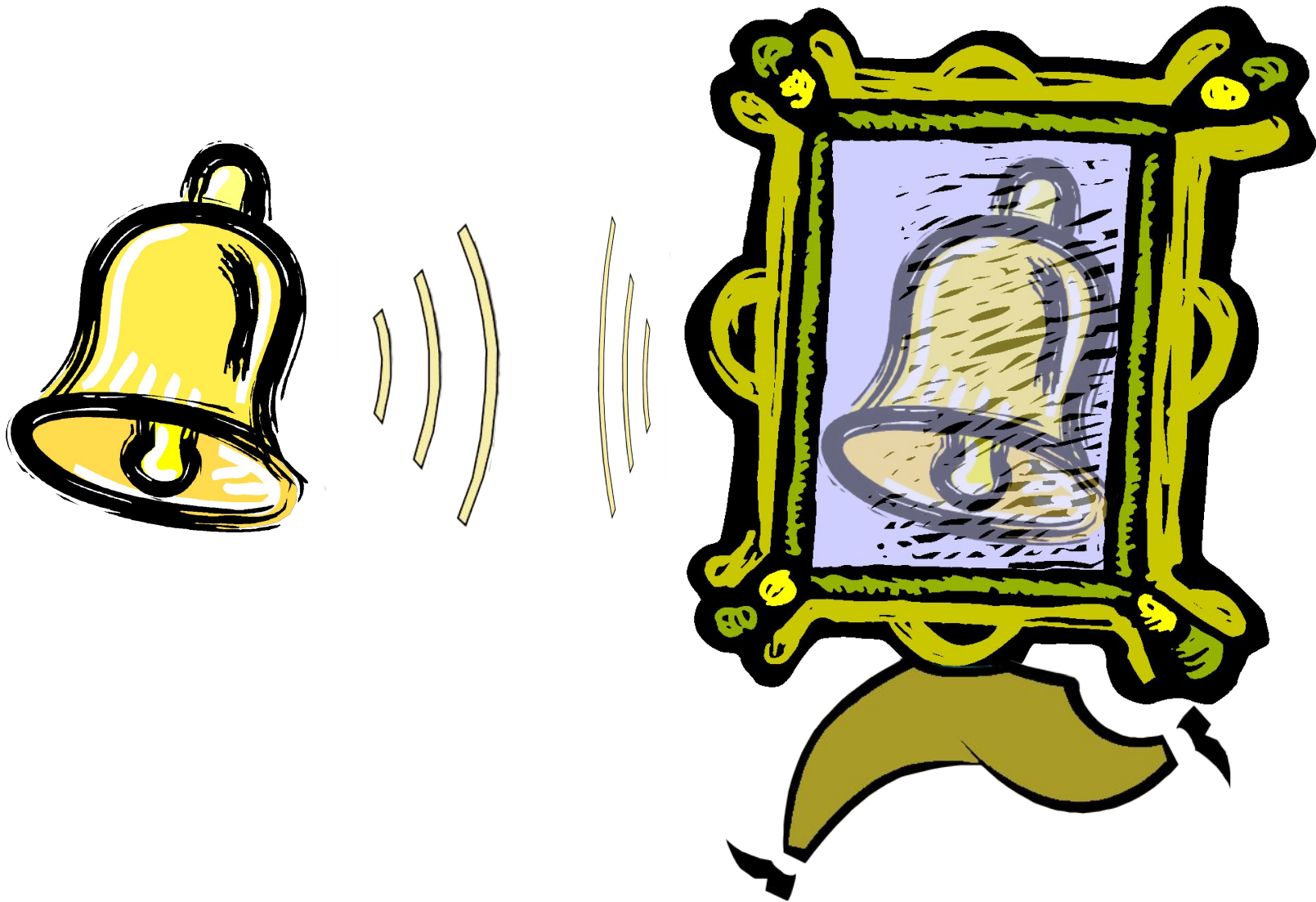
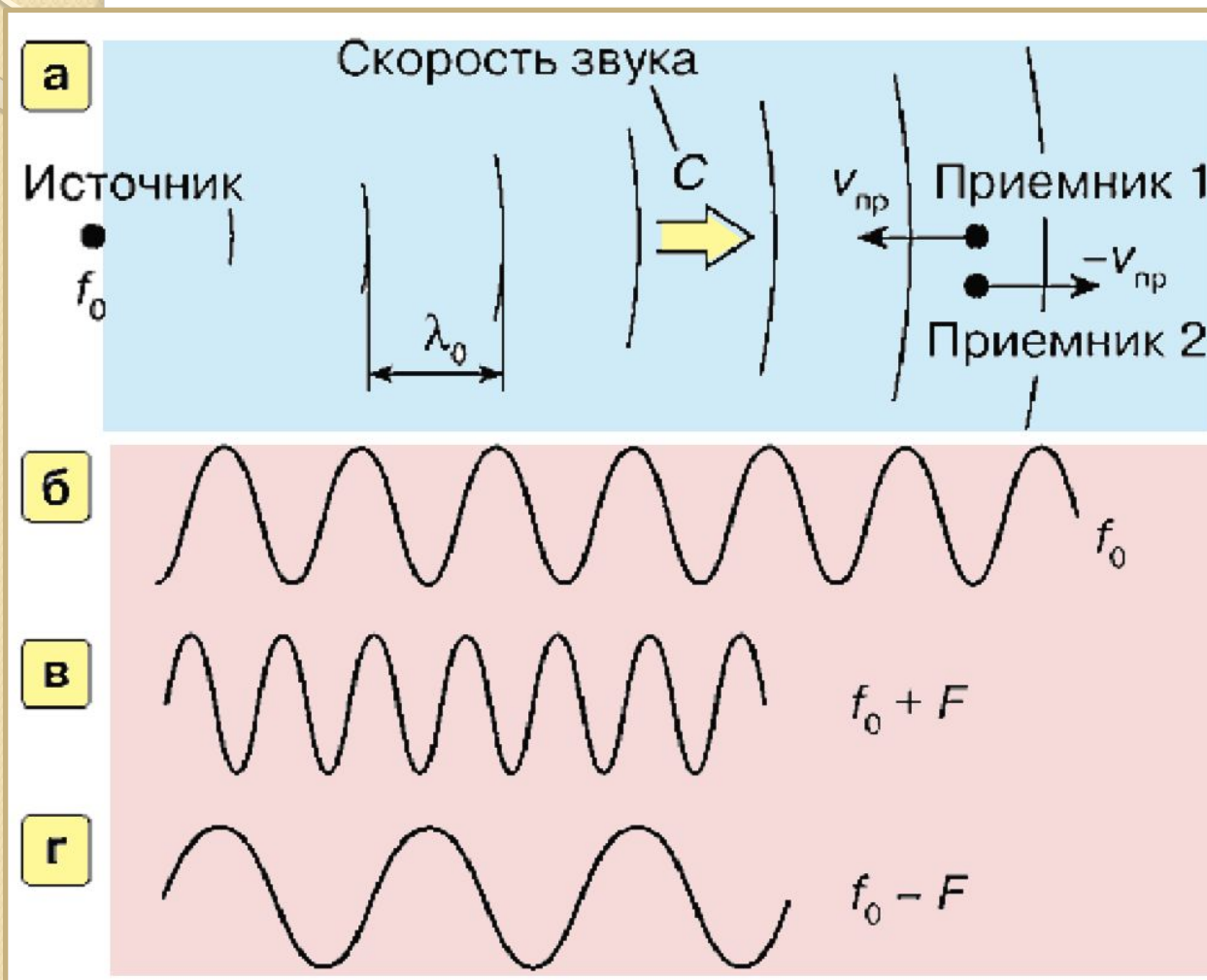


# УЗД с использованием эффекта Допплера



# Эффект Допплера

## Движущийся приемник звука



$$f = \frac{V_{зв}}{\lambda}$$

$$V_{зв} = c + v_{пр}$$

$$\lambda = \lambda_0 = c / f_0$$

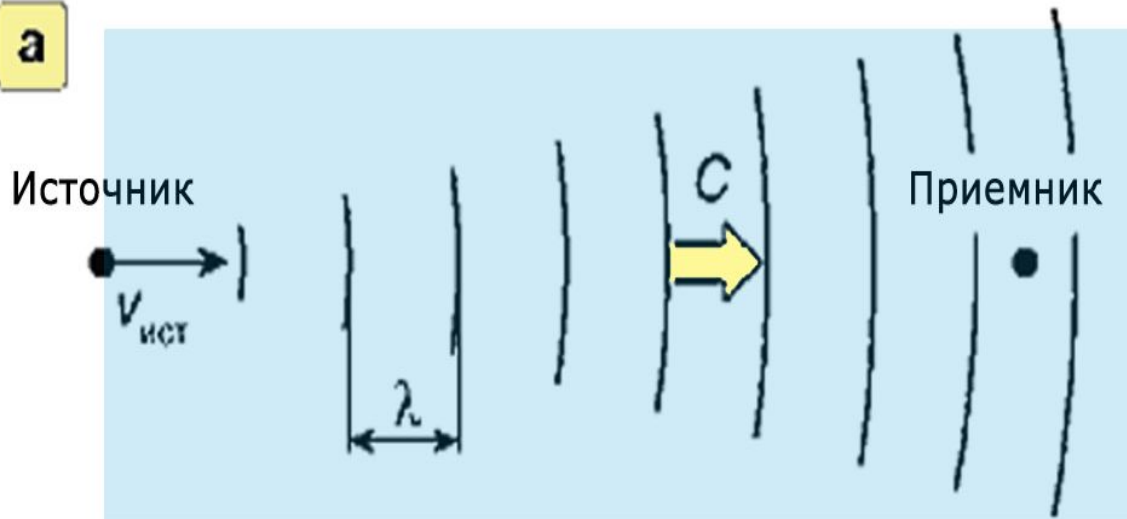
$$f = f_0 \frac{c + v_{пр}}{c}$$

$$F = f_0 \frac{v_{пр}}{c}$$

# Эффект Допплера

*Движущийся источник звука*

**а**



**б**



**в**



$$f = \frac{V_{зв}}{\lambda}$$

$$V_{зв} = c$$

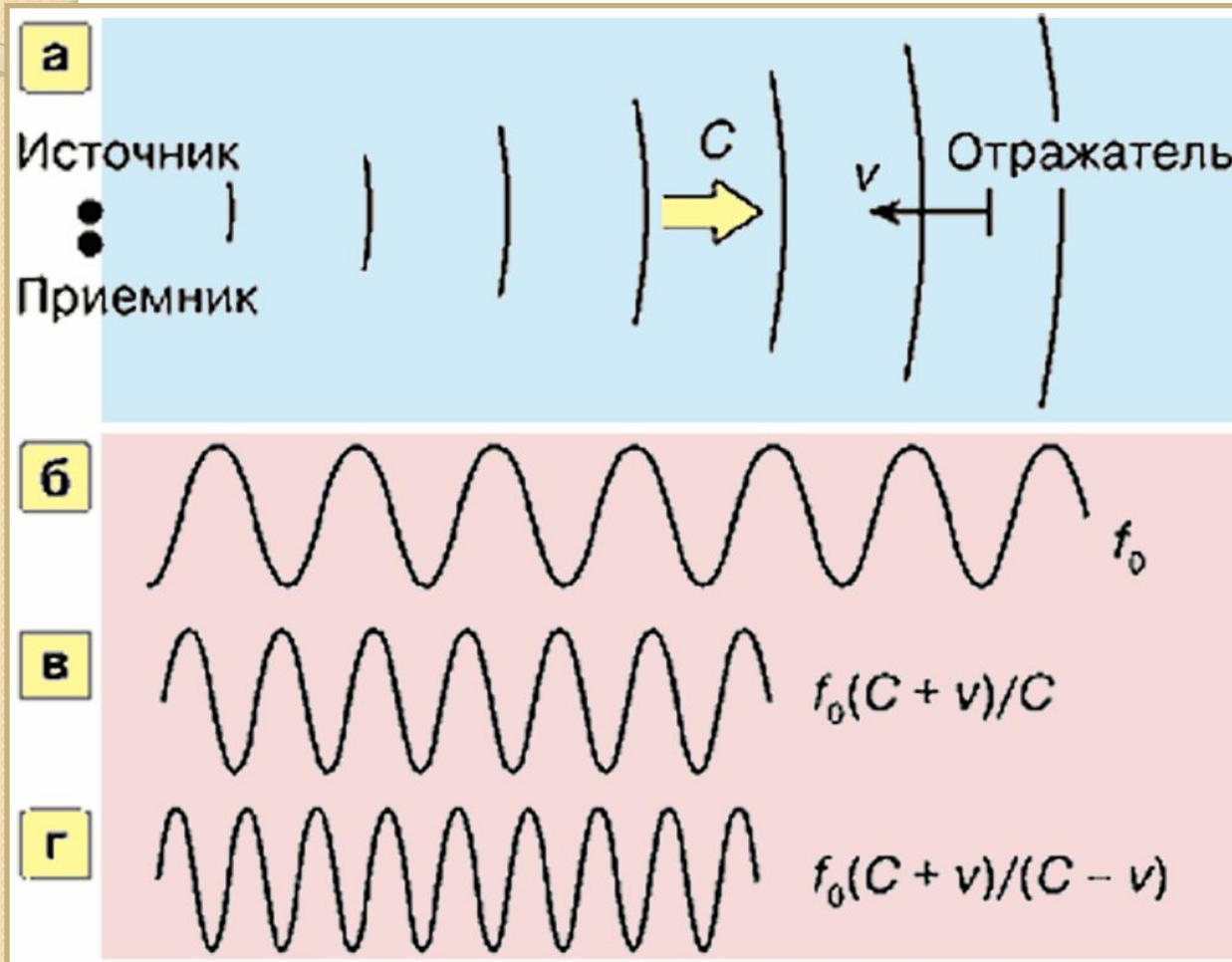
$$\lambda = \frac{(c - V_{ист})}{f_0}$$

$$f = f_0 \frac{c}{c - V_{ист}}$$

$$F = f_0 \frac{V_{ист}}{c - V_{ист}}$$

# Эффект Допплера

**Движущийся отражатель ультразвука**



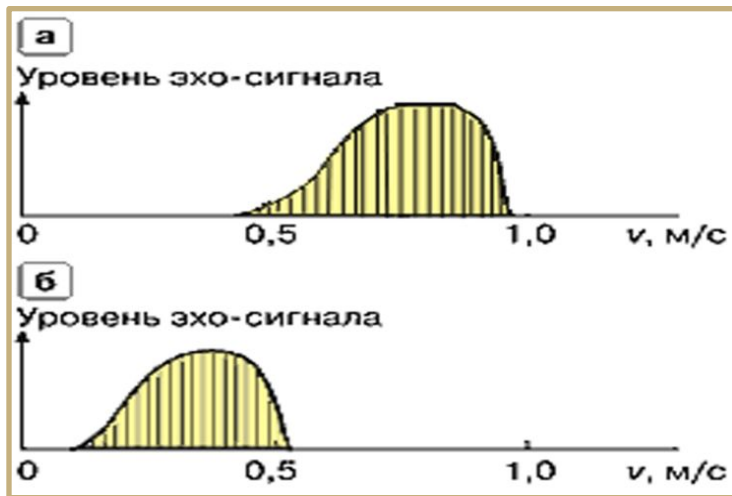
$$f_{omp} = f_0 \frac{C + V}{C}$$

$$f = f_{omp} \frac{C}{C - V}$$

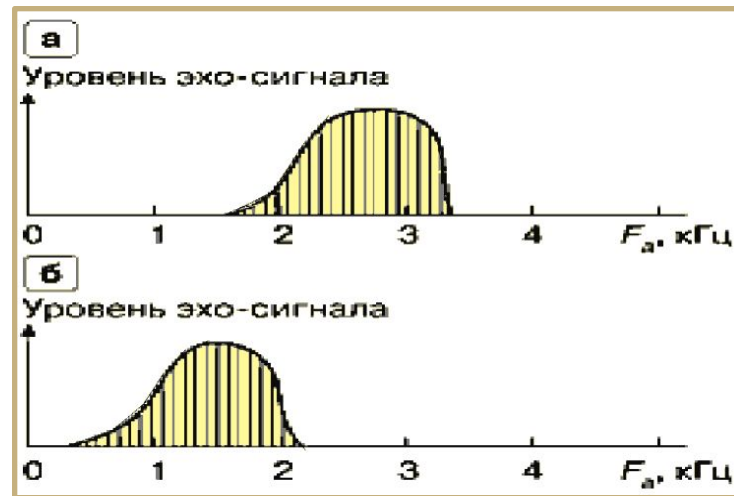
$$f = f_0 \frac{C + V}{C - V}$$

# Спектры скоростей кровотока и частот доплеровского сдвига

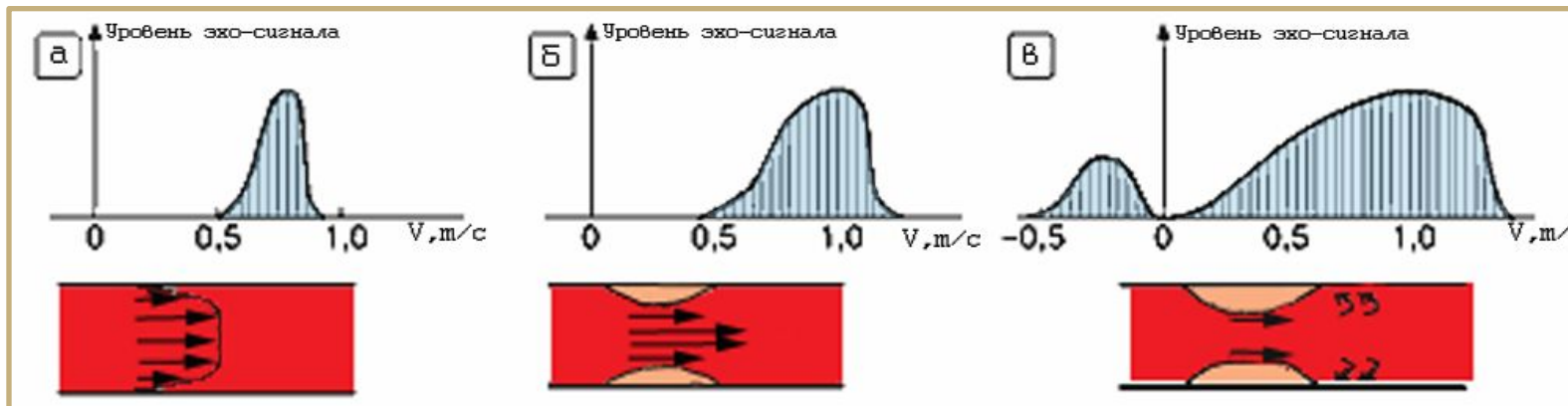
Спектры скоростей



Спектры сдвигов

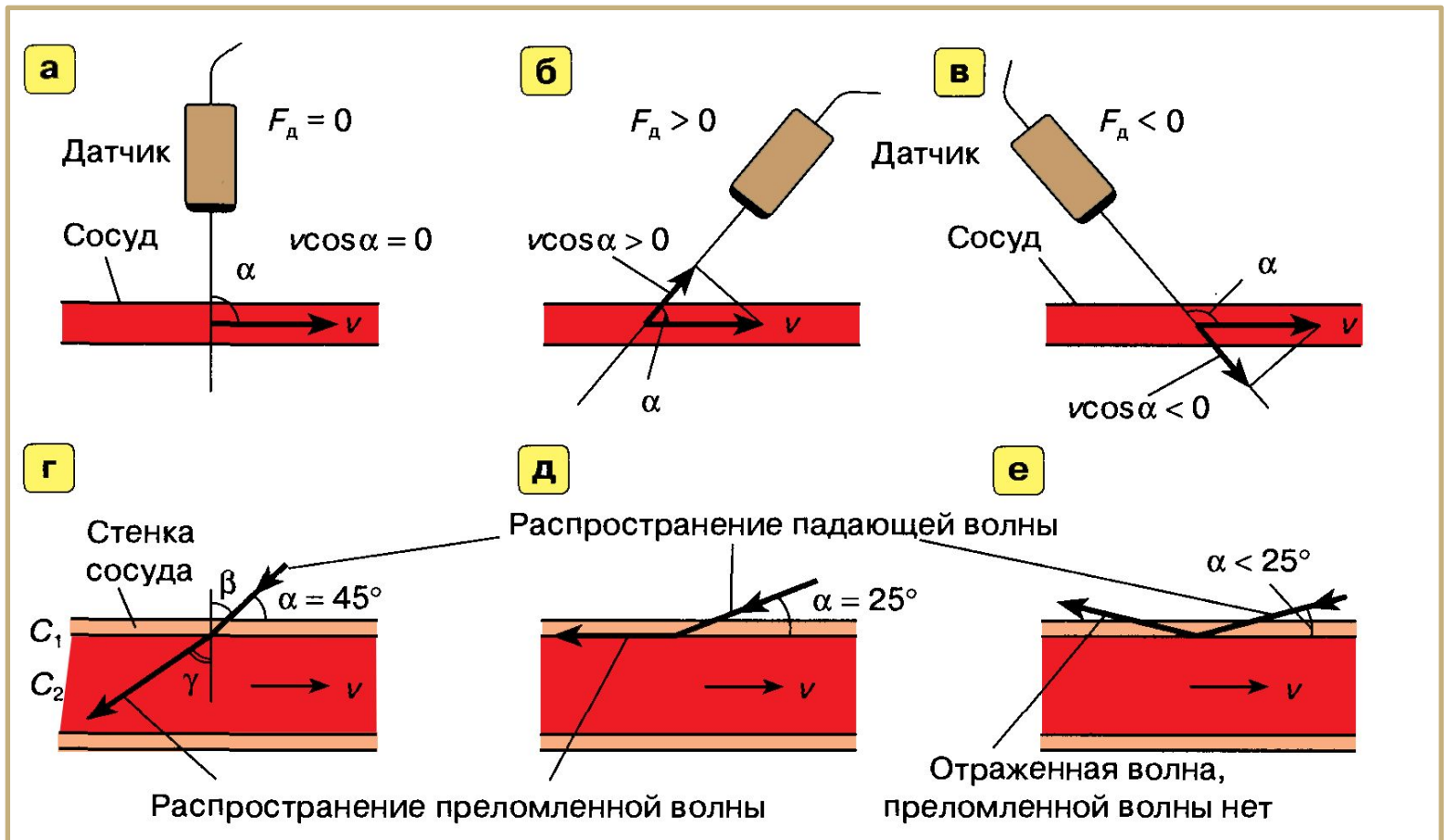


Изменение спектра скоростей при стенозе

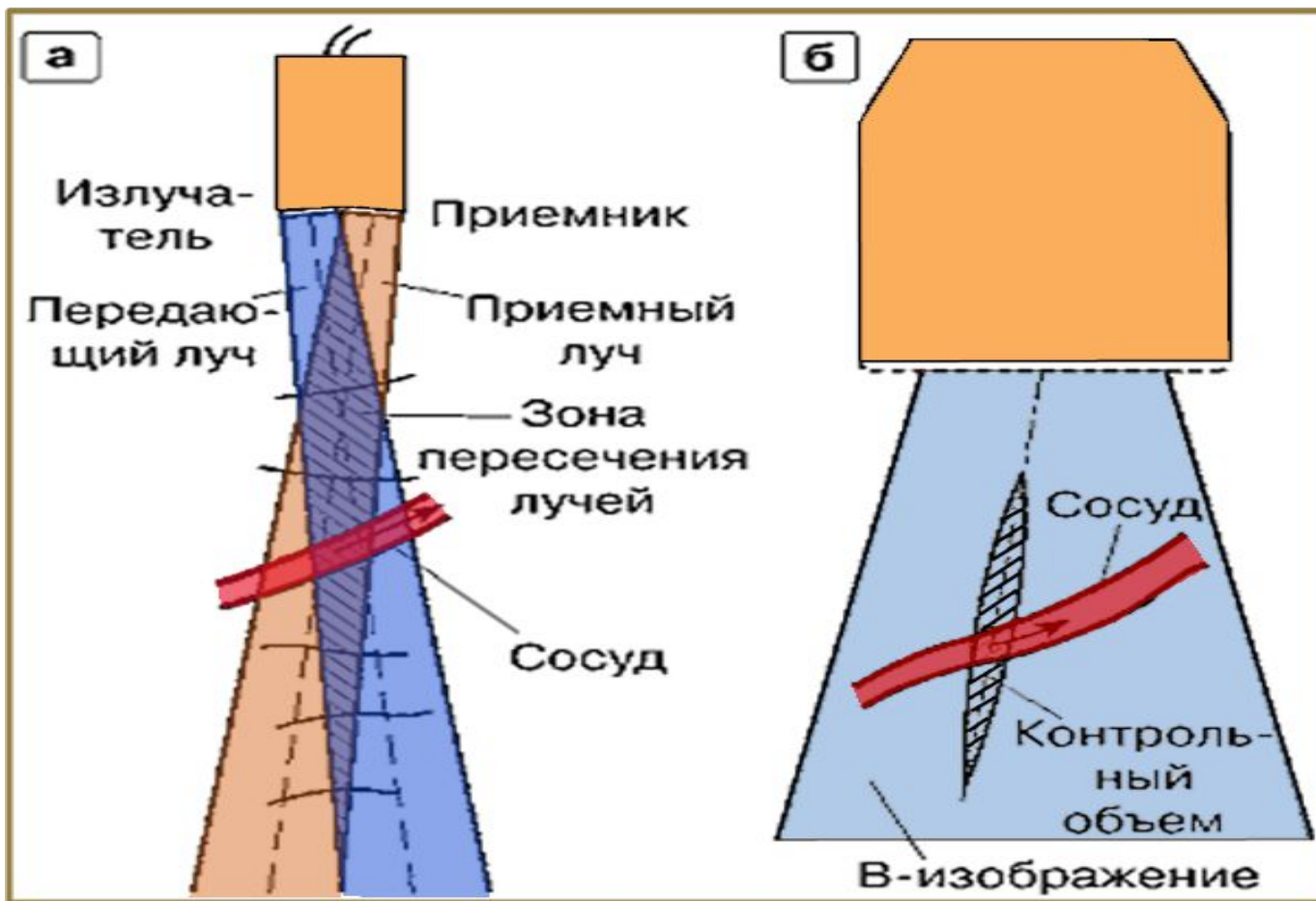


# Допплеровский угол

$$F_D = f - f_0 = f_0 \frac{2V \cos \alpha}{C}$$



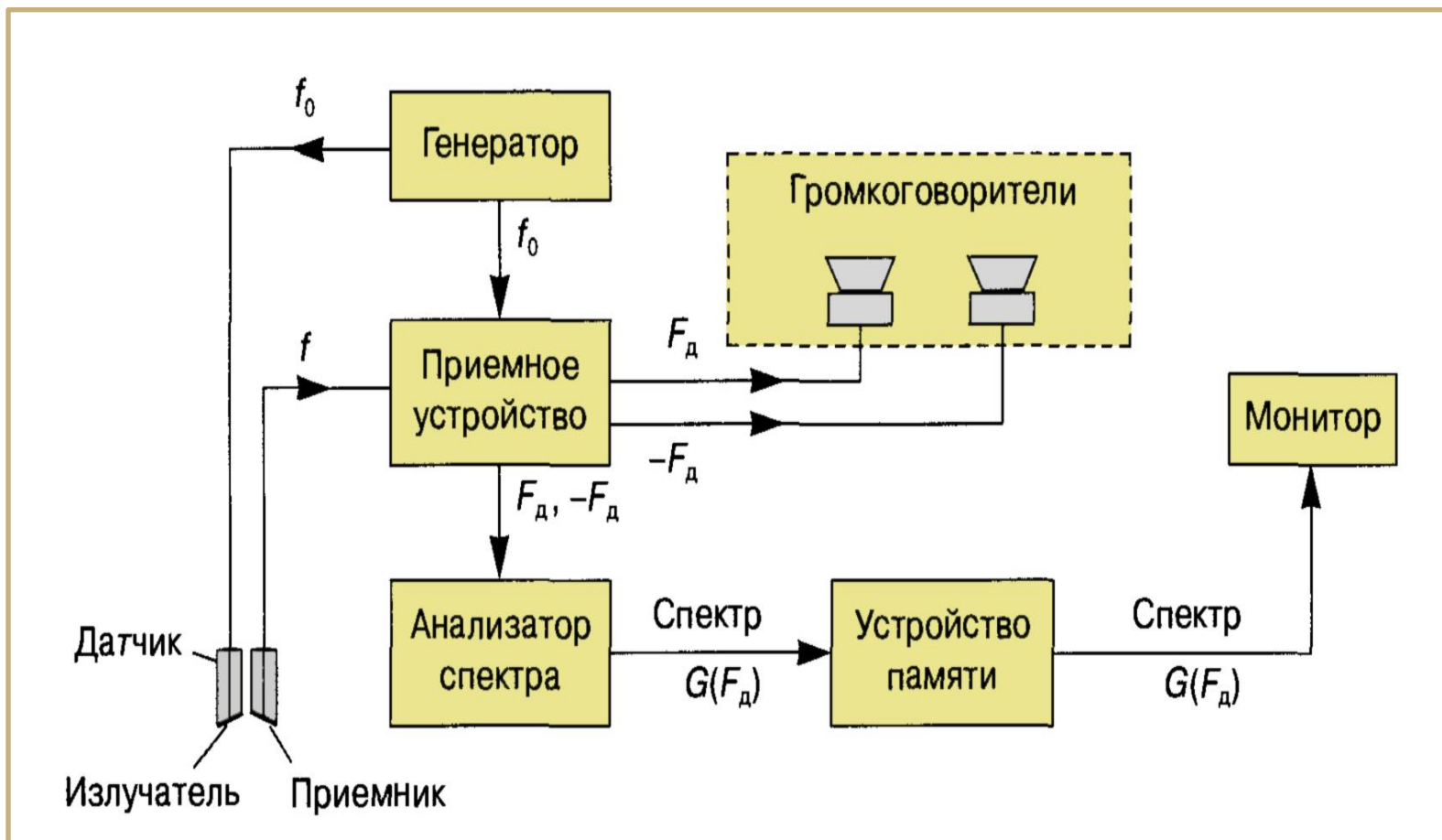
# Датчики для непрерывноволнового доплера



а – карандашный датчик,

б – дуплексный датчик

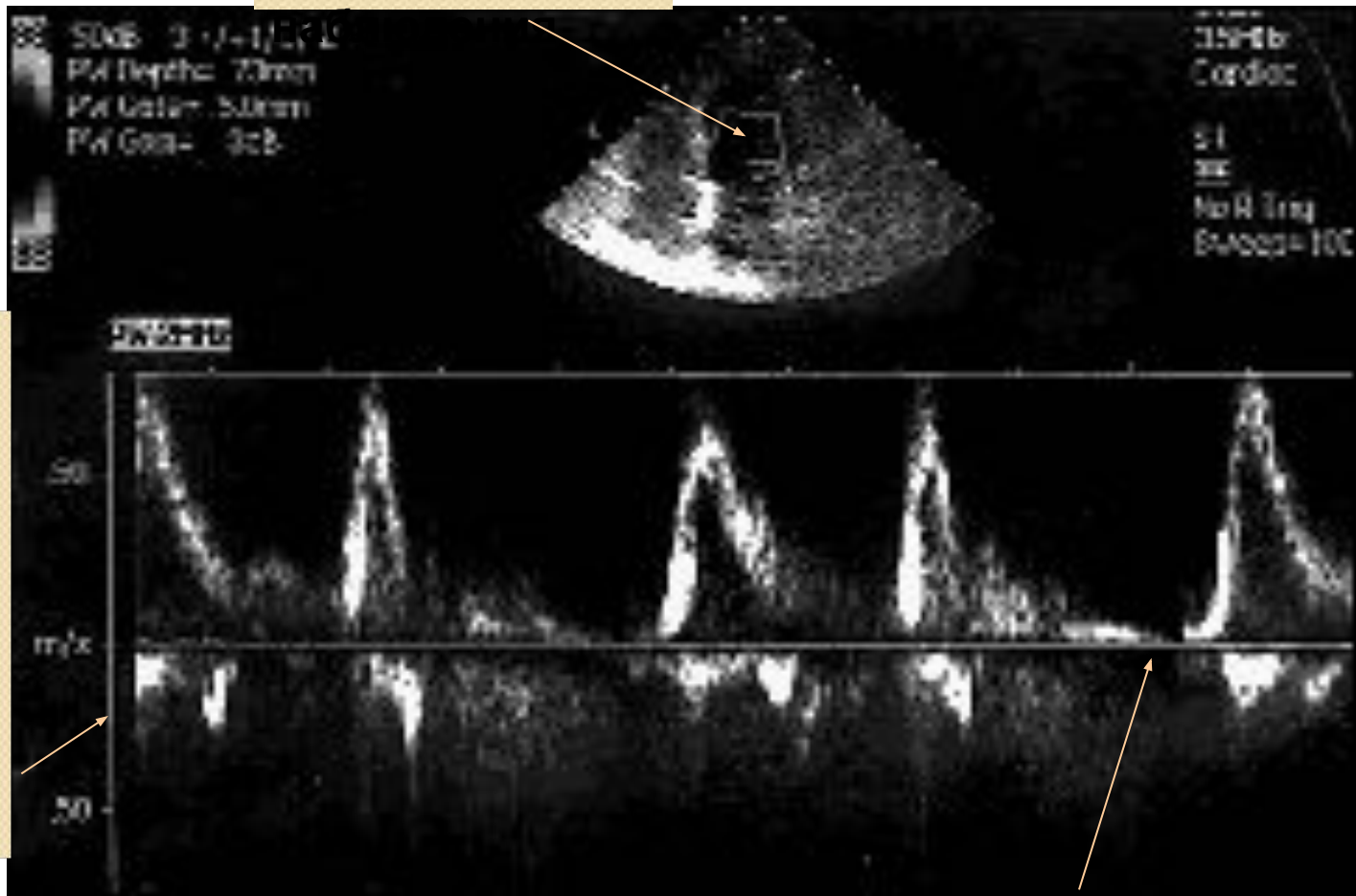
# Блок схема доплеровского CW-сканера





# Непрерывноволновой Допплер

Зона



# Непрерывноволновой

## доплер

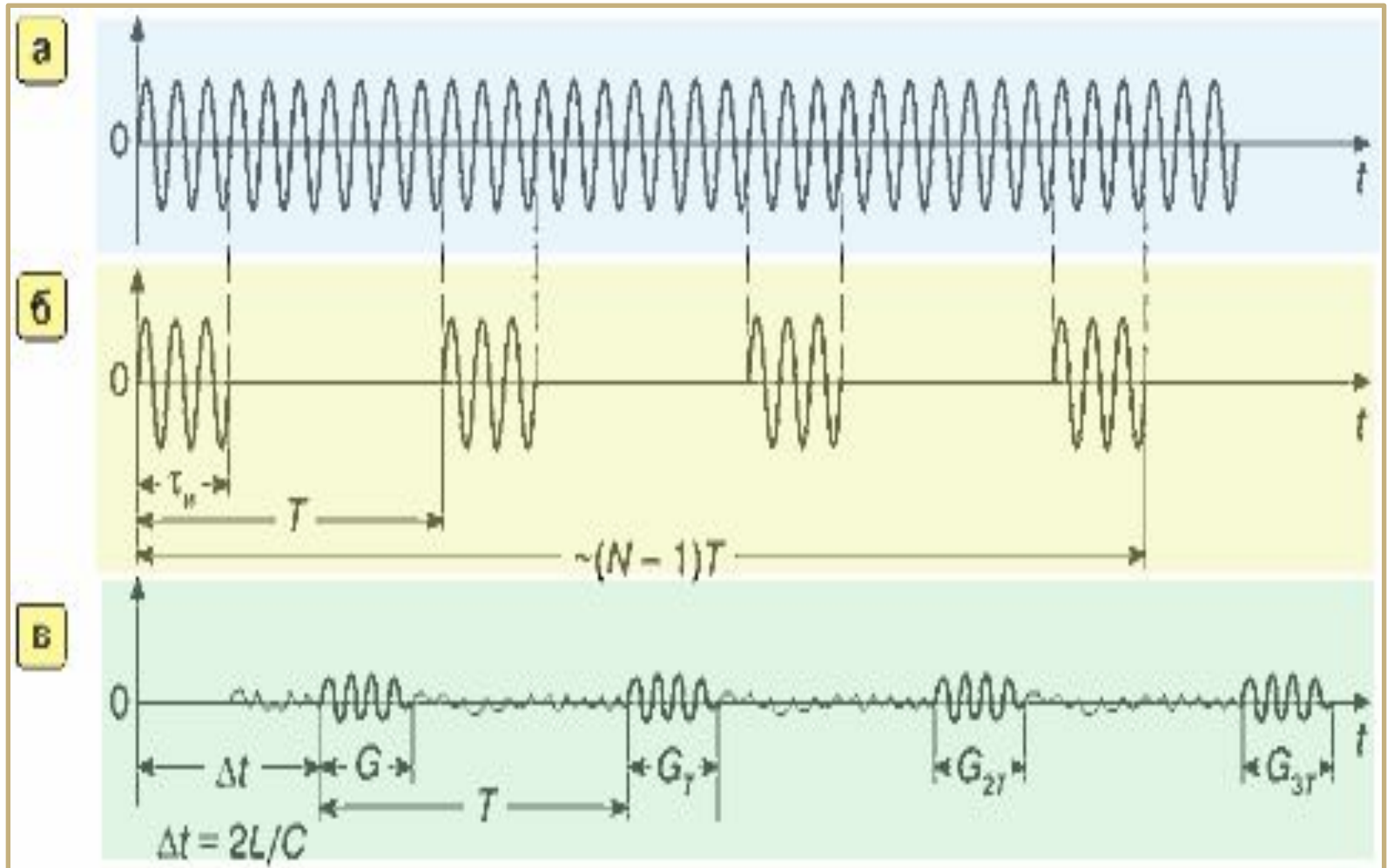
### Достоинства :

- ✓ хорошая **чувствительность**
- ✓ возможность получить **количественные** характеристики кровотока
- ✓ высокая **точность оценки** спектра частот доплеровского сдвига и спектра скоростей кровотока
- ✓ **однозначность** измерения доплеровских сдвигов частоты и, следовательно, спектра скоростей кровотока
- ✓ относительная **простота** технической реализации

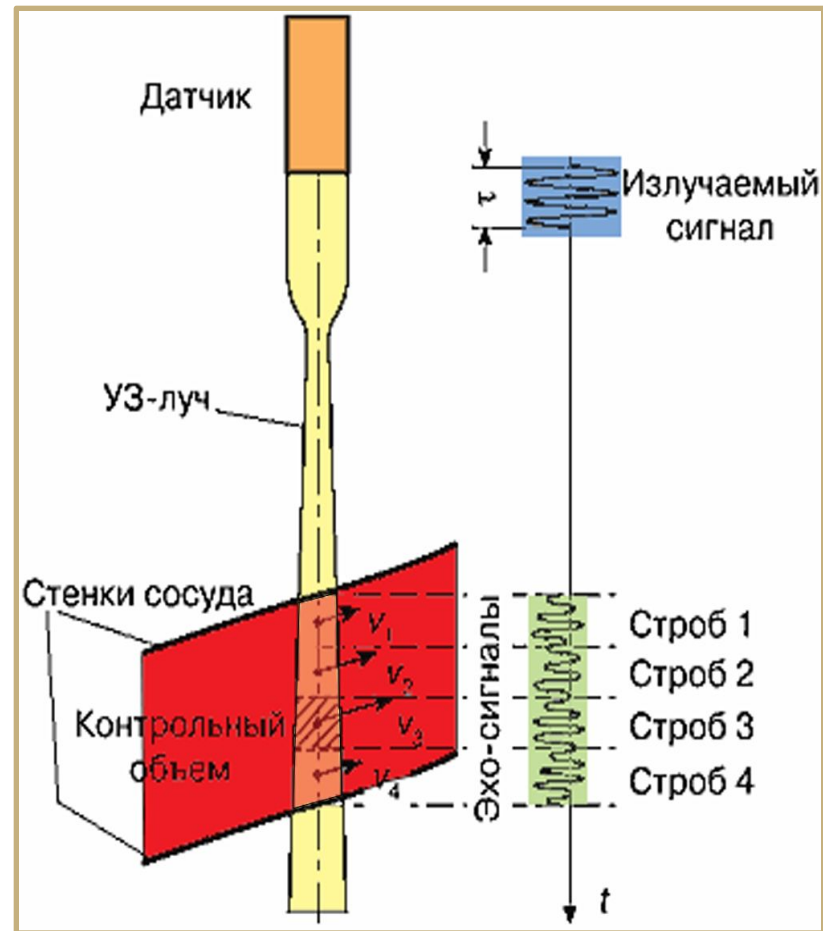
### Недостатки :

- ✓ **отсутствие** разрешающей способности по глубине
- ✓ **зависимость** точности оценки спектра скоростей **от угла  $\alpha$**  между осью УЗ-луча и направлением кровотока
- ✓ **сложность** работы для врача

# Импульсно-волновой доплер

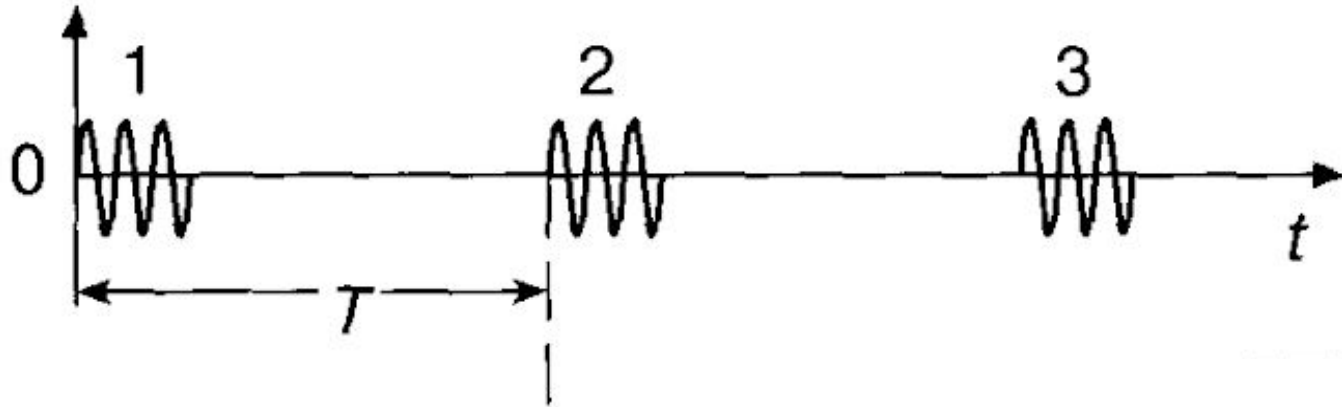


# Импульсно-волновой доплер

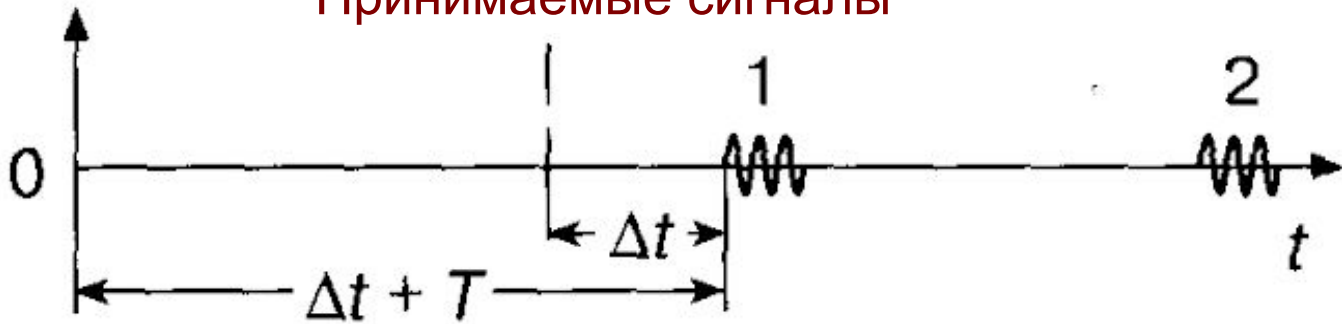


# Неоднозначность определения глубины

Излучаемые импульсы



Принимаемые сигналы



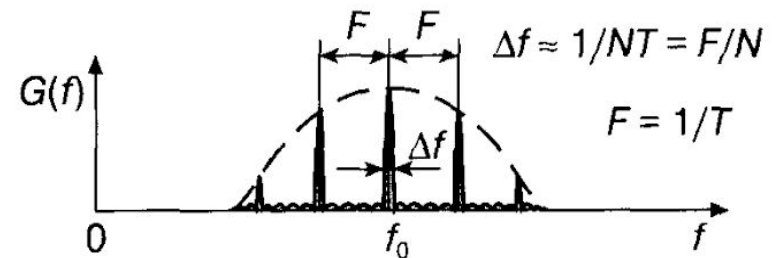
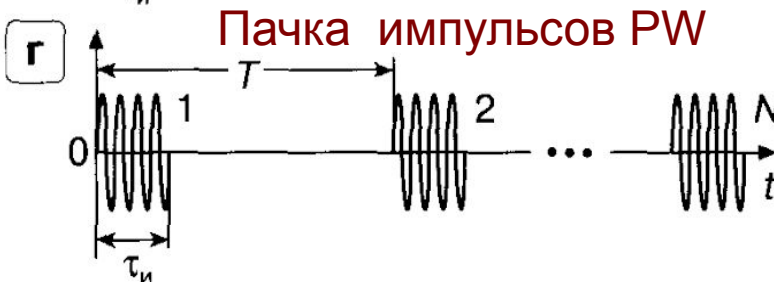
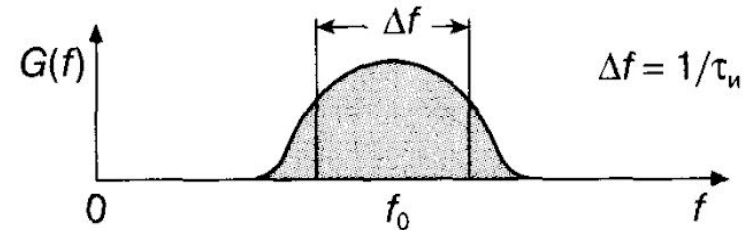
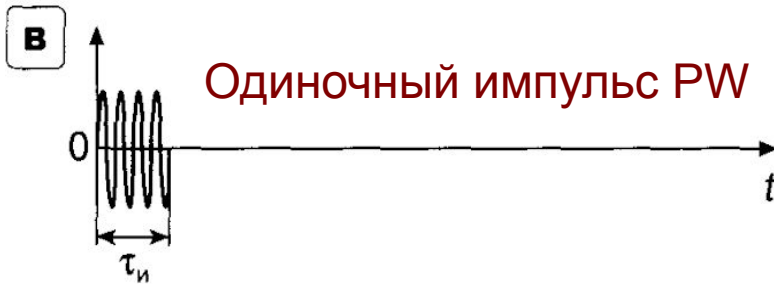
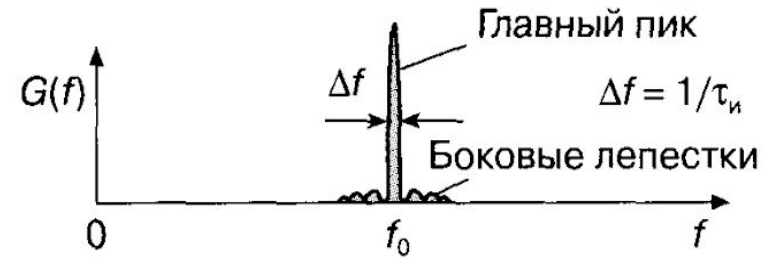
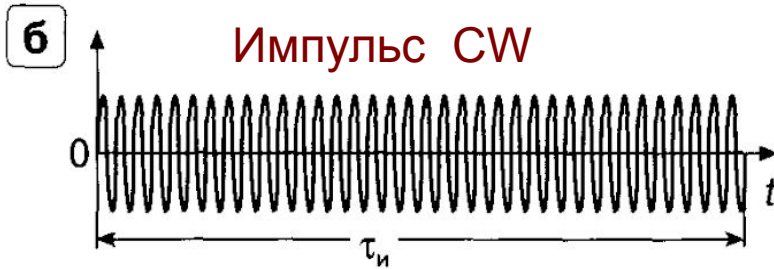
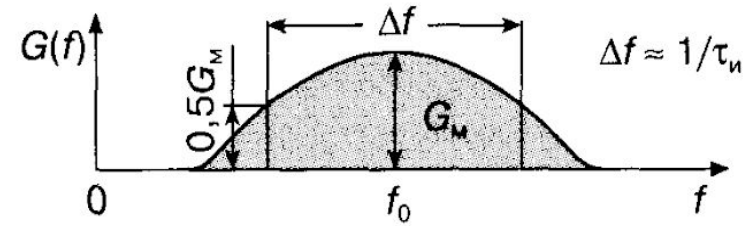
$$T > 2L_{\max}/C$$

# Вид и спектр уз

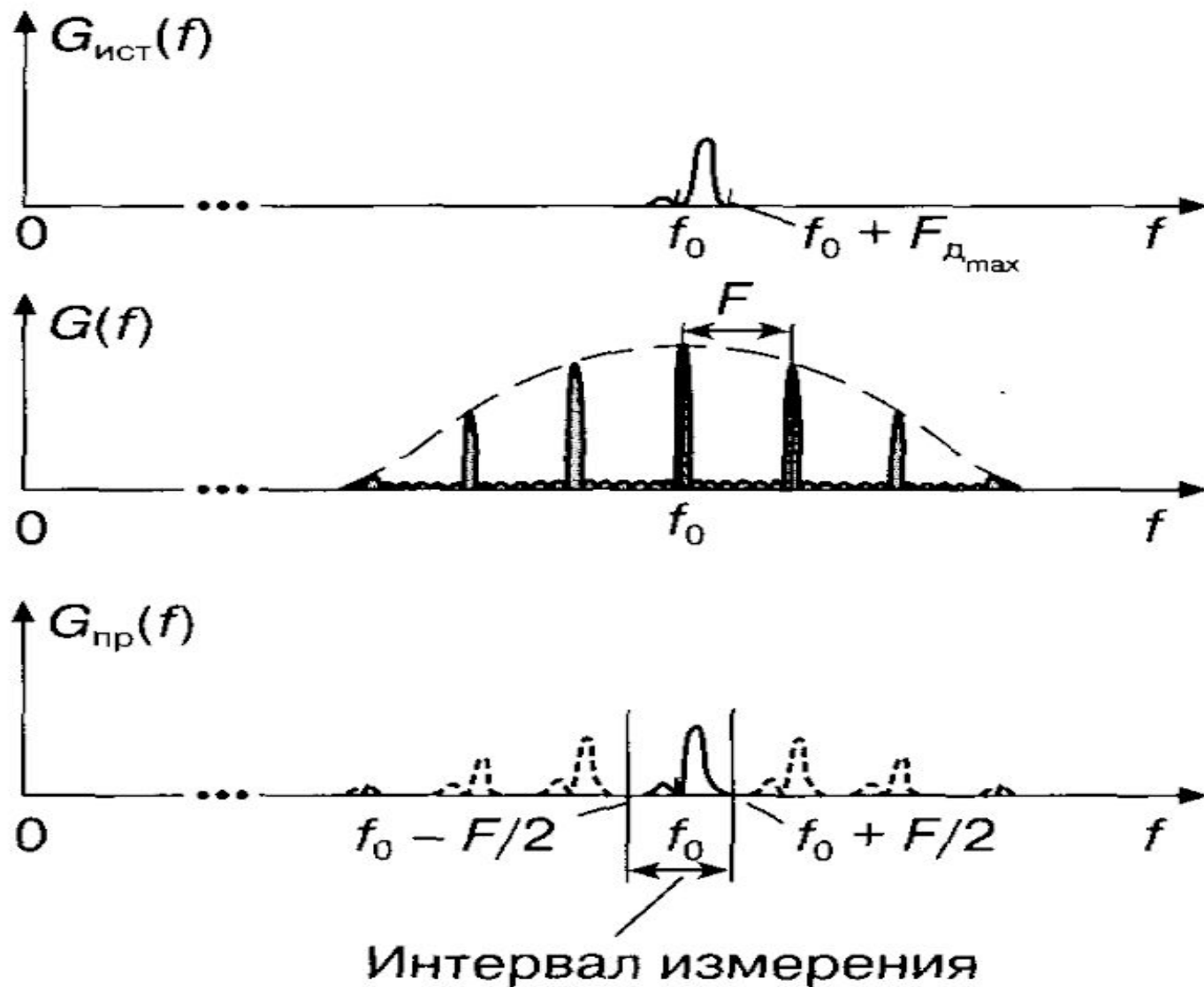
## СИГНАЛОВ

Сигналы

Спектры



# Измерение спектра в режиме РВ



# Однозначное измерение

## глубины

$$T > 2L_{\max}/C$$

$$F < C/(2L_{\max}).$$

## спектра скоростей

Критерий Найквиста

$$F_{\text{дmax}} \leq F/2,$$

**Условие одновременного однозначного измерения глубины и спектра скоростей**

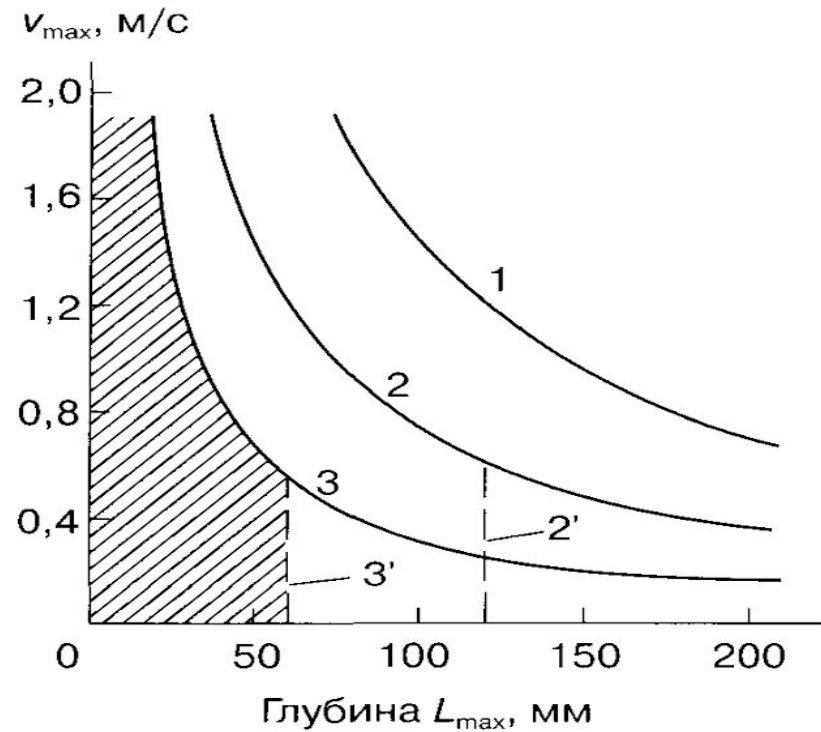
$$F_{\text{дmax}} < C/(4L_{\max}).$$

$$v \leq \frac{C^2}{8f_0 L_{\max}}$$



# Однозначное измерение глубины и спектра

$$v \leq \frac{c^2}{8f_0 L_m}$$

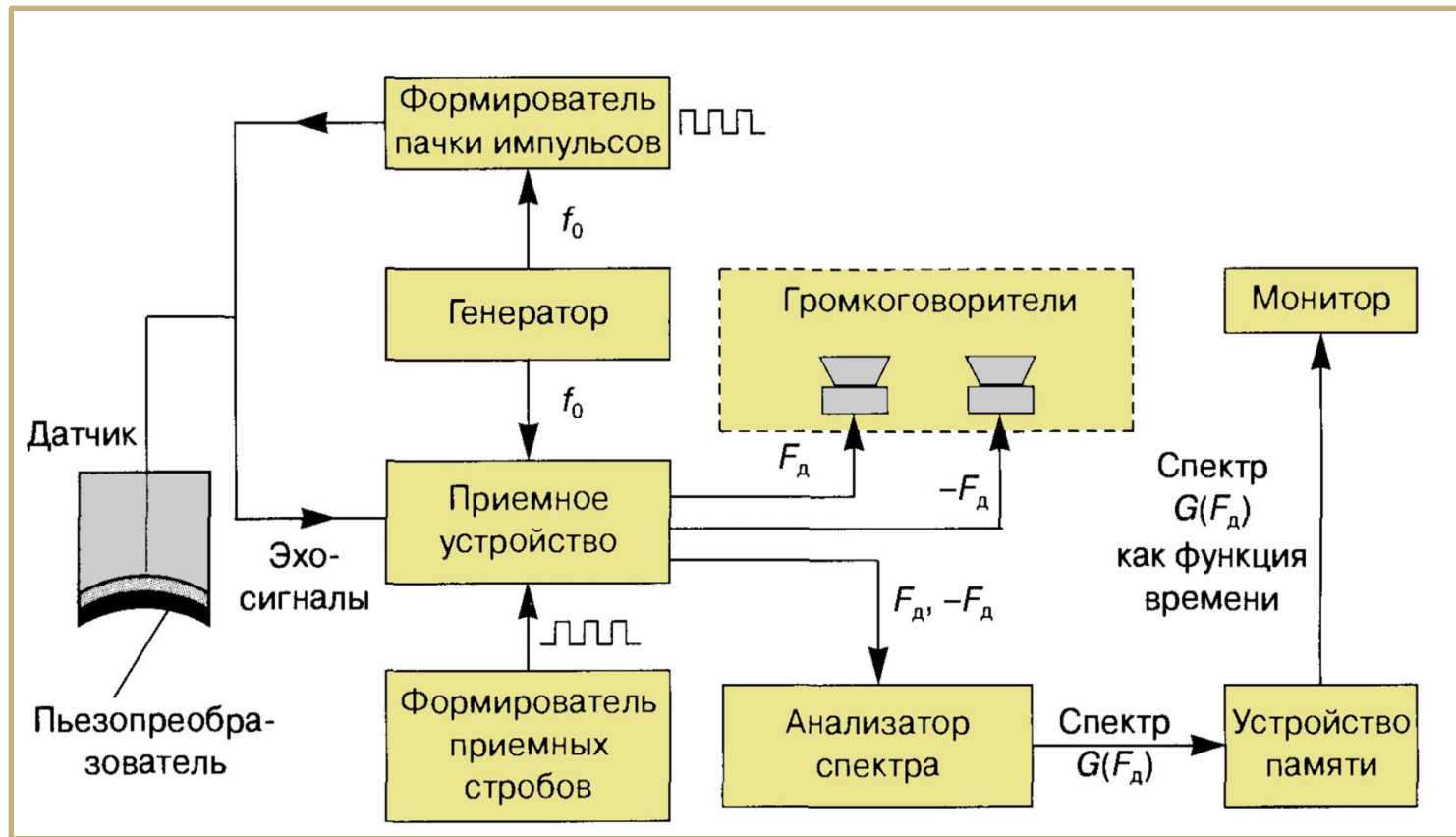


1 –  $f_0 = 2$  МГц

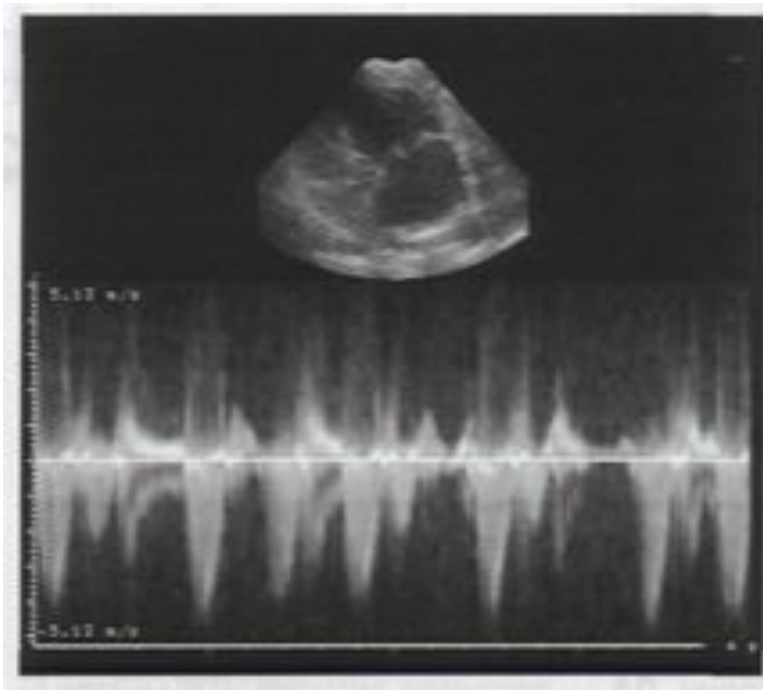
2 –  $f_0 = 4$  МГц

3 –  $f_0 = 8$  МГц

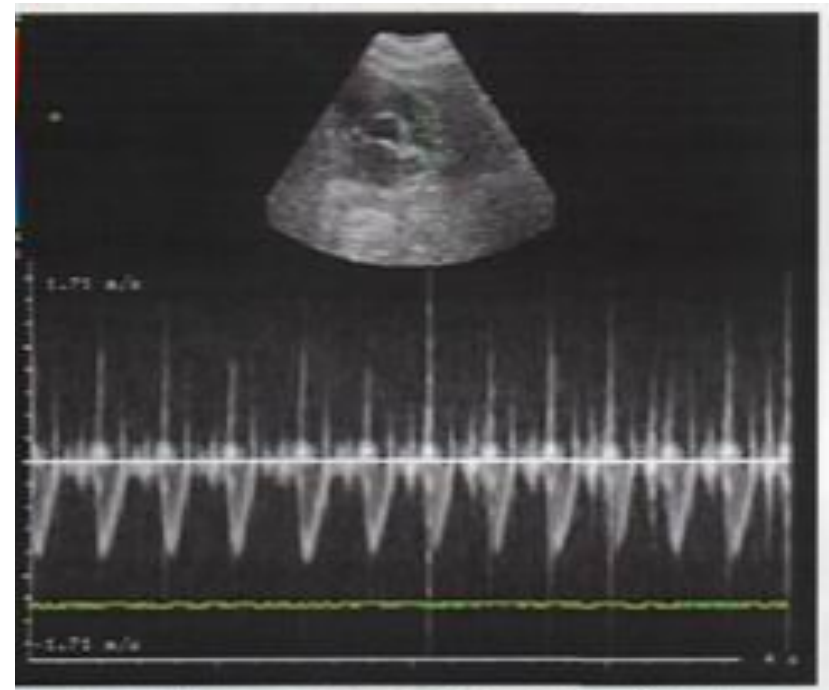
# Блок схема доплеровского PW-сканера



# Импульсно-волновой доплер



**Турбулентный кровоток,  
митральная регургитация**



**Ламинарный кровоток**

# Вычисление диагностических параметров по спектрограмме

- Систолю-диастолическое отношение

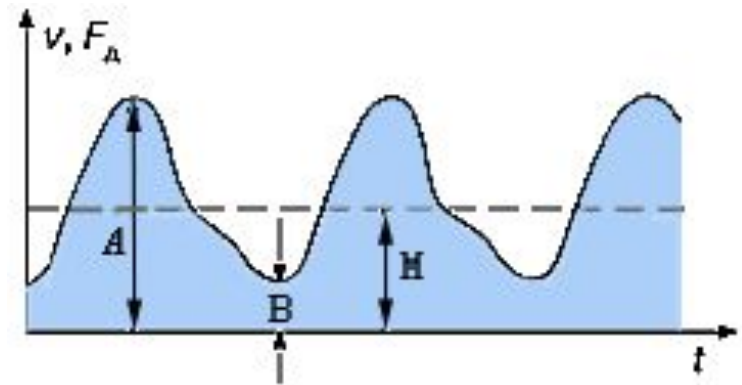
$$СД = A/B$$

- Индекс резистентности

$$ИР = (A-B) / A$$

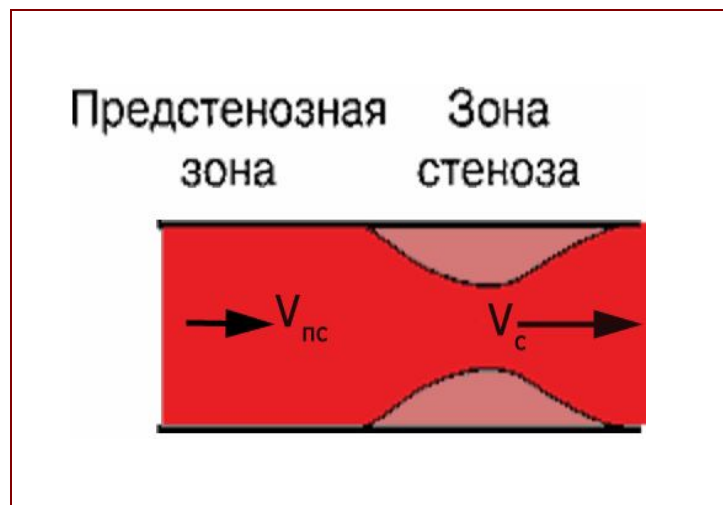
- Пульсационный индекс

$$ПИ = (A-B) / M$$



- *A — максимальная систолическая скорость*
- *B — конечная диастолическая скорость*
- *M — средняя скорость*

# Оценка степени стеноза по скорости кровотока



- Процент стеноза

$$ПС = (V_{пс} / V_c) \cdot 100\%$$

# Достоинства и недостатки PW

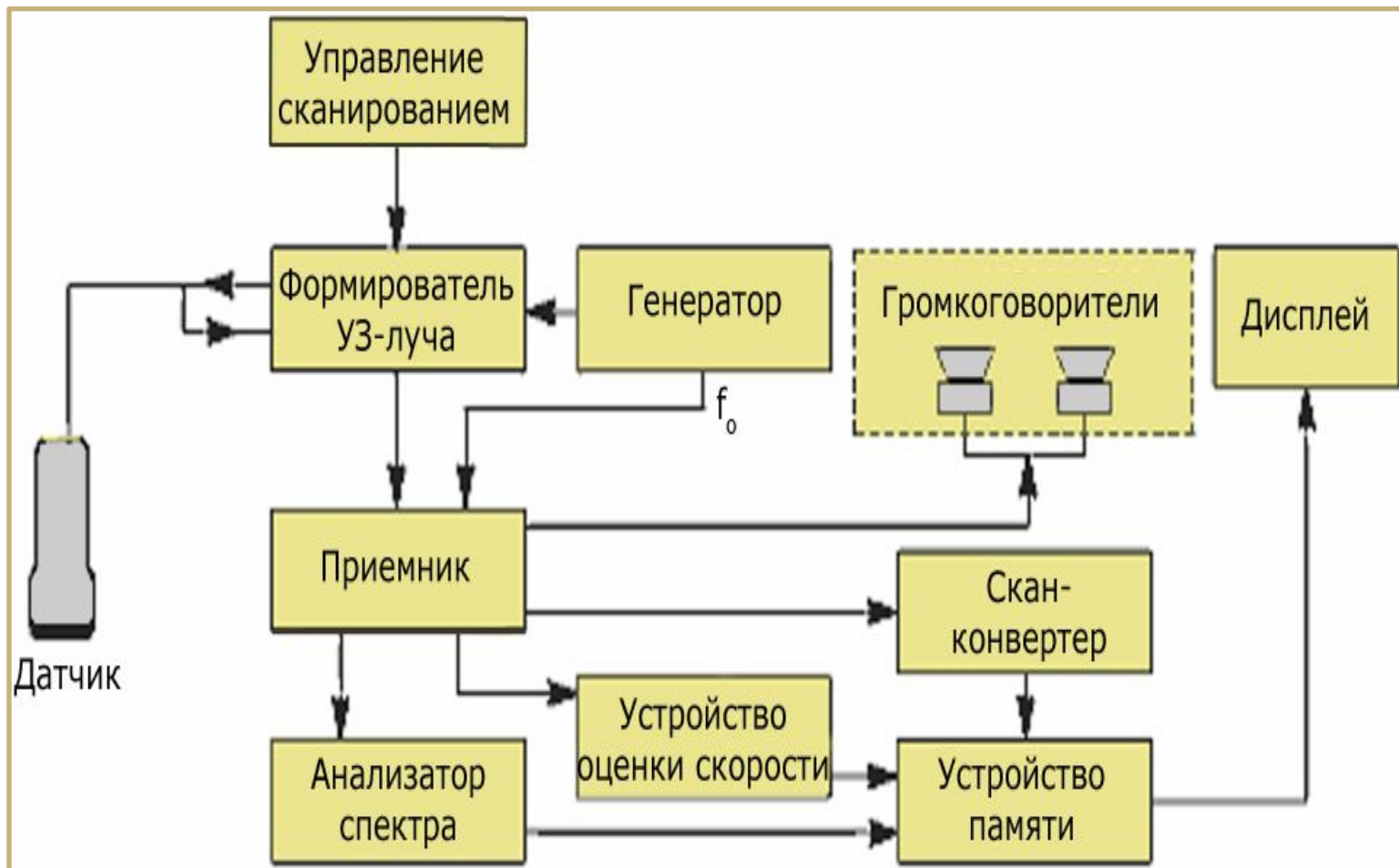
## Достоинства метода:

- ✓ наличие *разрешающей способности по глубине*
- ✓ достаточно высокие *чувствительность и точность* оценки количественных диагностически значимых характеристик кровотока
- ✓ простое *совмещение* режима PW с режимом В в ультразвуковых сканерах и реализация дуплексного режима работы В + D

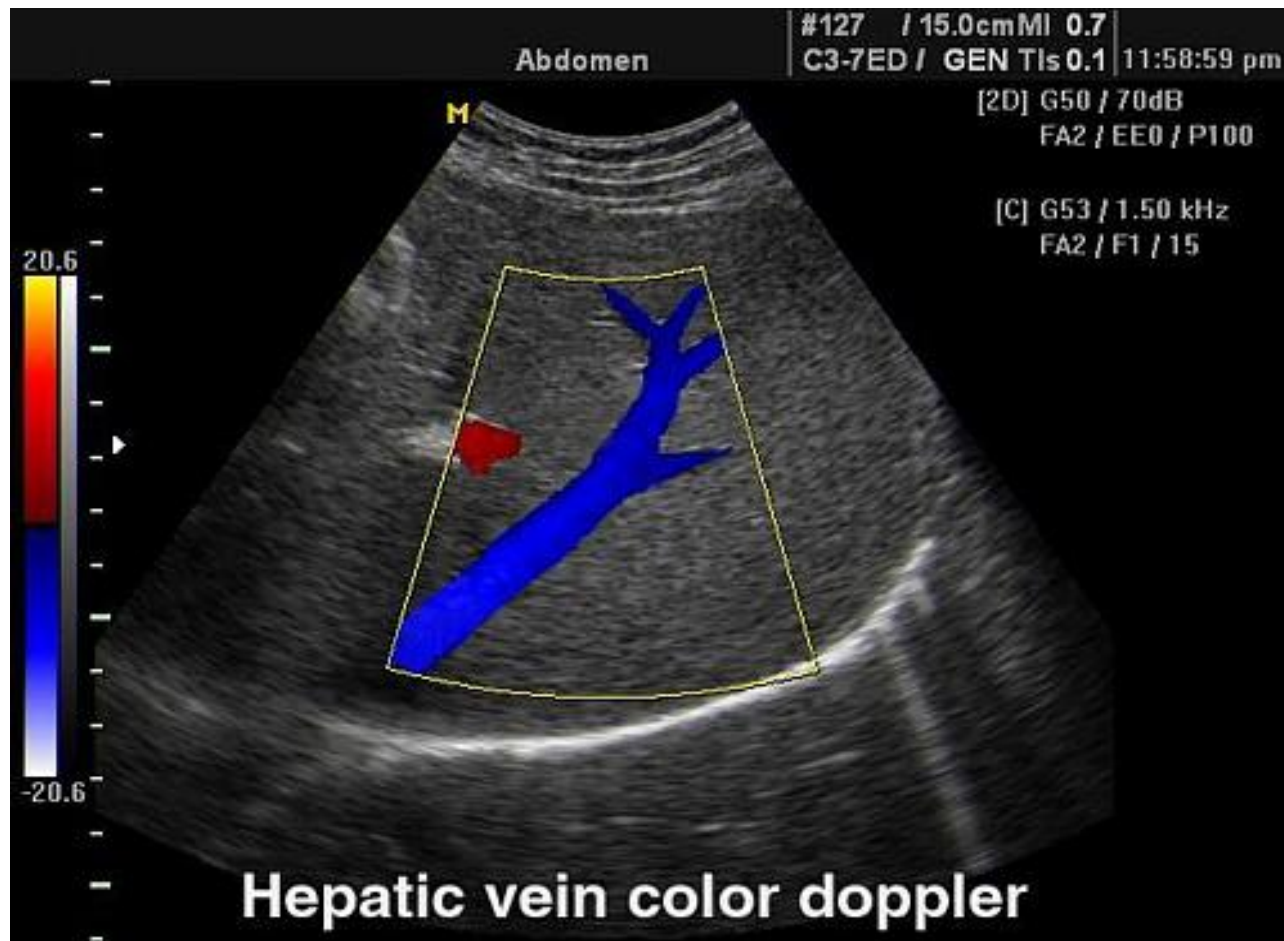
## Недостатки метода:

- ✓ возможность *неоднозначного измерения* спектра
- ✓ *неоднозначность* определения *глубины* контрольного объема при больших частотах повторения импульсов
- ✓ *зависимость* оценки спектра скоростей *от угла* между осью УЗ-луча и направлением кровотока (аналогично методу непрерывноволнового доплера)

# Блок-схема системы для цветового доплеровского картирования.

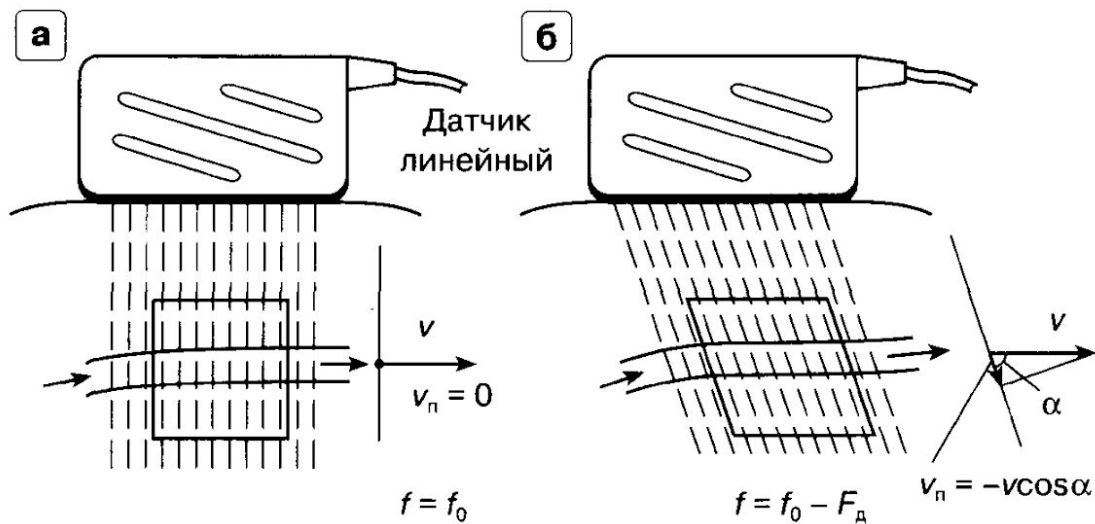
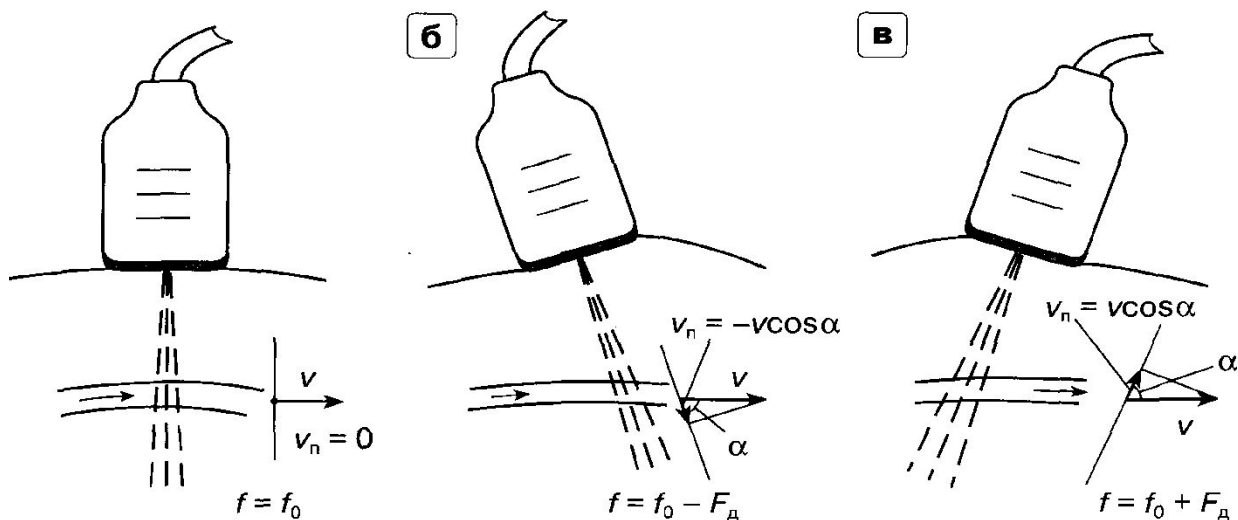


# Цветовое доплеровское картирование





# Влияние ориентации датчика



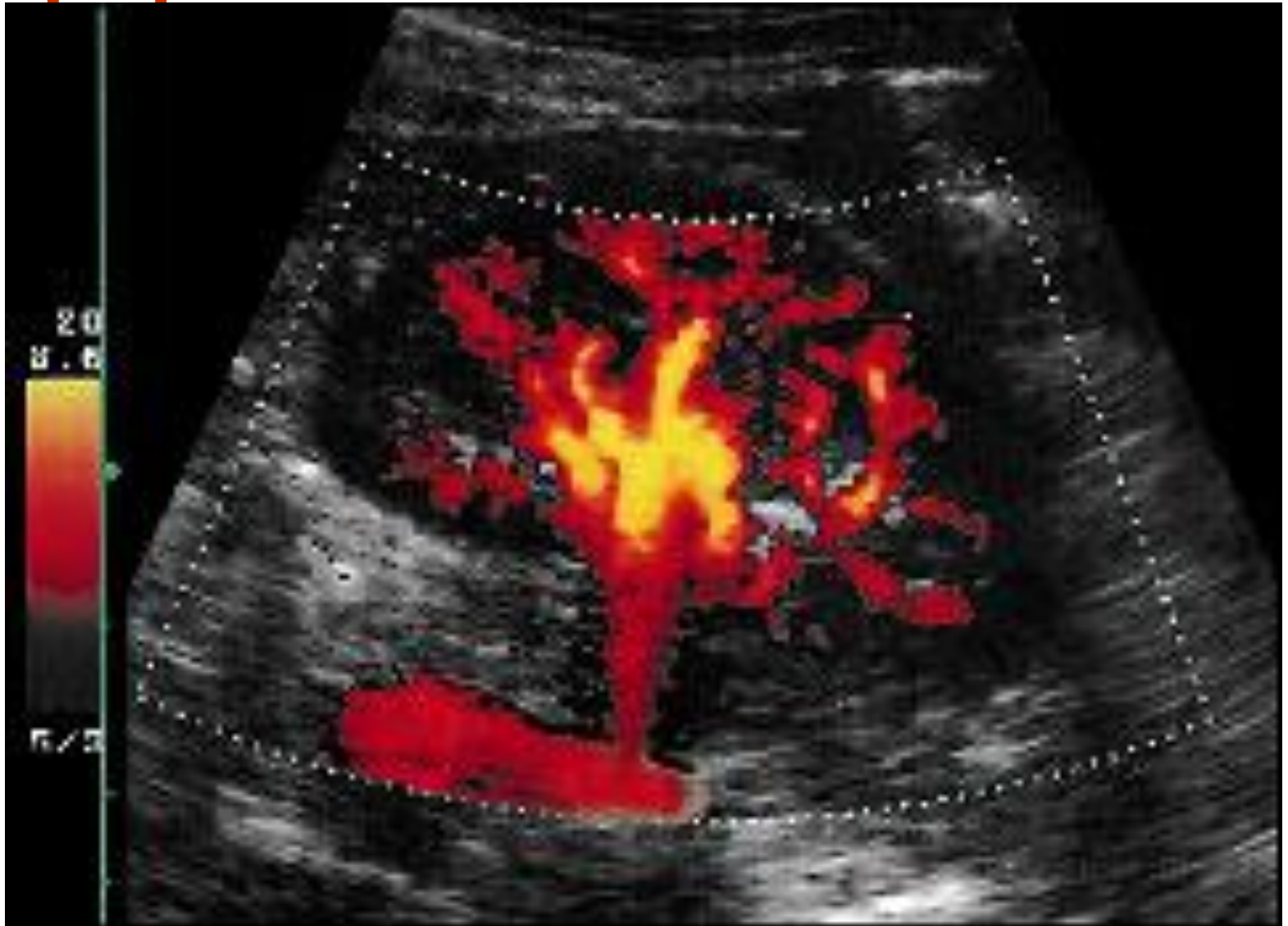
# Классификация доплеровских методов:

- оценка **изменения** во времени **скорости** кровотока.
- оценка ЧСС (частоты сердечных сокращений).
- **Спектральная доплеровская эхография (D-режим)**— оценка **спектра скоростей** кровотока.
- **цветовая доплеровская эхография.**

# Развитие доплеровских методов

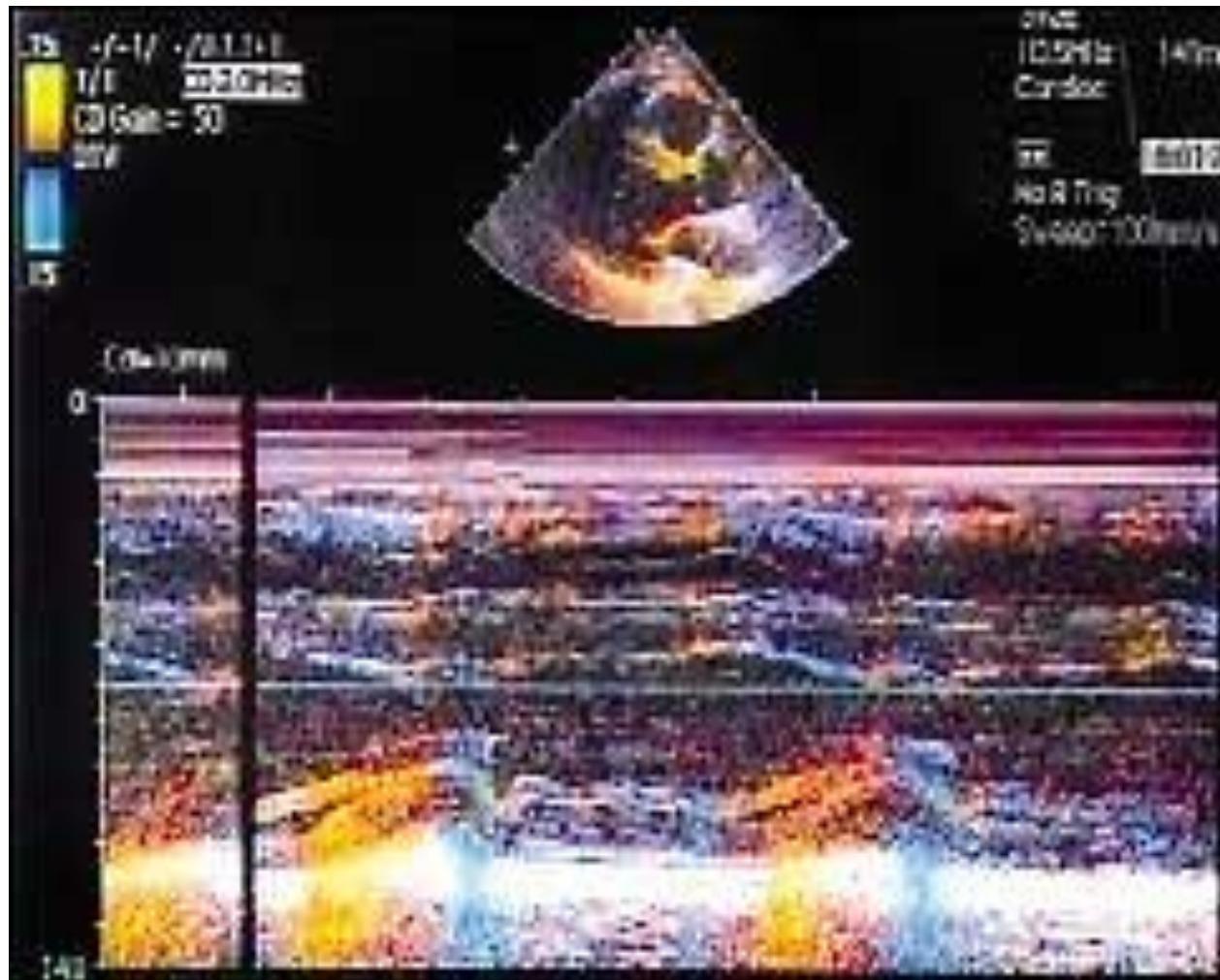
- ▣ **Энергетическая доплеровская эхография**, или энергетический доплер (PD — power Doppler);
- ▣ **Доплеровская визуализация тканей** (DTI — Doppler Tissue Imaging, или TSI — Tissue Specific Imaging);
- ▣ **Конвергентный цветовой доплер** (CCD — Convergent Color Doppler);
- ▣ **Кинетическое изображение** (KI — Kinetic Image, или СК — Color Kinesis);
- ▣ **Трёхмерное цветное доплеровское картирование** (4D);
- ▣ **Трёхмерная энергетическая доплеровская эхография**, или трёхмерная ультразвуковая ангиография.

# Энергетическая доплеровская эхография



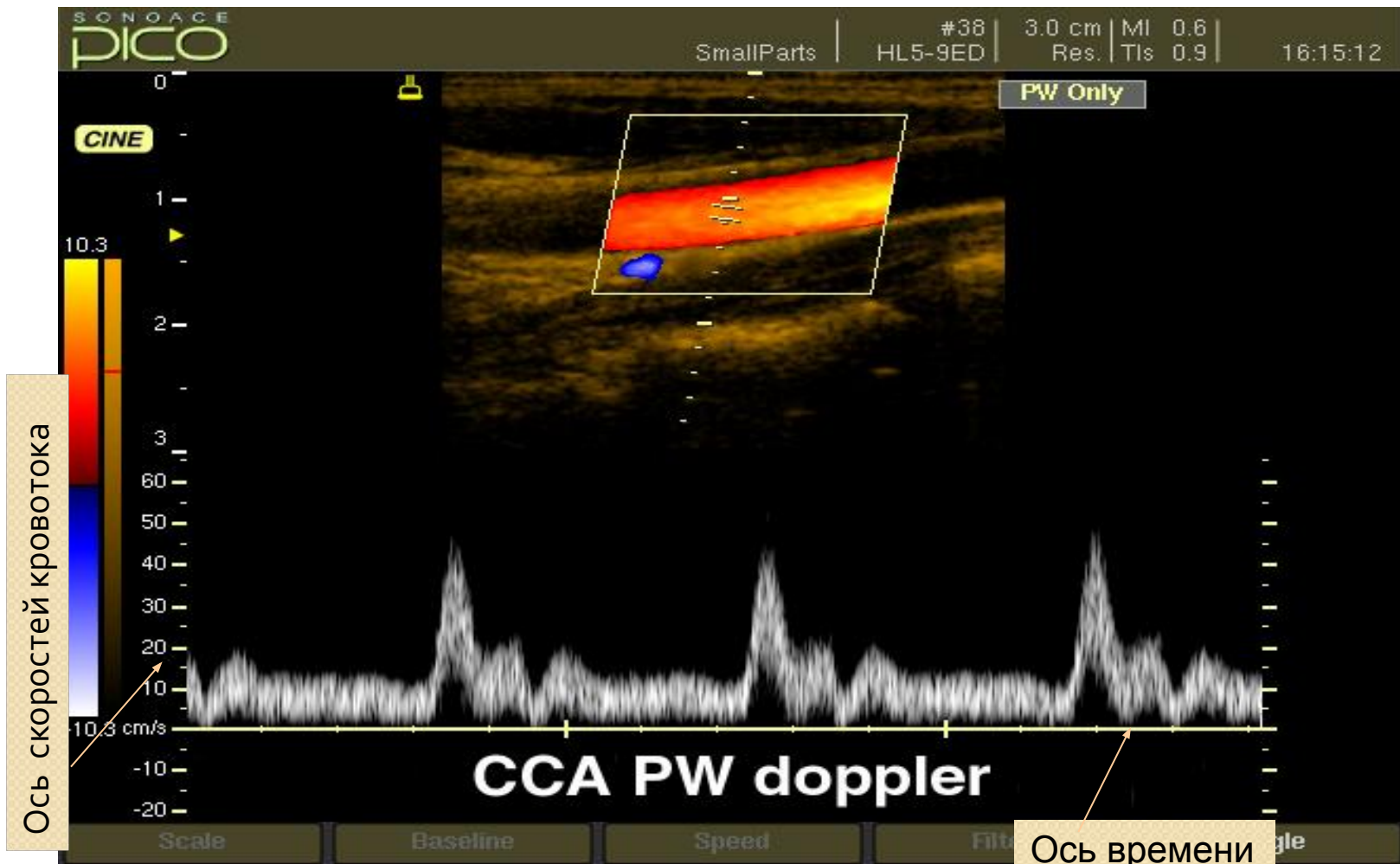
# Допплеровская визуализация тканей

DTI — Doppler Tissue Imaging, или TSI — Tissue Specific Imaging



# Импульсно-волновой доплер

Дуплексный режим



# Сономед-325/М

