

# Техническая акустика и защита от шума



## Лекция №5

Скачок уплотнения (ударная волна). Сопло Лавала. Эффект Допплера

Классификация шумов по физической природе.

Дискретный и сплошной спектр шума. Примеры.

Постоянные и непостоянные шумы.

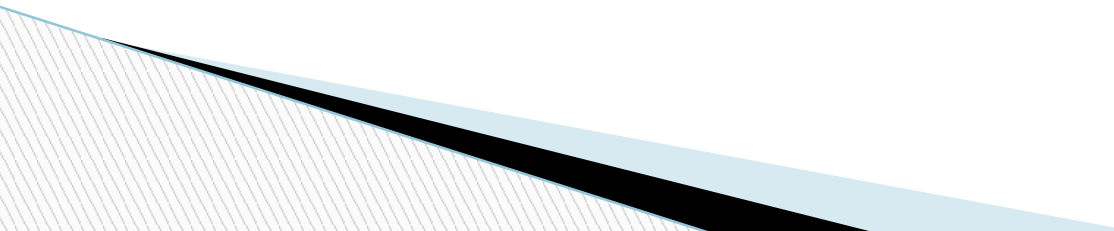
Классификация шумов по спектрально-временным характеристикам.

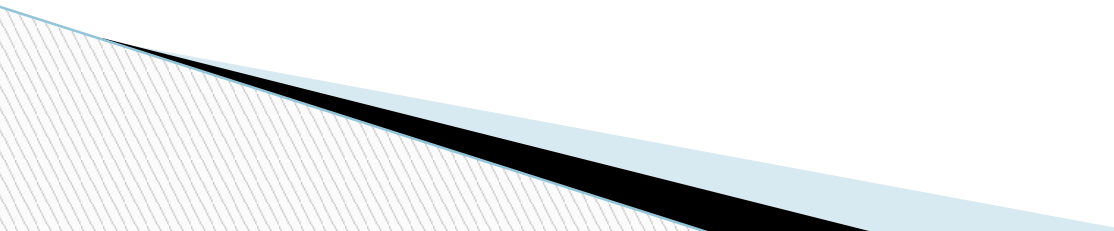
Техногенные шумы и техника их измерений. Октавные полосы со среднегеометрическими значениями.

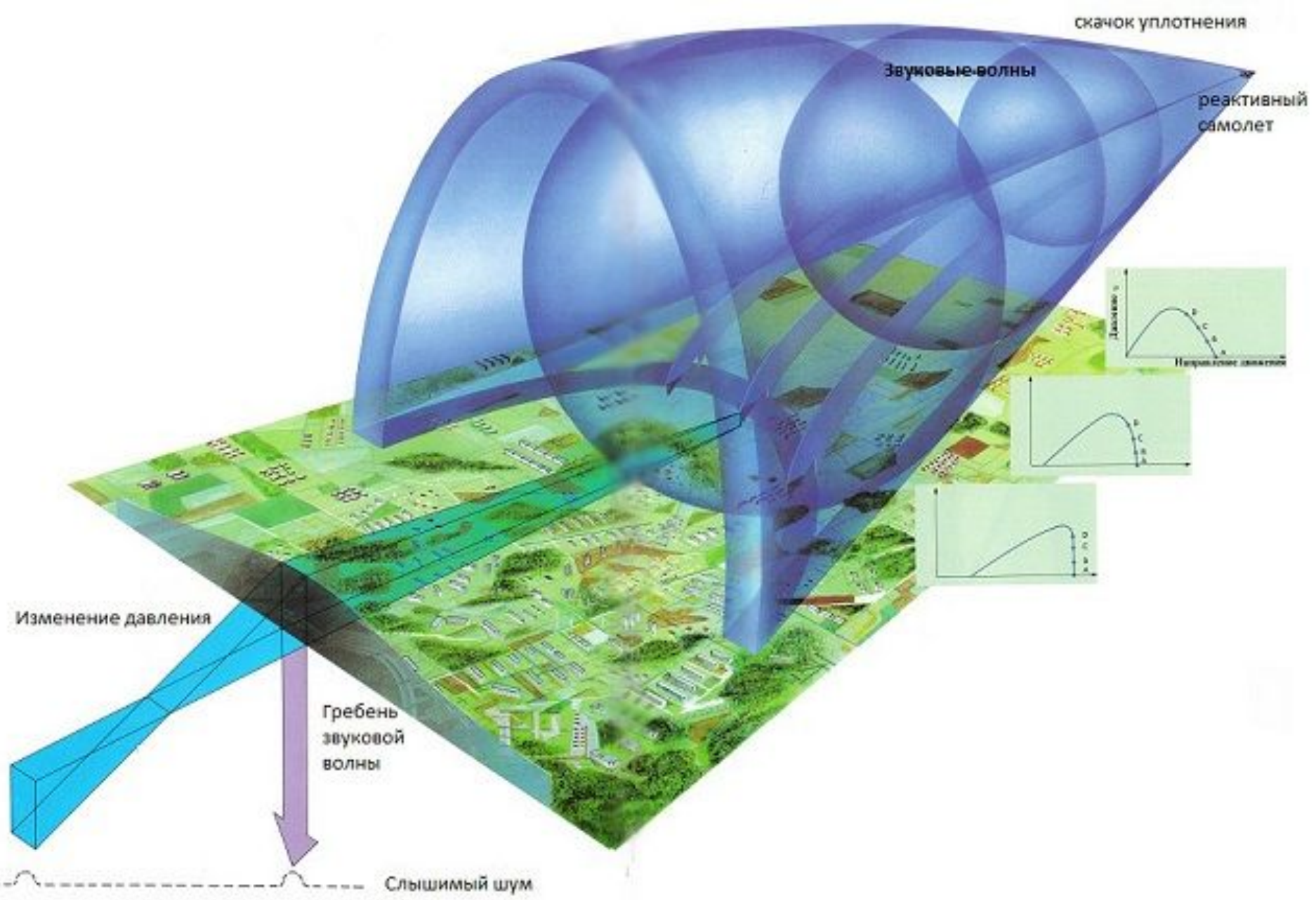
Биологическое действие шумов.

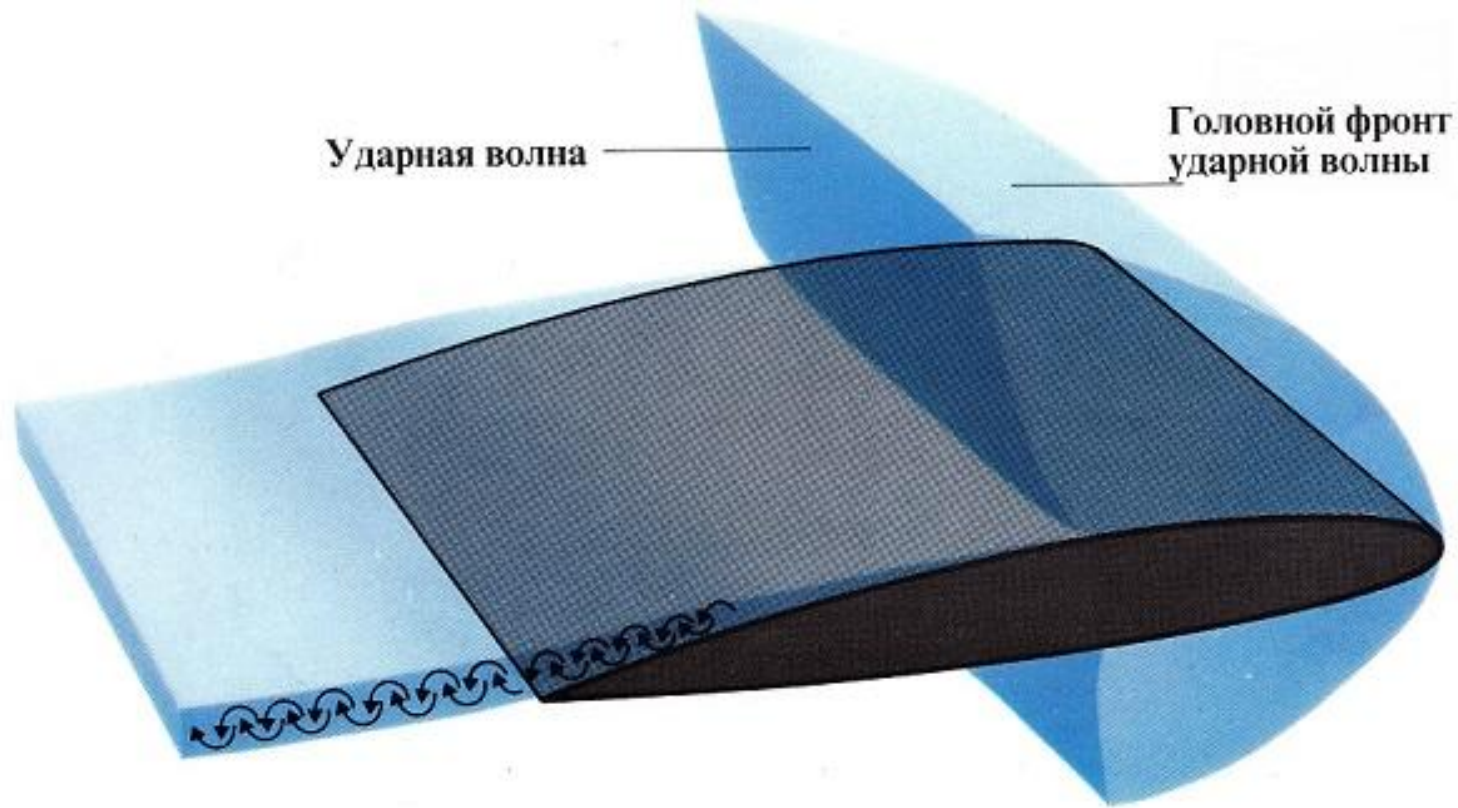
## 24 Скачок уплотнения (ударная волна). Сопло Лавала

**Скачок уплотнения** — ударная волна, характерная для сверхзвукового течения газа узкая область, в которой, если считать её неподвижной, происходит резкое уменьшение скорости газа и соответствующий рост давления, температуры, плотности и энтропии газа. Толщина такого слоя мала — порядка средней длины свободного пробега молекул.

- ▣ Скачок уплотнения появится, если, к примеру, самолет преодолет звуковой барьер (число Маха принимает значение  $M = 1$  (отношение скорости самолета к скорости звука), перед ним возникает волна воздуха повышенного давления.
  - ▣ Значение  $M = 1$  достигается при разных скоростях полета, потому что скорость звука переменна; на уровне моря при температуре  $0^\circ\text{C}$  звуковые волны проходят 343 метра в секунду.)
- 

- После пролета самолета, воздух снова расширяется. Чем выше была скорость самолета, тем больше энергии высвободится в этом расширении.
  - Когда самолет летит на сверхзвуковой скорости,  $M > 1$ , расширение происходит так быстро, что молекулы воздуха, сталкиваясь с относительно неподвижным окружающим воздухом, создают мощные ударные волны. Эти ударные волны распространяются в пространстве в виде расширяющегося конуса.
  - Если самолет в момент преодоления звукового барьера летит на небольшой высоте, то ударные волны пересекаются с земной поверхностью. Их сила настолько высока, что они способны наносить существенные повреждения.
- 





Ударные волны (голубой клин) формируются вдоль фронтальной поверхности самолетного крыла (на рисунке серое). Сзади образуются турбулентные вихри. При увеличении скорости полета ударные волны распространяются все дальше назад, создавая огромную нагрузку на крылья.

# Сопло Лаваля

- Сопло́ Лавáля — газовый канал особого профиля, разгоняющий проходящий по нему газовый поток до сверхзвуковых скоростей. Широко используется на некоторых типах паровых турбин и является важной частью современных ракетных двигателей и сверхзвуковых реактивных авиационных двигателей.
- Сопло было предложено в 1890 г. шведским изобретателем Густафом де Лавалем для паровых турбин.



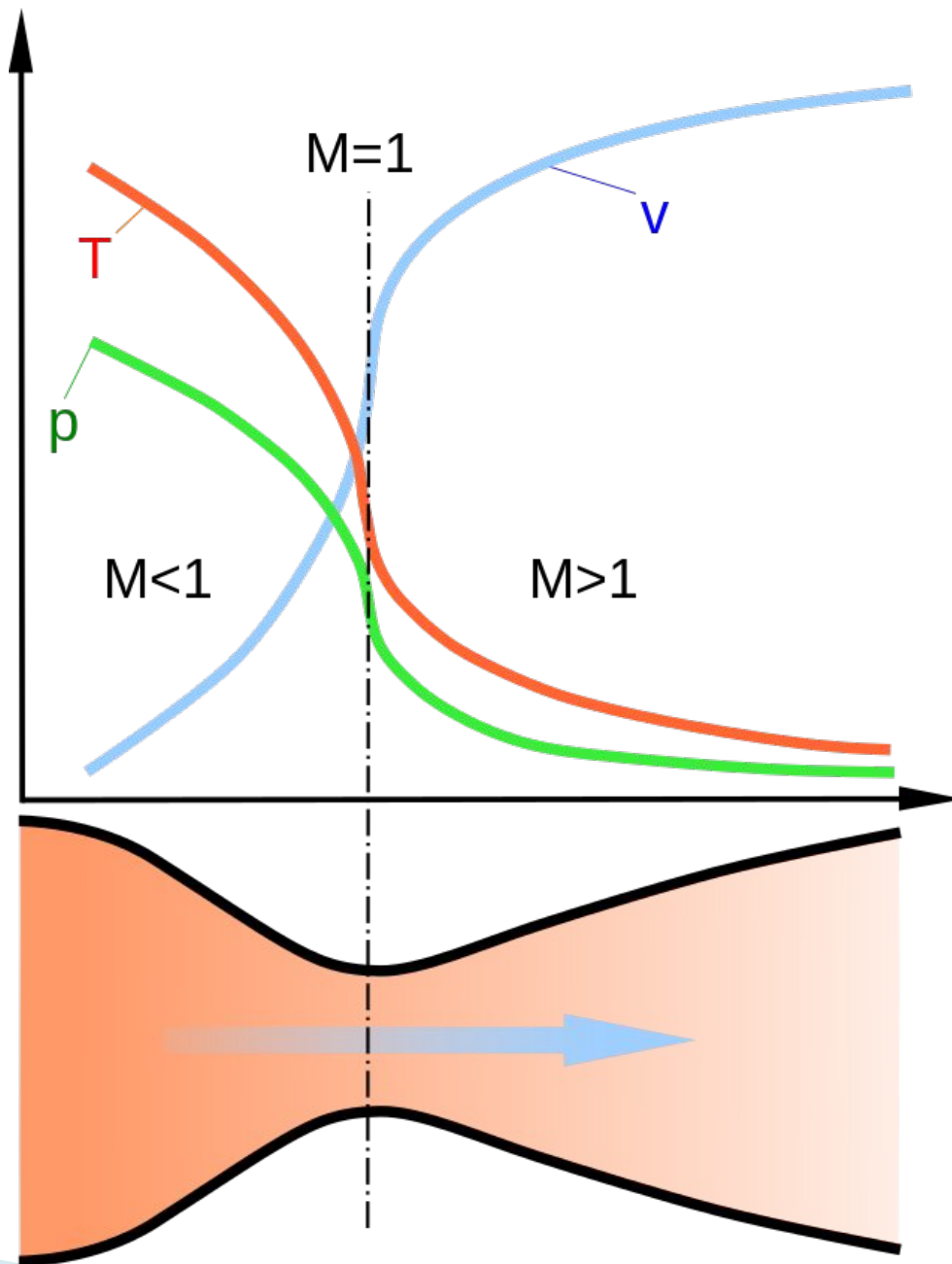
**Operating Parameters**

Parameter	Value
Temperature	100 °C
Pressure	10 mmHg
Flow Rate	10 L/h
Material	Stainless Steel
Capacity	100 L
Manufacturer	ABC Company

**Safety Information**

This equipment is designed for the distillation of flammable and volatile liquids. It is essential to maintain the correct operating parameters to ensure safe and efficient operation. Always refer to the manufacturer's manual for detailed instructions and safety protocols.





Из уравнения состояния идеального газа, и баланса энергии в газовом потоке выводится формула расчёта линейной скорости истечения газа из сопла Лаваля:

$$v_e = \sqrt{\frac{TR}{M} \cdot \frac{2k}{k-1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_e}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

$v_e$  — Скорость газа на выходе из сопла, м/с,

$T$  — Абсолютная температура газа на входе,

$R$  — Универсальная газовая постоянная  $R=8314,5$  Дж/(киломоль · К),

$M$  — молярная масса газа, кг/киломоль,

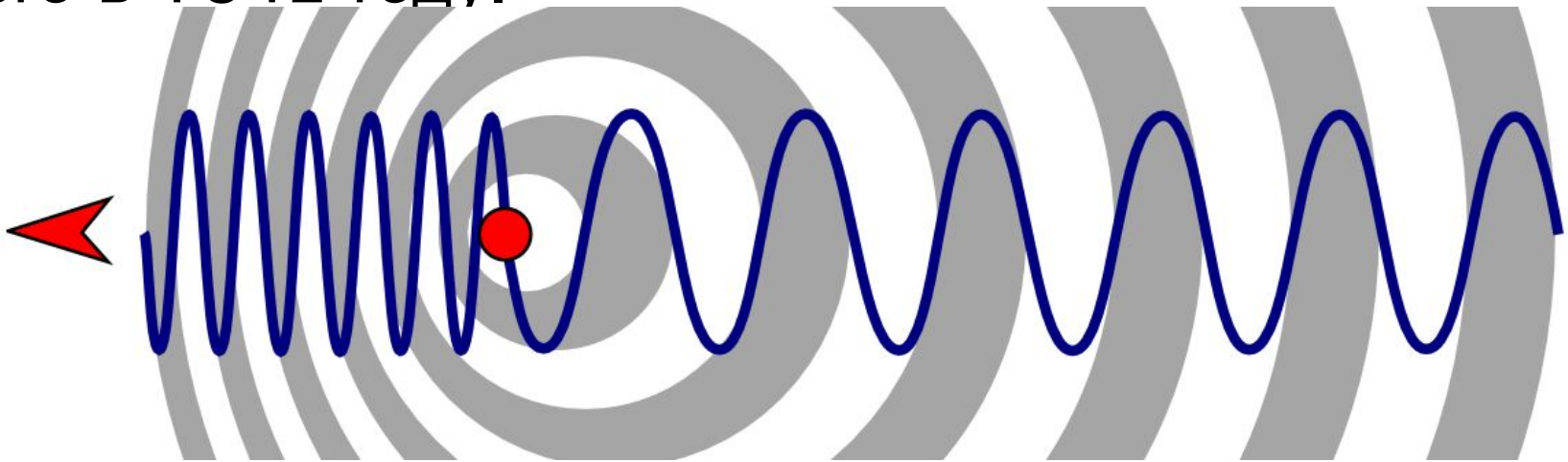
$k$  — Показатель адиабаты  $k=c_p/c_v$ ,  $c_p$  — Удельная теплоёмкость при постоянном давлении, Дж/(киломоль · К),  $c_v$  — Удельная теплоёмкость при постоянном объеме, Дж/(киломоль · К),

$p_e$  — Абсолютное давление газа на выходе из сопла, Па

$p$  — Абсолютное давление газа на входе в сопло, Па

# Эффект Доплера

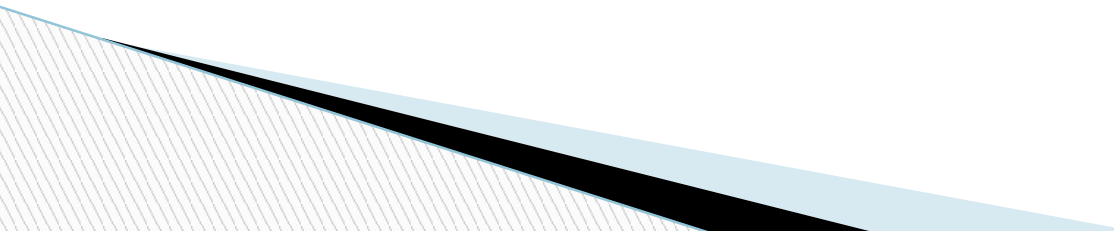
Эффект Доплера — изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и/или движением приёмника. Эффект назван в честь австрийского физика Кристиана Доплера, впервые описавшего его в 1842 году.



[PHYSICS-ANIMATIONS.COM](http://PHYSICS-ANIMATIONS.COM)

# 25 Классификация шумов по физической природе

- ▣ Техногенные шумы по физической природе происхождения могут быть классифицированы на следующие группы:
  - механические шумы, возникающие при взаимодействии различных деталей в механизмах, (одиночные или периодические удары), а также при вибрациях поверхностей устройств, машин, оборудования и т.п.;

- электромагнитные шумы, возникающие вследствие колебаний деталей и элементов электромеханических устройств под действием электромагнитных полей (дроссели, трансформаторы, статоры, роторы и т. п.);
  - аэродинамические шумы, возникающие в результате вихревых процессов в газах (адиабатическое расширение сжатого газа или пара из замкнутого объема в атмосферу; возмущения, возникающие при движении тел с большими скоростями в газовой среде, при вращении лопаток турбин и т. п.);
- 



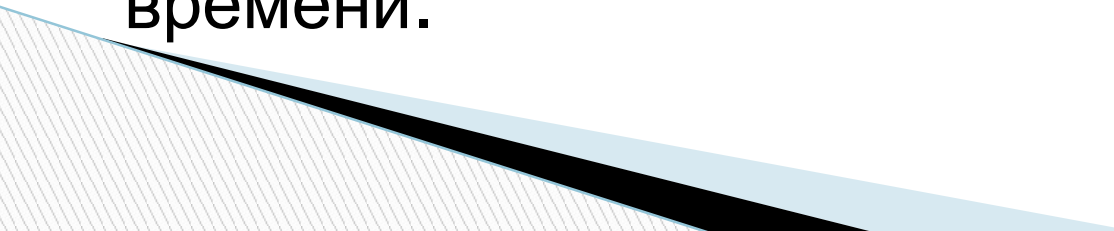
— гидродинамические шумы, вызываемые различными процессами в жидкостях (гидравлический удар при быстром сокращении кавитационных пузырей, кавитация в ультразвуковом технологическом оборудовании, в жидкостных системах самолетов и т. п.).

## 26 Постоянные и непостоянные шумы

По временным характеристикам шумы делятся на постоянные и непостоянные.

Постоянные шумы в процессе измерений на временной характеристике шумомера «медленно» не изменяют уровень сигнала более 5 дБА. В случае непостоянных шумов это изменение может быть более 5 дБА.

В свою очередь, непостоянные шумы делятся на импульсные, прерывистые и колеблющиеся во времени.



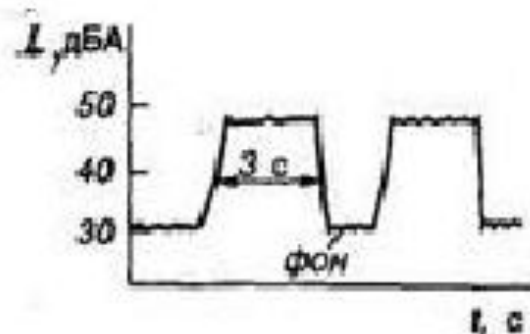
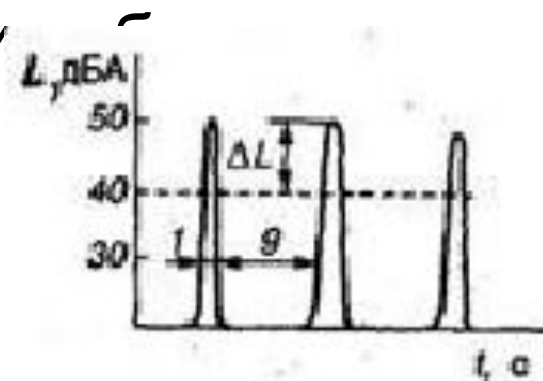


- Импульсные, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов, длительностью 1 с и уровнями звука, отличающимися

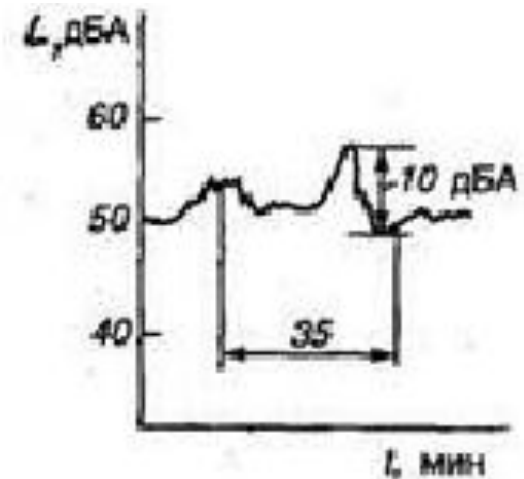
на 7 дБА при измерениях на временной характеристике

шумомера «импульс» и «медленно»

- Прерывистые шумы отличаются тем, что уровень звука изменяется на 5 дБА и более несколько раз за время измерения, причем длительность импульса больше, чем при импульсных шумах и в момент действия импульса его амплитуда остается постоянной, превышающей фон

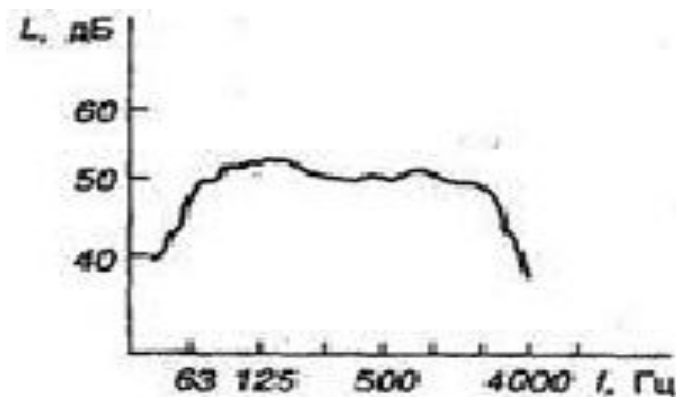


- Колеблющиеся во времени, отличающиеся тем, что уровень шума меняется со временем.

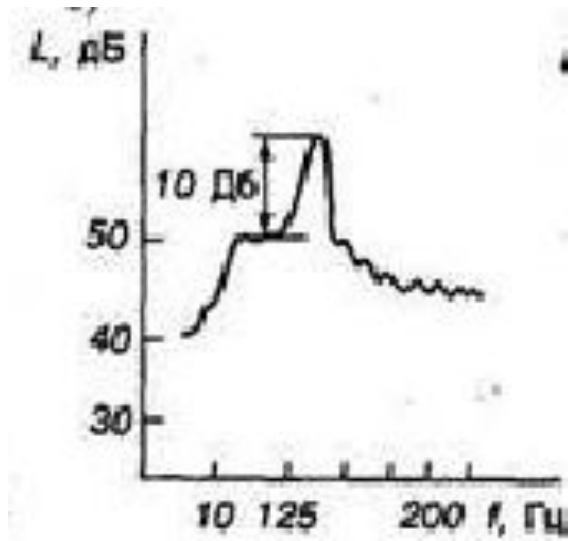


## 27 Классификация шумов по спектрально-временным характеристикам

По характеру спектра шумы делятся на широкополосные и тональные (дискретные). Под широкополосными шумами понимаются шумы, имеющие непрерывный спектр шириной более октавы. В технике приняты октавные полосы со среднегеометрическими частотами, например, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.



Тональный шум характеризуется тем, что в спектре присутствуют отдельные слышимые дискретные тона (рис. 2.5, 6). Тональность шума определяют в процессе измерений уровня звукового давления  $L_p$  в третьоктавных полосах частот при превышении уровня в одной полосе над соседними более, чем в 10 дБ. Рассчитывают  $L_p$ , по формуле (2.18).



## 28 Октавные полосы со среднегеометрическими значениями

Октавная полоса частот – это полоса частот, в которой верхняя граничная частота в два раза больше нижней.

Диапазон от такой нижней до верхней частоты называется октавой.

При нормировании шумов принято проводить измерение шумовых характеристик на определенным образом выбранных октавных полосах частот.

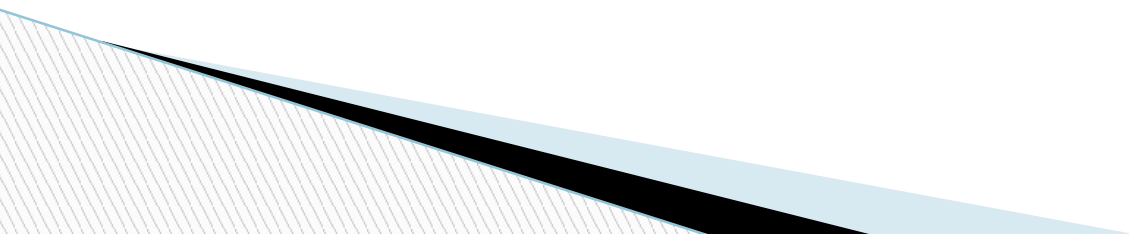
Так, октавными полосами частот были выбраны следующие частоты, Гц:

31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Для каждой из таких частот проводится измерение уровня звука, что позволяет наиболее точно характеризовать наблюдаемый шум.

Так, если пик звукового давления приходится на частоты до 300 Гц, то шум является низкочастотным, от 300-800 Гц – среднечастотным, и свыше 800 Гц – высокочастотным.

Полученный ряд значений звуковых давлений на всех частотах называется полученным спектром. Данный спектр можно сравнить с допусκαемым, значения для которого берутся из ГОСТов, СНиПов (см. лекцию 6).

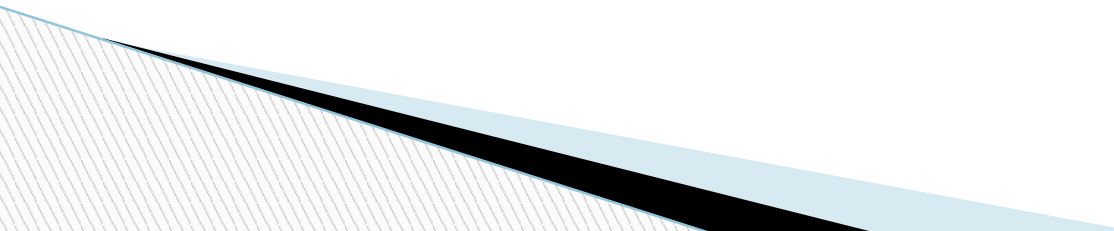


# 29 Биологическое действие шумов

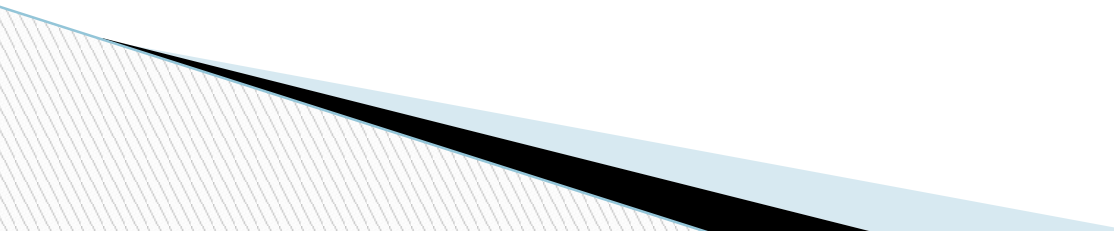
- ▣ Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. Процесс адаптации слуховой системы выражается во временном смещении (повышение порогов слуховой чувствительности). При долговременном акустическом воздействии формируется повышение слуховых порогов, сначала медленно возвращающееся к исходному уровню (слуховое утомление), а затем сохраняющееся к началу очередного шумового воздействия (постоянное смещение порога слуха).



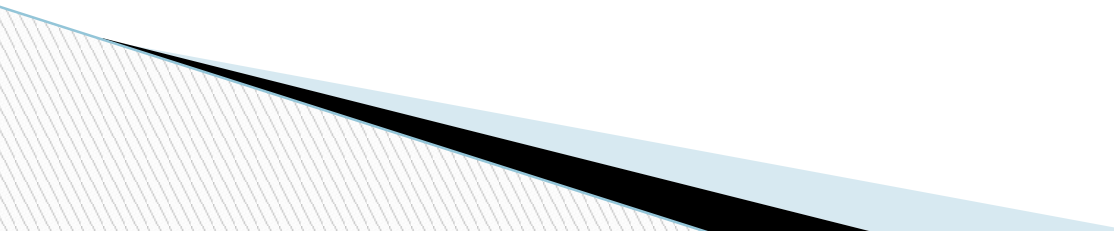
Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но и в первую очередь действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Так, под влиянием шума возникает вегетативные реакции, обуславливающие нарушение периферического кровообращения за счет сужения капилляров, а также изменение артериального давления (преимущественно повышение).



Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм можно выделить:

- снижение разборчивости речи
  - неприятные ощущения
  - развитие утомления и снижение производительности труда
  - появление шумовой патологии.
- 

Снижение разборчивости (внятности) речи, профессионально значимое при многих видах деятельности, обусловлено эффектами звуковой маскировки голоса производственным шумом и тесно связано со спектральными характеристиками шума.

- Шумы могут вызывать неприятные ощущения, однако решающую роль в оценке «неприятности» шума играет субъективное отношение человека к этому раздражителю.
  - Приобретает особую значимость то, что шум, являясь информационной помехой для высшей нервной деятельности в целом, оказывает неблагоприятное влияние на протекание нервных процессов и способствует развитию утомления. Воздействие шумов способно «накапливаться» в организме человека.
- 

- ▣ Развитие хронической профессиональной тугоухости – процесс длительный и постепенный. Время протекания этого процесса различно и зависит от интенсивности, спектра, динамики изменения воздействия шума во времени, индивидуальной чувствительности к шуму, а также многих других факторов, влияние которых еще не до конца изучено.