 кПа .
- **В – пожароопасная** - горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть, не формируя взрыва.
- **Г** негорючие вещества и материалы в горячем, раскалённом или расплавленном состоянии, горючие газы, жидкости и твердые вещества -в качестве топлива.
- **Д** негорючие вещества и материалы в холодном состоянии (допускается - кабельные электроподводки к оборудованию, отдельные предметы мебели на рабочих местах).

Классы пожароопасных зон

- **П-1** □ обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 С;
- **П-II** □ выделяются горючие пыли или волокна с НКПВ более 65 г/куб.м,
- **П-IIА** □ содержащие твердые горючие вещества.
- **П-III** □ расположены вне помещений, содержащих горючие материалы.

6 классов взрывоопасных зон.

- **B-1** - в нормальных режимах работы оборудования выделяются взрывоопасные вещества (горючие газы или пары ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси
- **B-1а** - -»- только в аварийных режимах.
- **B-1б** - возможно образование взрывоопасных смесей только в результате аварий, но здесь горючие газы обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом.
- **B-1г** □ пространства у наружных установок с взрывоопасными смесями
- **B-II** - выделяются горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы.
- **B-IIa** - -»- только в аварийных ситуациях.

автоматические пожарные извещатели

по признаку пожара, вызывающему
срабатывание, делятся на:

- тепловые,
- ультрафиолетового излучения
(световые),
- дымовые (оптические, ионизационные),
- ультразвуковые и др.

ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЙ.

Альфа - излучение (α - излучение) .

Бета - излучение (β -излучение).

Нейтроны, протоны.

Гамма - излучение (γ -излучение).

Рентгеновское излучение.

Источник ионизирующего излучения	W_R
Рентгеновский, γ , β , позитроны	1
Тепловые нейтроны $W < 10 \text{ кэВ}$, протоны	5
Нейтроны с энергией 10-100кэВ	10
Нейтроны с энергией 0.1-2 МЭВ, Альфа-лучи	20

Экспозиционная доза (X) - количественная характеристика γ - и рентгеновского излучений, основанная на их ионизирующем действии в воздухе. Экспозиционная доза - отношение полного заряда dQ всех ионов одного знака, создаваемых в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобождённые фотонами в элементарном объёме воздуха массой dm , полностью остановились, к массе воздуха dm в этом объёме:

$$X = dQ/dm.$$

СИ - кулон на килограмм (Кл/кг).

Внесистемная единица экспозиционной дозы - рентген,

$$1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

Поглощённая доза ($D_{T,R}$) – энергия ионизирующего излучения R , переданная веществу и определяемая по формуле

$$D = \frac{de}{dm}$$

где de - средняя энергия, переданная ионизирующими излучением веществу, находящемуся в элементарном объёме; dm - масса вещества в этом элементарном объёме.

СИ - (Дж /кг), специальное название - грей (Гр).

Внесистемная единица измерения поглощённой дозы – рад:

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0.01 \text{ Дж/кг.}$$

Связь между поглощенной и экспозиционной дозой:

$$X = f \cdot D$$

для воздуха $f = 0.88$

При экспозиционной дозе в 1 Р в воздухе при нормальных условиях поглощается 0.114 эрг/см³ = 88 эрг/г = 0.88 рад.
Эти величины называются энергетическими эквивалентами рентгена.

для биологической ткани

$$f = \frac{M_{AT} / \rho_T}{M_{AB} / \rho_B}$$

М -коэффициенты истинного поглощения в биологической ткани и воздухе, ρ - плотность биологической ткани и воздуха.

>100 Гр	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы
>10-50 Гр	Смерть наступает через одну-две недели вследствие внутренних кровоизлияний (главным образом в желудочно-кишечном тракте)
>3-5 Гр	50% облученных умирает в течение одного-двух месяцев вследствие поражения клеток костного мозга
2-4,0 Гр	Лучевая болезнь средней тяжести, в 20 % случаев возможен смертельный исход через 2...6 недель после облучения.
1,5-2,0 Гр	легкая форма острой лучевой болезни, которая проявляется продолжительной лимфопенией, в 30...50 случаев—рвота в первые сутки после облучения. Смертельные исходы не регистрируются
0,5-1,5 Гр	у 10 % облученных может наблюдаться рвота, умеренные изменения в крови
0,25-0,5 Гр	временные изменения в крови, которые быстро нормализуются

Доза эквивалентная ($H_{T, R}$) - мера воздействия излучения на биологический объект, определяемая как поглощённая доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения (W_R):

$$H_{T, R} = W_R D_{T, R}$$

$D_{T, R}$ - средняя поглощённая доза в органе или ткани.

СИ - (Дж/кг), специальное название - зиверт (Зв).

Внесистемная единица измерения эквивалентной дозы - бэр:

$$1 \text{ бэр} = 0.01 \text{ Дж/кг.}$$

Источник ионизирующего излучения	W_R
Рентгеновский, γ , β , позитроны	1
Тепловые нейтроны $W < 10 \text{ кэВ}$, протоны	5
Нейтроны с энергией 10-100 кэВ	10
Нейтроны с энергией 0.1-2 МЭВ, Альфа-лучи	20

Доза эффективная (E) - величина, используемая как мера риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности.

$$E = \sum_{\text{T}} W_{\text{T}} H_{\text{T}}$$

СИ – зиверт (Зв).

гонады.....	0.20	печень.....	0.05
костный мозг	0.12	пищевод.....	0.05
толстый кишечник...	0.12	щитовидная железа.....	0.05
лёгкие	0.12	кожа.....	0.01
желудок.....	0.12	клетки костных поверхностей	0.01
мочевой пузырь.....	0.05	грудная железа.....	0.05

остальное (надпочечники, головной мозг, верхний отдел толстого кишечника, слепая кишка, восходящая и поперечная часть ободочной кишки, тонкий кишечник, почки, мышечные ткани, поджелудочная железа, селезёнка, вилочковая железа и матка)..... 0.05

гонады.....	0.20	печень.....	0.05
костный мозг	0.12	пищевод.....	0.05
толстый кишечник...	0.12	щитовидная железа.....	0.05
лёгкие	0.12	кожа.....	0.01
желудок.....	0.12	клетки костных поверхностей	0.01
мочевой пузырь.....	0.05	грудная железа.....	0.05
остальное (надпочечники, головной мозг, верхний отдел толстого кишечника, слепая кишка, восходящая и поперечная часть ободочной кишки, тонкий кишечник, почки, мышечные ткани, поджелудочная железа, селезёнка, вилочковая железа и матка).....			0.05

Определить максимальную допустимую мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения от ВДТ, исходя из предельной эквивалентной дозы за один год для хрусталика глаза, если пользователь ЭВМ ежедневно проводит за ней 8 ч.

1.

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	Группа А	Население
Эквивалентная доза за год в хрусталике	150	15

2. ПЭВМ – аналог бытовой техники - норма – для населения:

$$H_{\text{пду}} < 15 \text{ мЗ/год}$$

3. Излучение – рентгеновское - взвешивающий коэффициент для данного ионизирующего излучения в объеме биологической ткани $W_R = 1$

т.к. $H_{T,R} = D_{T,R} \times W_R$ то поглощенная доза $D_{T,R} = H_{T,R} / W_R$

Определить максимальную допустимую мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения от ВДТ, исходя из предельной эквивалентной дозы за один год для хрусталика глаза, если пользователь ЭВМ ежедневно проводит за ней 8 ч.

Экспозиционная доза $X = D / f$ где f -коэффиц. поглощения
1Р = 0.88 рад для воздуха , ≈ 1 для биолог. тканей

1 Гр=100 рад - $D_{\text{пд}} = 15 \text{ мГр} / \text{год} = 1.5 \text{ рад/год} \Rightarrow X \approx 1.5 \text{ Р} / \text{год}$

время действия за год $T = 8 \times 365 = 2920 \text{ час / год}$

Допустимая мощность экспозиционной дозы

$$P_{\text{пд}} = X / T = 1.5 / 2920 = 514 \cdot 10^{-6} \text{ Р/час}$$

-по СанПиН $P_{\text{пд}} < 100 \text{ мкР/ч}$

в СИ:

$$1\text{Р}=2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} \quad 1\text{Р/ч} = 2.58 \cdot 10^{-4} \times 3600 \text{ сек} = 0,929 \text{ А/кг}$$

$$P_{\text{пд}} = 514 \cdot 10^{-6} / 0,929 = 556 \text{ А/ч}$$

