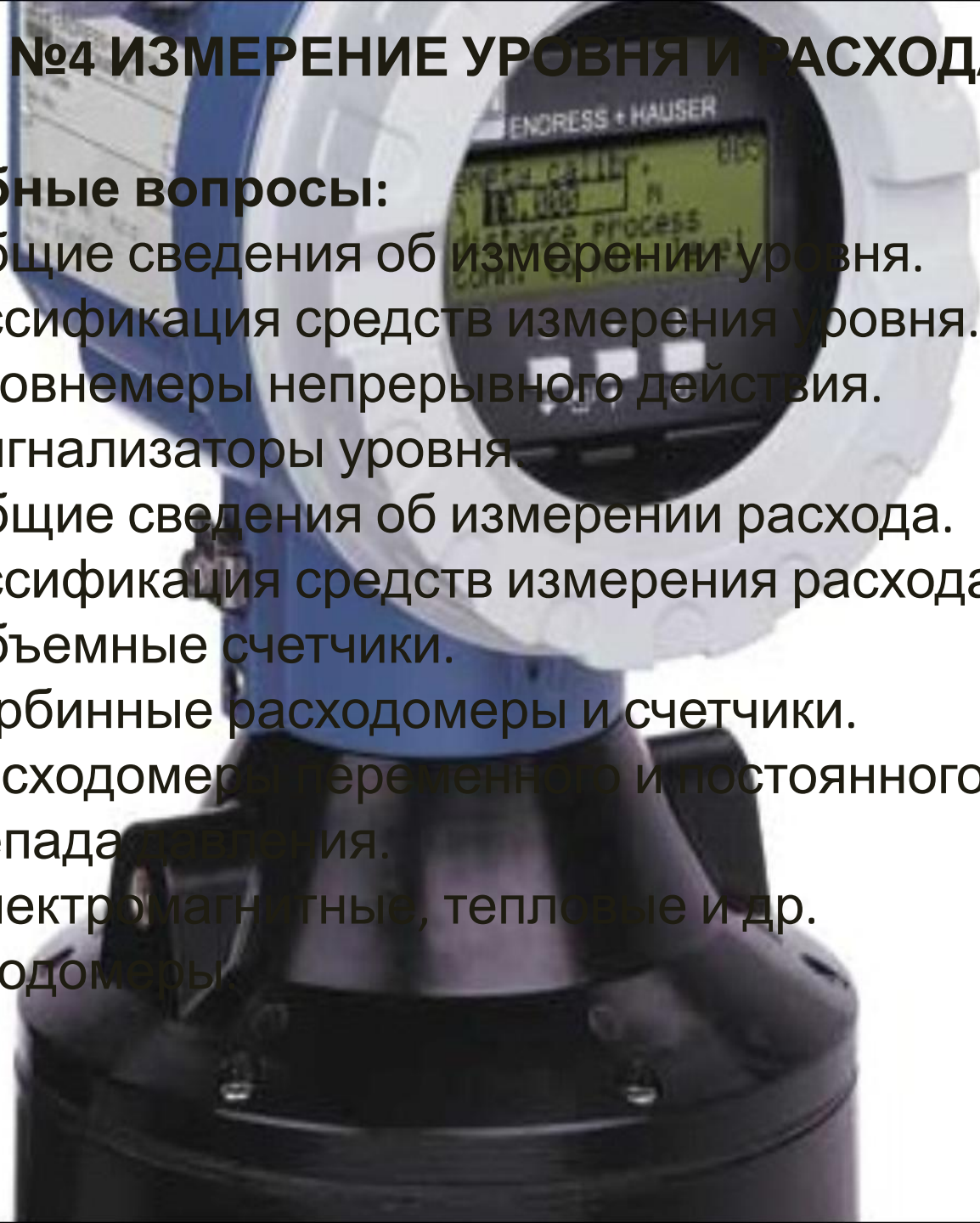


Лекция №4 ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ И РАСХОДА

Учебные вопросы:

1. Общие сведения об измерении уровня.
Классификация средств измерения уровня.
2. Уровнемеры непрерывного действия.
3. Сигнализаторы уровня.
4. Общие сведения об измерении расхода.
Классификация средств измерения расхода.
5. Объемные счетчики.
6. Турбинные расходомеры и счетчики.
7. Расходомеры переменного и постоянного перепада давления.
8. Электромагнитные, тепловые и др. расходомеры.

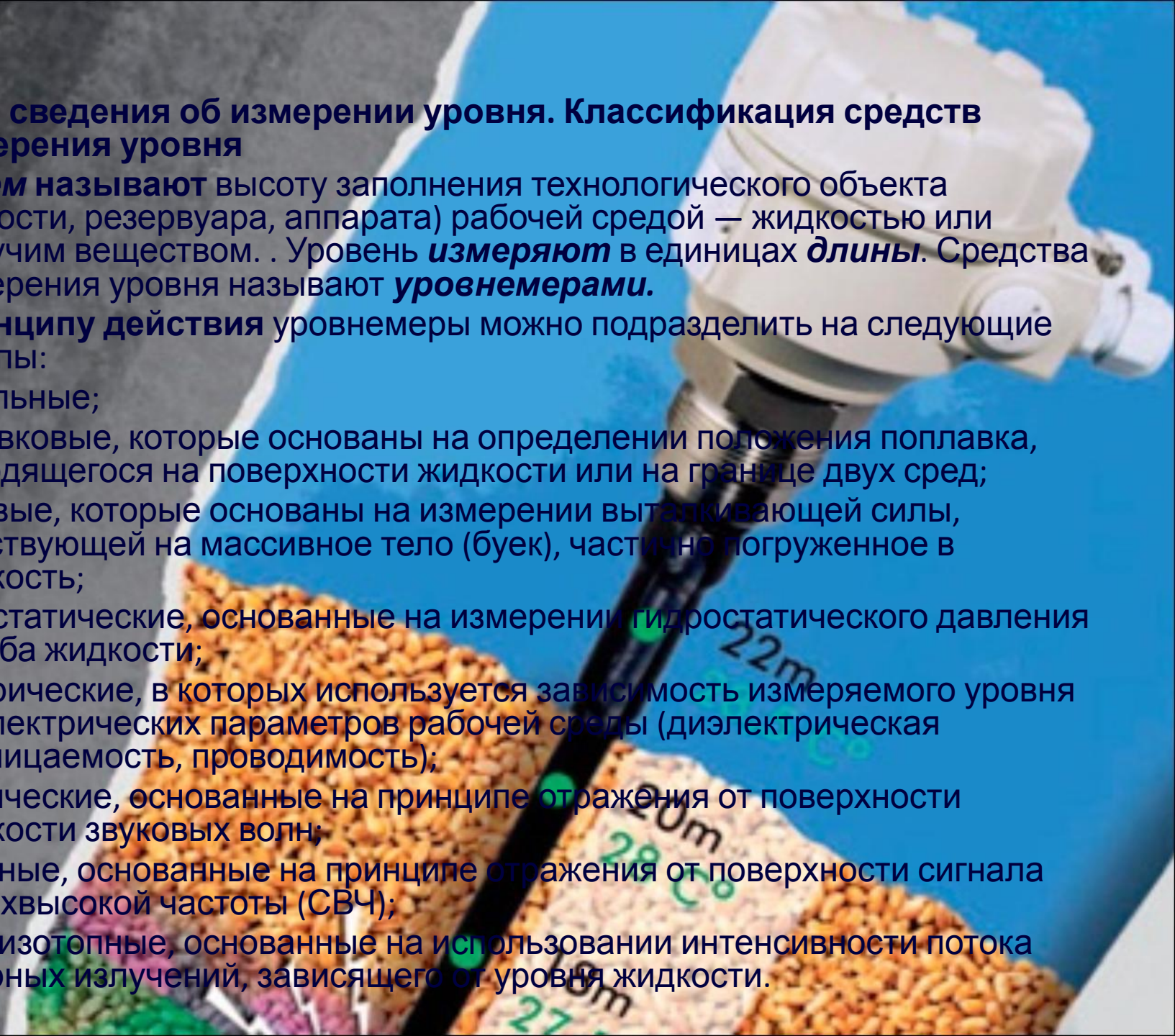


Общие сведения об измерении уровня. Классификация средств измерения уровня

Уровнем называют высоту заполнения технологического объекта (емкости, резервуара, аппарата) рабочей средой — жидкостью или сыпучим веществом. . Уровень **измеряют** в единицах **длины**. Средства измерения уровня называют **уровнемерами**.

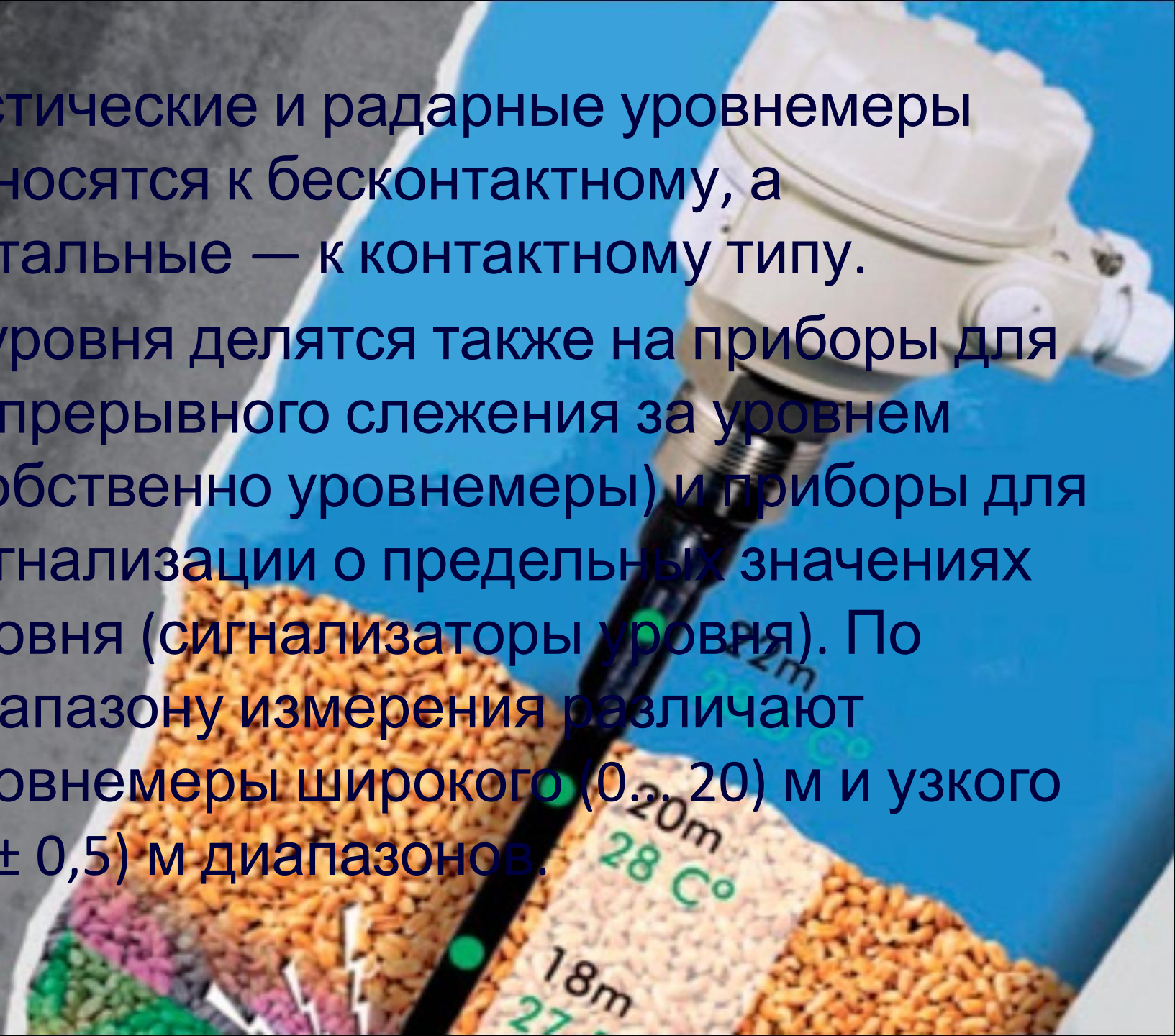
По принципу действия уровнемеры можно подразделить на следующие группы:

- визуальные;
- поплавковые, которые основаны на определении положения поплавка, находящегося на поверхности жидкости или на границе двух сред;
- буйковые, которые основаны на измерении выталкивающей силы, действующей на массивное тело (бук), частично погруженное в жидкость;
- гидростатические, основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- электрические, в которых используется зависимость измеряемого уровня от электрических параметров рабочей среды (диэлектрическая проницаемость, проводимость);
- акустические, основанные на принципе отражения от поверхности жидкости звуковых волн;
- радарные, основанные на принципе отражения от поверхности сигнала сверхвысокой частоты (СВЧ);
- радиоизотопные, основанные на использовании интенсивности потока ядерных излучений, зависящего от уровня жидкости.



Акустические и радарные уровнемеры относятся к бесконтактному, а остальные — к контактному типу.

СИ уровня делятся также на приборы для непрерывного слежения за уровнем (собственно уровнемеры) и приборы для сигнализации о предельных значениях уровня (сигнализаторы уровня). По диапазону измерения различают уровнемеры широкого ($0 \dots 20$) м и узкого ($0 \pm 0,5$) м диапазонов.



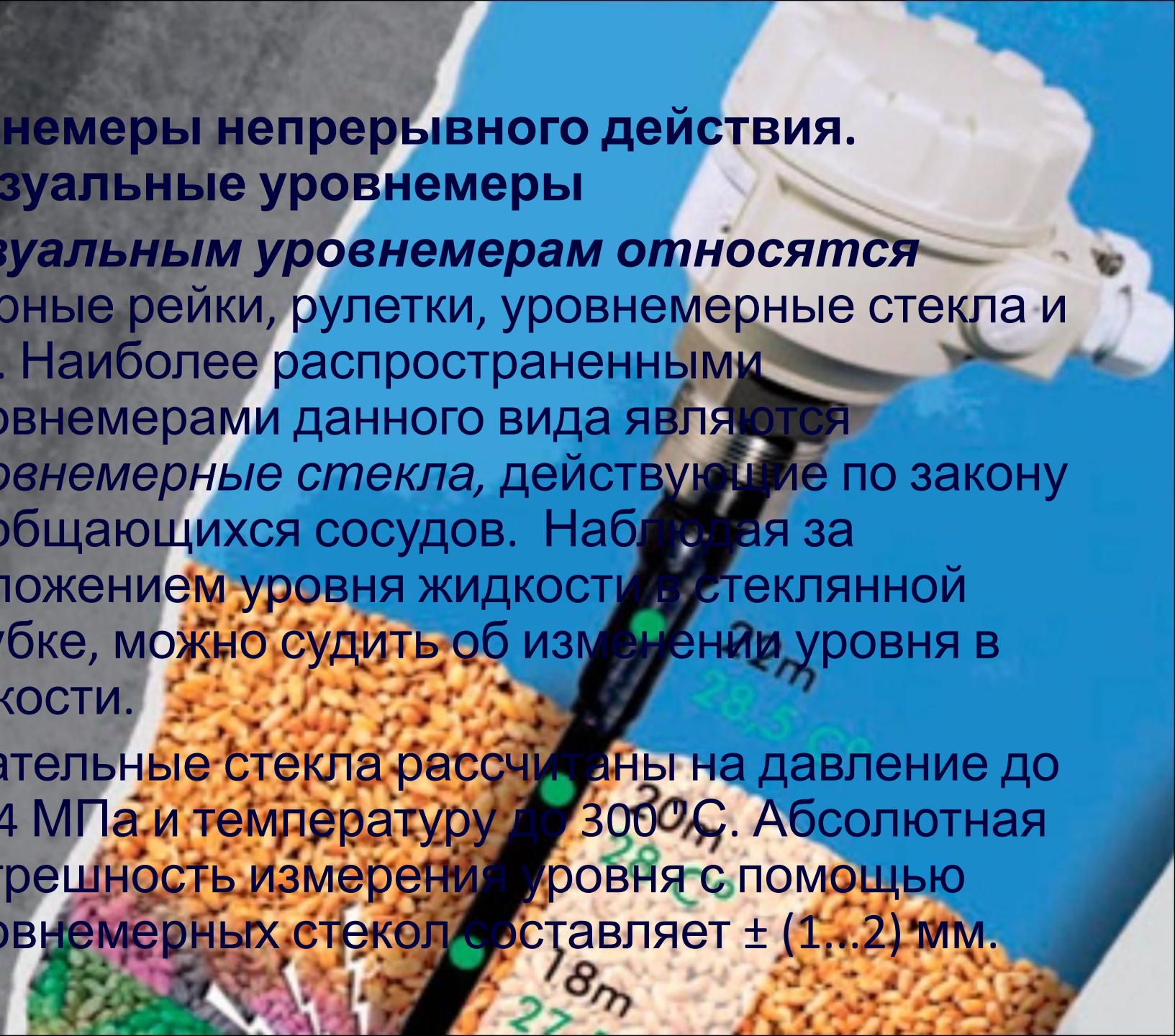
Уровнемеры непрерывного действия.

Визуальные уровнемеры

К визуальным уровнемерам относятся

мерные рейки, рулетки, уровнемерные стекла и т.д. Наиболее распространенными уровнемерами данного вида являются *уровнемерные стекла*, действующие по закону сообщающихся сосудов. Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в емкости.

Указательные стекла рассчитаны на давление до 2,94 МПа и температуру до 300°С. Абсолютная погрешность измерения уровня с помощью уровнемерных стекол составляет $\pm (1...2)$ мм.



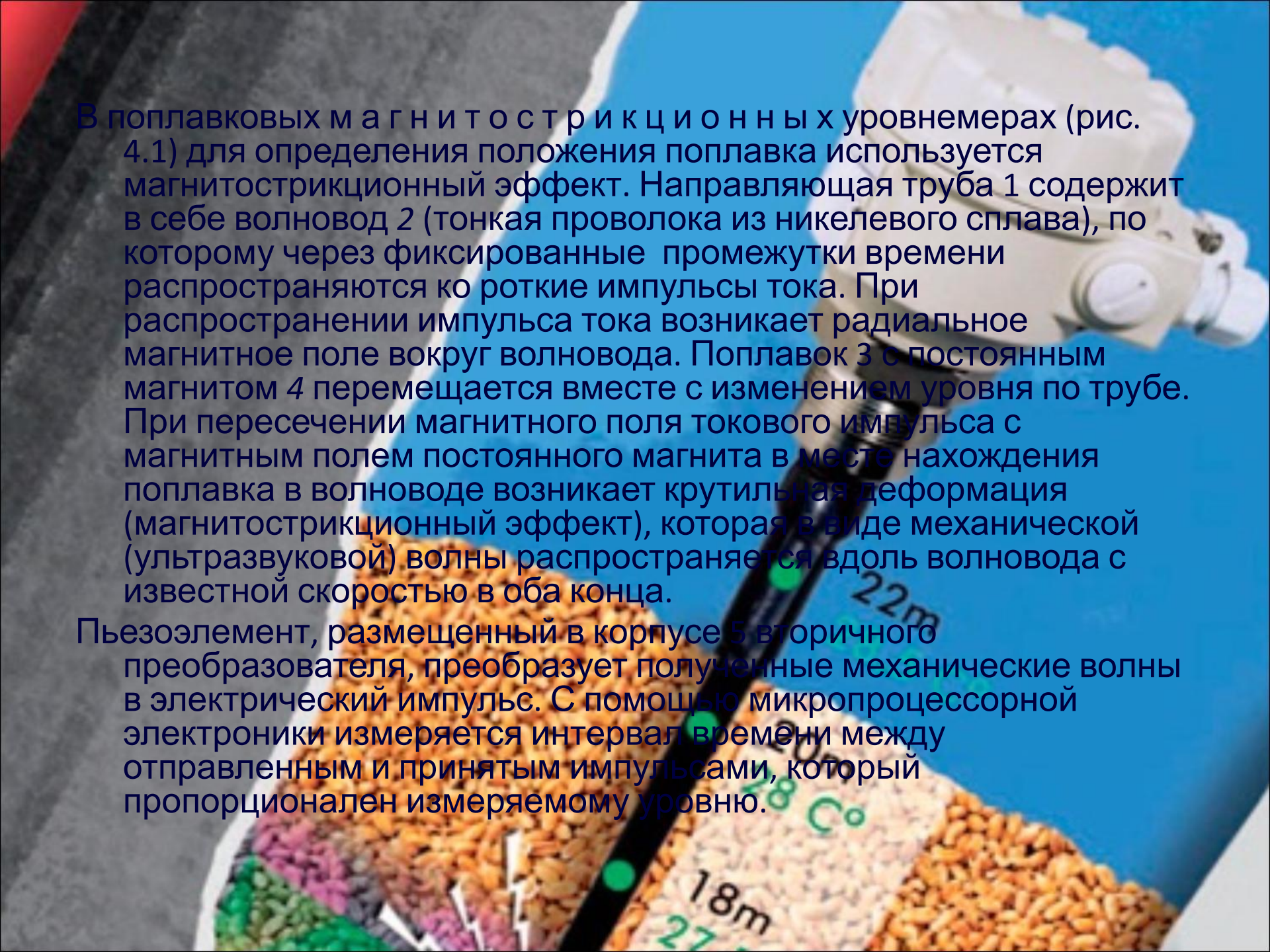
Поплавковые уровнемеры

Поплавковые механические уровнемеры являются наиболее простыми среди существующих разновидностей уровнемеров. Получили распространение поплавокные уровнемеры узкого (0 ± 200) мм и широкого (0...20) м диапазонов. Поплавковые уровнемеры узкого диапазона обычно представляют собой устройства, содержащие шарообразный или цилиндрический поплавок диаметром 80...200 мм, выполненный из нержавеющей стали или полипропилена. Класс точности этих уровнемеров составляет 1.5.

Поплавковые уровнемеры широкого диапазона представляют собой поплавок, связанный с грузом гибким тросом. В нижней части груза укреплена стрелка, указывающая на шкале значения уровня жидкости в резервуаре.

Повышение уровня жидкости изменяет глубину погружения поплавка и создает дополнительную выталкивающую силу, действующую на нее





В поплавковых магнитострикционных уровнемерах (рис. 4.1) для определения положения поплавка используется магнитострикционный эффект. Направляющая труба 1 содержит в себе волновод 2 (тонкая проволока из никелевого сплава), по которому через фиксированные промежутки времени распространяются короткие импульсы тока. При распространении импульса тока возникает радиальное магнитное поле вокруг волновода. Поплавок 3 с постоянным магнитом 4 перемещается вместе с изменением уровня по трубе. При пересечении магнитного поля токового импульса с магнитным полем постоянного магнита в месте нахождения поплавка в волноводе возникает крутильная деформация (магнитострикционный эффект), которая в виде механической (ультразвуковой) волны распространяется вдоль волновода с известной скоростью в оба конца.

Пьезоэлемент, размещенный в корпусе 5 вторичного преобразователя, преобразует полученные механические волны в электрический импульс. С помощью микропроцессорной электроники измеряется интервал времени между отправленным и принятым импульсами, который пропорционален измеряемому уровню.

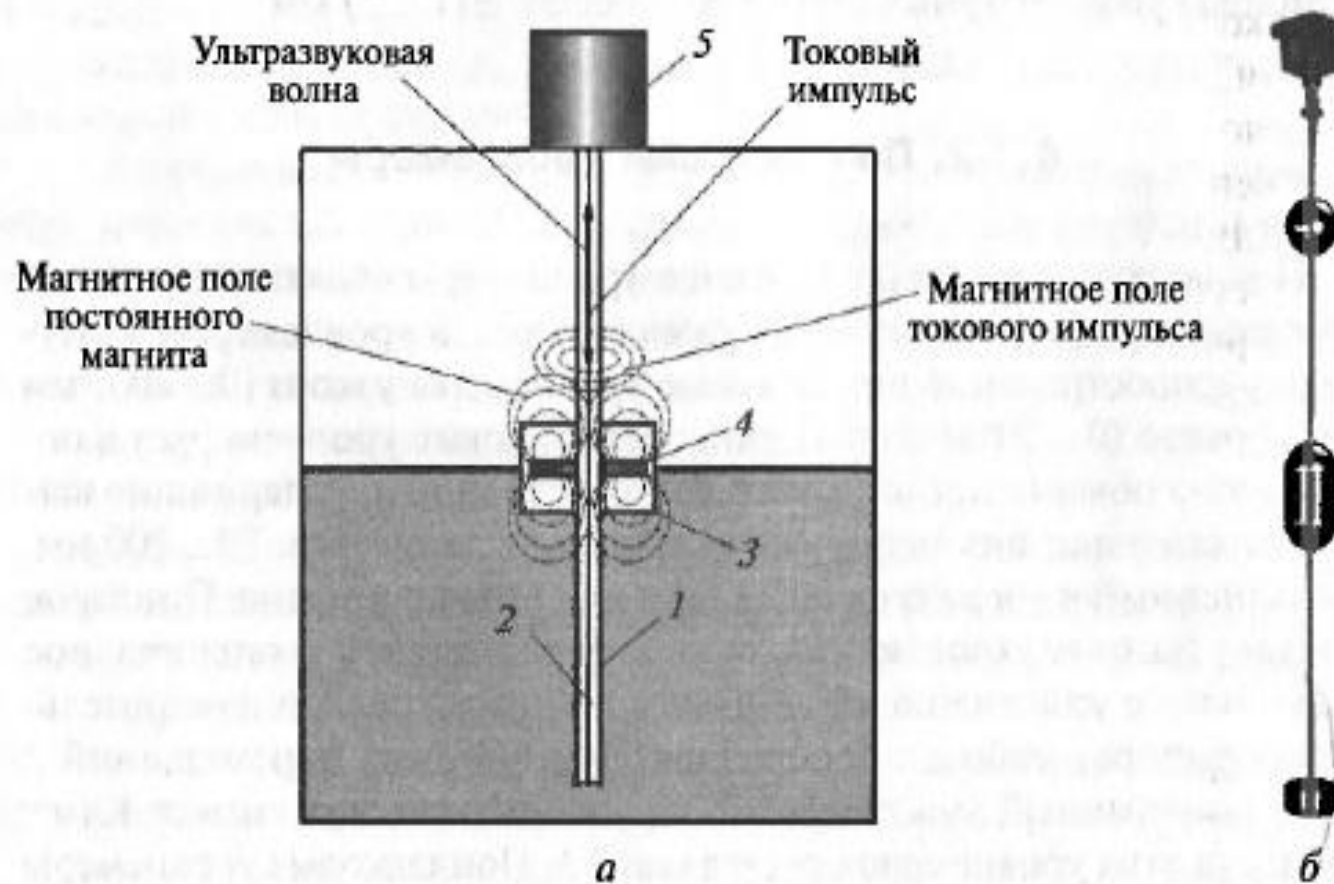


Рис. 4.1. Поплавковый магнитострикционный уровнемер:

а — схема; б — внешний вид; 1 — направляющая труба; 2 — волновод; 3 — поплавок;
4 — постоянный магнит; 5 — корпус

Буйковые уровнемеры

Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на погруженное в жидкость тело действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна массе жидкости, вытесненной телом. Количество вытесненной жидкости зависит от глубины погружения тела, т.е. от уровня жидкости в емкости.

В буйковых уровнемерах измеряемый уровень преобразуется в пропорциональную ему выталкивающую силу. Чувствительным элементом в этих уровнемерах является цилиндрический буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Зачастую буюк выполнен в виде трубы из нержавеющей стали, запаянной с обеих концов, к одному из которых приделан крючок. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость.

Длина буйка подбирается приближенной к максимальному измеряемому уровню в аппарате.

Минимальный диапазон измерений буйковых уровнемеров составляет (0...0,02) м, максимальный — (0... 16) м. Буйковые уровнемеры применяются при температуре рабочей среды от - 40 до +400 °С и давлении до 16 МПа. Основная приведенная погрешность буйковых уровнемеров лежит в пределах 0,5... 1,5 %.



Гидростатические уровнемеры

Измерение уровня гидростатическими уровнемерами сводится к измерению гидростатического давления P , создаваемого столбом жидкости h постоянной плотности ρ , согласно равенству $P = \rho gh$.

Измерение гидростатического давления может осуществляться несколькими способами. Самый простой из них — измерение уровня манометром (М), подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня. Применяемый для этих целей манометр может быть любого типа с соответствующими пределами измерений.

С помощью дифманометров возможно также измерение уровня жидкости в открытых резервуарах и уровня раздела жидкостей.

Гидростатические уровнемеры применяются для однородных жидкостей в емкостях без существенного движения рабочей среды. Они позволяют производить измерения в диапазоне до 250 кПа, что соответствует уровню 25 м (для воды), с точностью до 0,1 % при избыточном давлении до 10 МПа и температуре рабочей среды в диапазоне $-40 \dots +120$ °С.

Важным достоинством гидростатических уровнемеров является высокая точность при относительно дешевизне и простоте конструкции. Существенным недостатком является большая погрешность от изменения температуры контролируемой среды.

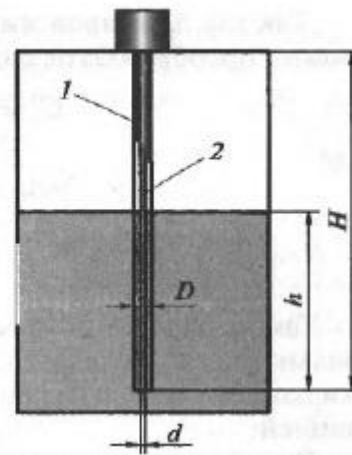


Емкостные уровнемеры

Принцип действия емкостных уровнемеров основан на зависимости электрической емкости чувствительного элемента от уровня жидкости. Конструктивно емкостные чувствительные элементы выполняются в виде коаксиально расположенных цилиндрических электродов или параллельно расположенных плоских электродов.

Рис. 4.2. Емкостный уровнемер:

1, 2 — электроды



Для **неэлектропроводных** жидкостей применяется уровнемер, схема которого показана на рис. 4.2. В этом уровнемере чувствительный элемент состоит из двух коаксиально расположенных электродов 1 и 2, частично погруженных в жидкость. Электроды образуют цилиндрический конденсатор, межэлектродное пространство которого до высоты h заполнено жидкостью, а пространство $H-h$ — парогазовой смесью.

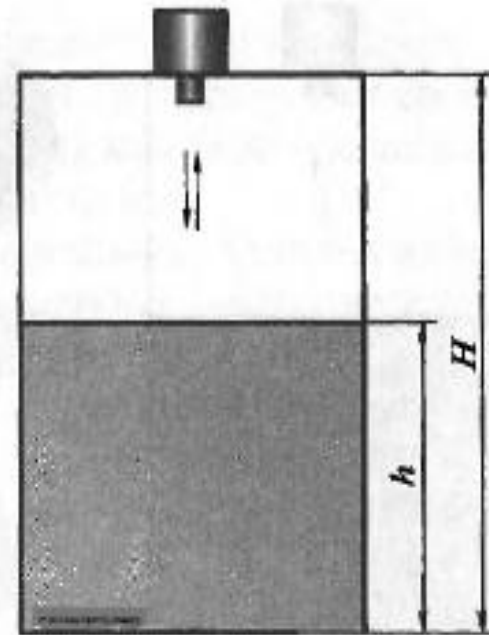
Акустические уровнемеры

В акустических уровнемерах (рис. 4.3) уровень определяют по времени прохождения звуковых волн расстояния от излучателя до границы раздела двух сред и обратно до приемника излучения. Функции источника и приемника ультразвуковых колебаний выполняет пьезоэлемент. Генератор с определенной частотой вырабатывает электрические импульсы, которые преобразуются пьезоэлементом в ультразвуковые колебания. Ультразвуковые колебания распространяются вдоль акустического тракта, отражаются от поверхности среды и воспринимаются тем же пьезоэлементом. Уровень вещества h определяют по времени

$$h = H - \frac{1}{2}ct,$$

где H — высота резервуара; c — скорость распространения ультразвука в данной среде; t — время прохождения ультразвуком расстояния от излучателя до границы раздела двух сред и обратно до приемника излучения

Рис. 4.3. Акустический уровнемер



Преимуществом акустических уровнемеров является независимость их показаний от физико-химических свойств и состава рабочей среды.

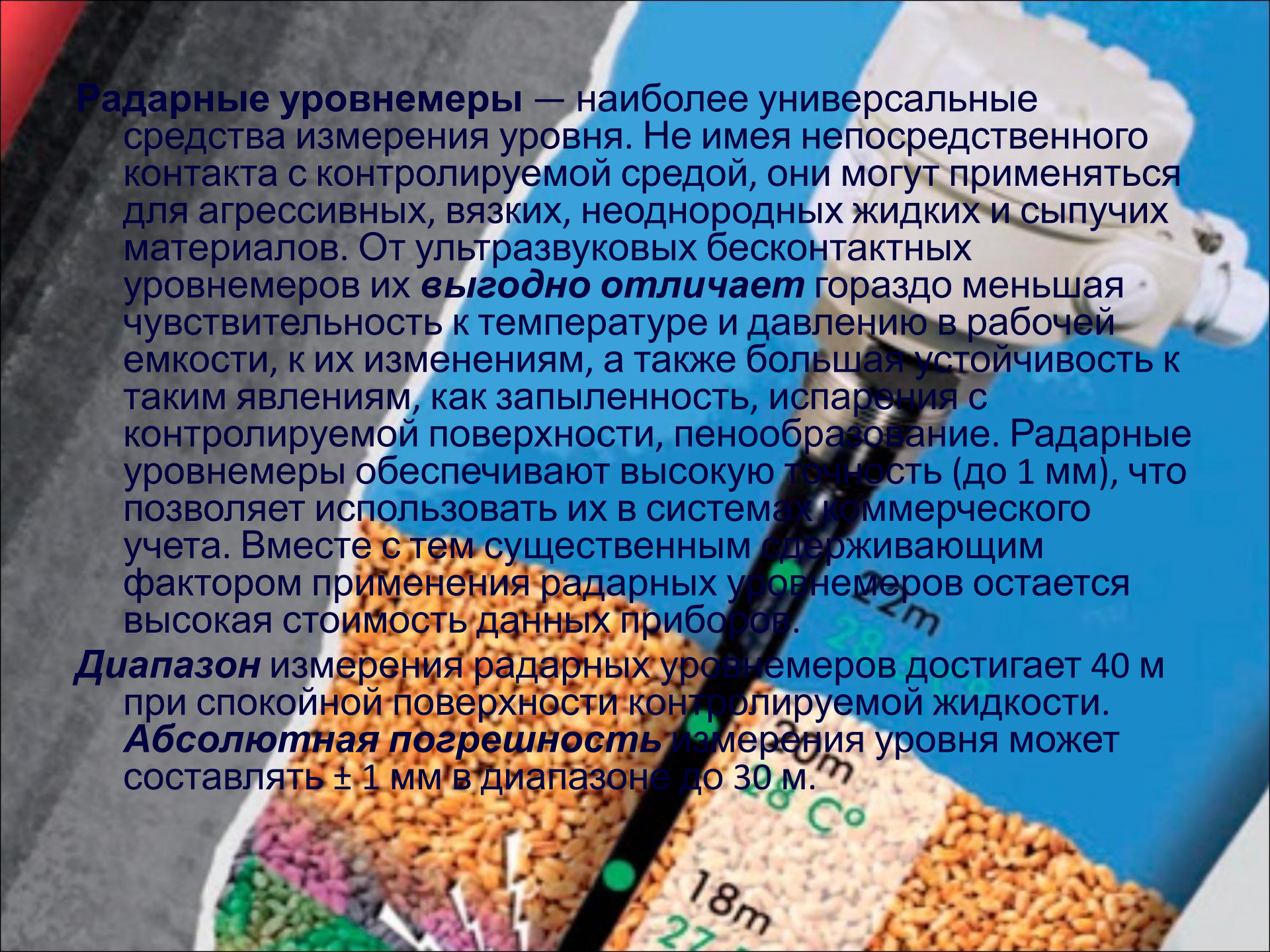
К недостаткам следует отнести влияние на показания уровнемеров температуры, давления и состава газа, от которых зависит скорость звуковых волн. Диапазон работы акустических уровнемеров — до 25 м. Основная приведенная погрешность измерений составляет 1 ... 2 %. Температурный диапазон рабочей среды $-30... + 120$ °С, давление — до 4 МПа.

Радарные уровнемеры

Радарные уровнемеры — наиболее сложные и высокотехнологичные средства измерения уровня. Для зондирования рабочей зоны и определения расстояния до объекта контроля здесь используется электромагнитное излучение СВЧ-диапазона. Обычно рабочая частота радарных уровнемеров независимо от типа варьирует от 5,8 до 26 ГГц. Чем выше частота, тем уже луч и тем выше энергия излучения, а следовательно, сильнее отражение.

В настоящее время в радарных системах контроля уровня применяются преимущественно две технологии: с непрерывным частотно-модулированным сигналом.





Радарные уровнемеры — наиболее универсальные средства измерения уровня. Не имея непосредственного контакта с контролируемой средой, они могут применяться для агрессивных, вязких, неоднородных жидких и сыпучих материалов. От ультразвуковых бесконтактных уровнемеров их **выгодно отличает** гораздо меньшая чувствительность к температуре и давлению в рабочей емкости, к их изменениям, а также большая устойчивость к таким явлениям, как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование. Радарные уровнемеры обеспечивают высокую точность (до 1 мм), что позволяет использовать их в системах коммерческого учета. Вместе с тем существенным сдерживающим фактором применения радарных уровнемеров остается высокая стоимость данных приборов.

Диапазон измерения радарных уровнемеров достигает 40 м при спокойной поверхности контролируемой жидкости.

Абсолютная погрешность измерения уровня может составлять ± 1 мм в диапазоне до 30 м.

Радарные волноводные уровнемеры

Данный тип уровнемеров относится к уровнемерам контактного типа. **Принцип действия** волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением. Микроволновые радиоимпульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду, уровень которой нужно определить (рис. 4.5). Когда радиоимпульс достигает среды с коэффициентом диэлектрической проницаемости, отличной от проницаемости газа над поверхностью среды, то из-за разности коэффициентов диэлектрических проницаемостей происходит отражение микроволнового сигнала в обратном направлении. Волноводная технология имеет ряд преимуществ, поскольку радиоимпульсы практически невосприимчивы к составу среды, атмосфере резервуара, температуре и давлению.

Поскольку радиоимпульсы направляются по зонду, а не свободно распространяются в пространстве резервуара, то волноводная технология может с успехом применяться для малых и узких резервуаров, а также для резервуаров с узкими горловинами. Радарные волноводные уровнемеры используются в сложных условиях (пар, пена, налипания, волны, кипение, резкие скачки уровня и т.д.). Точность измерений не зависит от плотности, диэлектрической проницаемости рабочей среды и давления. Диапазон измерения радарных волноводных уровнемеров — до 30 м. Абсолютная погрешность измерения $\pm (3... 5)$ мм.

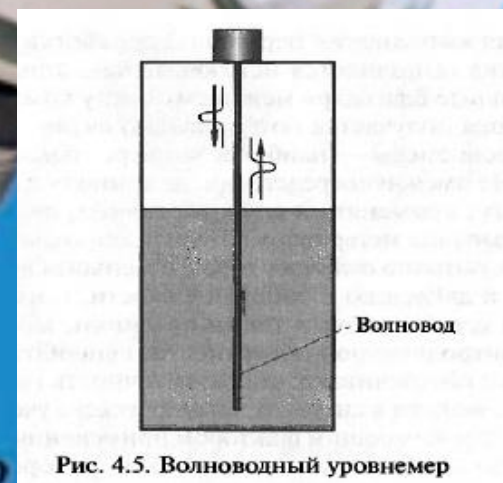


Рис. 4.5. Волноводный уровнемер

Сигнализаторы уровня

В настоящее время широкое распространение получили следующие типы сигнализаторов уровня: **кондуктометрические, емкостные, поплавковые, вибрационные и ультразвуковые.**

Кондуктометрические сигнализаторы уровня являются наиболее простыми и дешевыми. Чувствительный элемент представляет собой два изолированных друг от друга электрода. Иногда в качестве одного из электродов используется металлическая стенка резервуара. Электроды включены в электрическую цепь с источником питания и выходным реле. Принцип работы заключается в электрическом замыкании рабочей жидкостью (по достижении нужного уровня) электродов чувствительного элемента. При замыкании электродов в электрической цепи начинает протекать ток, который приводит к срабатыванию реле. Для того чтобы исключить такие эффекты, как электролиз жидкости или взрыв, применяется постоянный или переменный ток достаточно малой мощности. Кондуктометрические сигнализаторы применимы для электропроводных жидкостей (проводимость более 0,2 См/м), таких как технологическая вода, слабые растворы кислот и щелочей в цистернах, баках, паровых котлах. Эти сигнализаторы используются при температуре до 350 °С и давлении до 6,3 МПа (как правило, для стандартных исполнений 200 °С и 2,5 МПа).

Примерами кондуктометрических сигнализаторов являются: РОС- 301, ЭРСУ, САУ-М6, СУ-300И.

Основные достоинства: простота и прочность; отсутствие движущихся механических частей; простая регулировка и обслуживание. К недостаткам следует отнести непригодность для клейких веществ и диэлектриков; кроме того, масляные вещества могут вызывать налипание на электроды тонкого слоя непроводящего покрытия, что может быть причиной отказа.



Емкостные сигнализаторы широко распространены и используются для определения наличия рабочей среды, как жидкой, так и сыпучей, как электропроводной, так и неэлектропроводной. Чувствительный элемент представляет собой два изолированных друг от друга электрода, образующих электрический конденсатор. Часто в качестве одного из электродов используется металлическая стенка резервуара. Емкостные сигнализаторы отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений для конкретных применений, могут быть стержневого, трубчатого типов, гибкие, тросовые и т.п. Для датчиков, работающих в проводящей среде, необходимо использовать конструкцию с изолированным электродом.

Принцип действия сигнализаторов основывается на изменении электрической емкости конденсатора при контакте с рабочей средой из-за различия диэлектрической проницаемости. При контакте электрода с рабочей средой электрическая емкость конденсатора, как правило, увеличивается, поскольку диэлектрическая проницаемость любой среды больше диэлектрической проницаемости воздуха. Конденсатор включается в частотозадающую цепь генератора электрических колебаний. Увеличение емкости конденсатора приводит к уменьшению частоты колебаний генератора и формированию сигнала, преобразуемого в дальнейшем к срабатыванию выходного реле. Распространенными моделями емкостных сигнализаторов являются РОС-101 и РОС-102.



Поплавковые сигнализаторы отличаются простотой и универсальностью, в простейшем варианте состоят из поплавка, соединенного с механизмом переключения контактов с помощью механической или магнитной связи. При магнитной связи поплавков снабжается магнитом, который скользит по направляющему стержню. В стержне находятся микропереключатели (герконы), которые при прохождении через них поплавок с магнитом меняют свое состояние. Распространенные сигнализаторы этого типа: РОС-400, РОС-401, ДРУ-1ПМ.

К **достоинствам** поплавковых сигнализаторов можно отнести простоту, прочность, невысокую стоимость, устойчивость к неблагоприятным внешним воздействиям. **Недостатками** являются непригодность для клейких жидкостей, зависимость точки срабатывания от изменений (колебаний) плотности рабочей среды.

Вибрационные сигнализаторы уровня (рис. 4.6) широко распространены за рубежом и в меньшей степени в России. Чувствительным элементом служит резонатор камертонного типа (из-за формы его часто называют колебательной вилкой).

Принцип действия основан на зависимости амплитуды колебаний резонатора от окружающей среды.



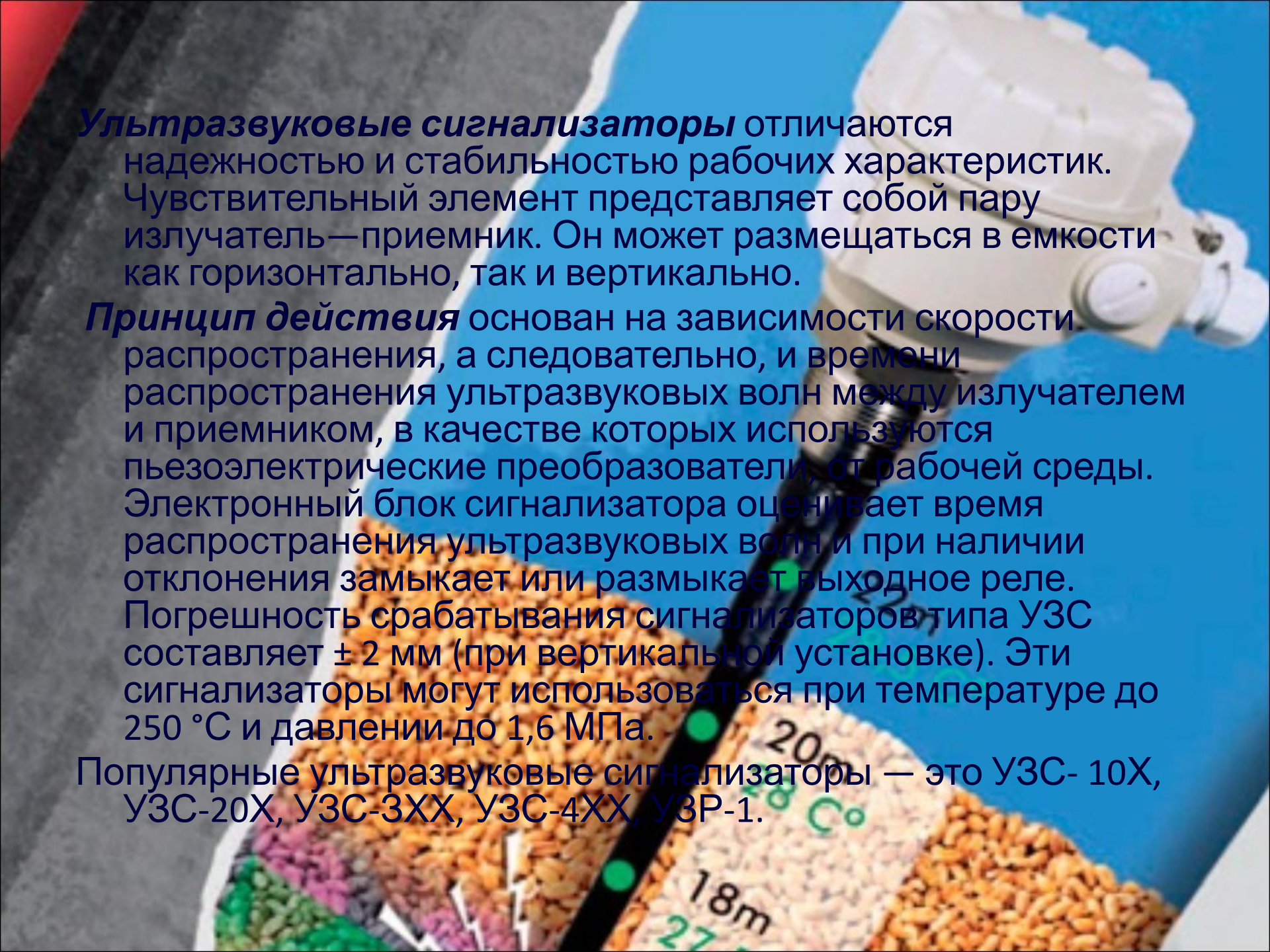
Рис. 4.6. Вибрационный сигнализатор уровня

Диапазон применимости сигнализаторов по температуре $-50...+250^{\circ}\text{C}$, по давлению — до 6,4 МПа, плотность рабочей среды в пределах $0,5...2,5\text{ г/см}^3$. Датчики обеспечивают точность срабатывания $\pm 1\text{ мм}$.

Распространенными марками вибросигнализаторов являются серии *Optiswitch* фирмы *Krohne*, *Liquiphant* фирмы *Endress + Hauser*, *Vibravivo* фирмы *UWT*.

Основные достоинства вибрационных сигнализаторов: простота; не требуется регулировка в месте установки; отсутствуют движущиеся части; нечувствительны к турбулентности, образованию пены и внешней вибрации; допускают любую пространственную ориентацию; нечувствительны к большинству физических свойств измеряемого вещества (исключение — плотность).

Недостатком является возможность отказов при наличии в жидкостях клейких веществ и твердых частиц, которые могут заклинивать колебательную вилку.



Ультразвуковые сигнализаторы отличаются надежностью и стабильностью рабочих характеристик. Чувствительный элемент представляет собой пару излучатель—приемник. Он может размещаться в емкости как горизонтально, так и вертикально.

Принцип действия основан на зависимости скорости распространения, а следовательно, и времени распространения ультразвуковых волн между излучателем и приемником, в качестве которых используются пьезоэлектрические преобразователи, от рабочей среды. Электронный блок сигнализатора оценивает время распространения ультразвуковых волн и при наличии отклонения замыкает или размыкает выходное реле. Погрешность срабатывания сигнализаторов типа УЗС составляет ± 2 мм (при вертикальной установке). Эти сигнализаторы могут использоваться при температуре до 250°C и давлении до 1,6 МПа.

Популярные ультразвуковые сигнализаторы — это УЗС-10Х, УЗС-20Х, УЗС-3ХХ, УЗС-4ХХ, УЗР-1.

Расходом вещества называется количество вещества , протекающее через данное сечение канала в единицу времени. Соответственно, различают объемный расход, измеряемый в м³/с (м³/ч, л/мин и т.д.), и массовый расход, измеряемый в кг/с (кг/ч, т/ч и т.д.).

СИ расхода называются **расходомерами**.

Расход может быть **средним** и **мгновенным**. **Средний расход** — это отношение количества вещества к некоторому промежутку времени Δt :

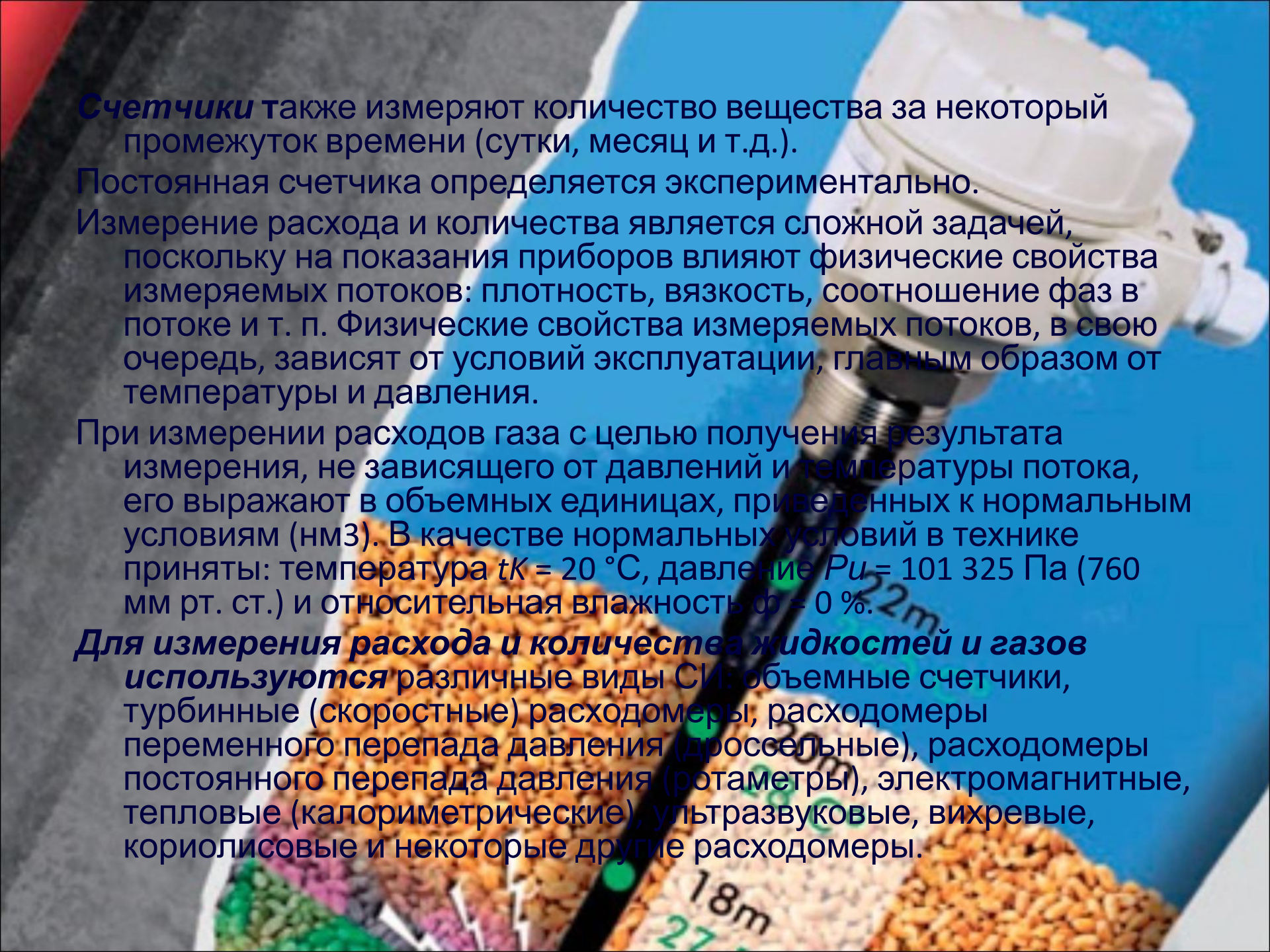
$$Q_{\text{ср}} = \frac{V}{\Delta t}, \quad G_{\text{ср}} = \frac{m}{\Delta t}. \quad (6.1)$$

Мгновенный расход — это производная от количества вещества по времени:

$$Q = \frac{dV}{dt}, \quad G = \frac{dm}{dt}. \quad (6.2)$$

Расходомеры измеряют мгновенный расход. Для измерения количества вещества за определенный период времени применяются расходомеры с интеграторами или счетчики.

Интегратор непрерывно суммирует показания расходомера, а количество вещества определяется по разности показаний интегратора за требуемый промежуток времени:



Счетчики также измеряют количество вещества за некоторый промежуток времени (сутки, месяц и т.д.).

Постоянная счетчика определяется экспериментально.

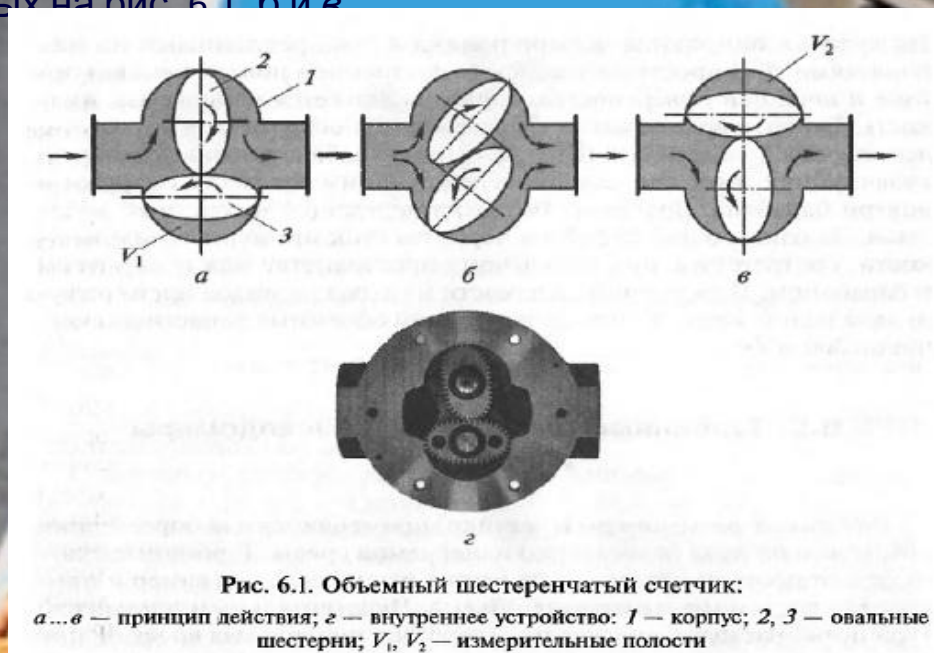
Измерение расхода и количества является сложной задачей, поскольку на показания приборов влияют физические свойства измеряемых потоков: плотность, вязкость, соотношение фаз в потоке и т. п. Физические свойства измеряемых потоков, в свою очередь, зависят от условий эксплуатации, главным образом от температуры и давления.

При измерении расходов газа с целью получения результата измерения, не зависящего от давлений и температуры потока, его выражают в объемных единицах, приведенных к нормальным условиям (нм³). В качестве нормальных условий в технике приняты: температура $t_K = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление $P_u = 101\,325\text{ Па}$ (760 мм рт. ст.) и относительная влажность $\varphi = 0\text{ \%}$.

Для измерения расхода и количества жидкостей и газов используются различные виды СИ: объемные счетчики, турбинные (скоростные) расходомеры, расходомеры переменного перепада давления (дроссельные), расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры), электромагнитные, тепловые (калориметрические), ультразвуковые, вихревые, кориолисовые и некоторые другие расходомеры.

Объемные счетчики

Принцип действия объемных счетчиков основан на непосредственном отмеривании объемов измеряемой среды с помощью мерных камер известного объема и подсчета числа порций, прошедших через счетчик. Наиболее распространенным объемным счетчиком различных жидкостей, в том числе нефти и нефтепродуктов, является объемный шестеренчатый счетчик (рис. 6.1). Внутри корпуса 1 размещены две находящиеся в зацеплении овальные шестерни 2 и 3. Набегающий на шестерни измеряемый поток заставляет их вращаться. Вращение шестерен происходит в направлении стрелок. В положении, представленном на рис. 6.1, а, происходит заполнение объема между корпусом и левой частью шестерни 2, а объем правее этой шестерни вытесняется. В том же положении между шестерней 3 и корпусом отсекается измеряемый объем жидкости V_1 , которая будет затем вытесняться в положениях, представленных на рис. 6.1, б и в.



Эти счетчики **имеют** высокую точность измерения, малую потерю давления, независимость показания от вязкости. **Недостатком** является необходимость хорошей фильтрации измеряемой среды от механических примесей, а также высокий уровень акустического шума

Диапазон измерений объемных шестеренчатых счетчиков составляет от 0,01 до 250 м³/ч.

Для **измерения количества нефтепродуктов**, минеральных масел и ряда агрессивных жидкостей используются объемные лопастные счетчики (рис. 6.2). Счетчик представляет собой цилиндрический корпус 1 с подвижным барабаном 2, внутри которого расположен неподвижный кулачок 3.

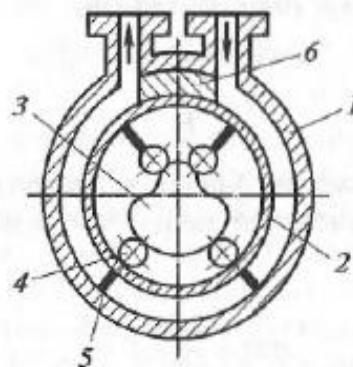


Рис. 6.2. Объемный лопастной счетчик:

1 — цилиндрический корпус; 2 — подвижный барабан; 3 — неподвижный кулачок;
4 — ролик; 5 — лопасть; 6 — вкладыш

На кулачок опираются четыре ролика 4, закрепленные на лопастях 5. В пространстве между внутренней поверхностью корпуса и внешней поверхностью барабана движется измеряемая жидкость. Барабан вращается за счет давления поступающей жидкости, действующей на лопасти. При вращении барабана ролики катятся по кулачку, при этом лопасти поочередно занимают место снаружи и внутри барабана. Вращение барабана передается на счетный механизм. За один оборот барабана через счетчик проходит объем жидкости, соответствующий кольцевому пространству между корпусом и барабаном. Перетеканию жидкости из входа на выход препятствует вкладыш 6. Верхний предел измерений объемных лопастных счетчиков 300 м³/ч.

Турбинные (скоростные) расходомеры и счетчики

Турбинные расходомеры (счетчики) применяются для определения объемного расхода (количества) измеряемой среды. Турбинные счетчики в отличие от объемных не имеют измерительных камер и производят косвенное измерение объема. Чувствительным элементом турбинных расходомеров является турбина, приводимая во вращение потоком жидкости, протекающим через расходомер. Существуют турбины двух видов: аксиальная и тангенциальная.

Аксиальная турбина представляет собой многозаходный винт, ось вращения которого параллельна измеряемому потоку. **Тангенциальная** турбина представляет собой турбину с лопастями, ось вращения которой перпендикулярна измеряемому потоку. Вращение обеих турбин в счетчиках через передаточный механизм передается счетному устройству. Турбинные счетчики с аксиальной турбиной (рис. 6.3, а, б) используются для измерения объема неагрессивных жидкостей и газов в трубопроводах диаметром 50... 300 мм.

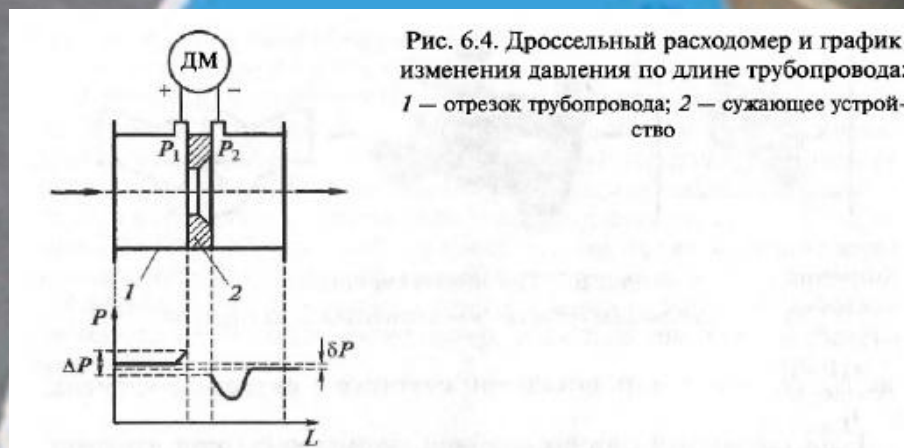


Диапазон измерений по расходу составляет 3... 1 300 м³/ч. Турбинные счетчики с тангенциальной турбиной (рис. 6.3, в) используются для измерения объема неагрессивных жидкостей (воды) в трубопроводах диаметром 15... 40 мм. Диапазон измерений по расходу составляет 3... 20 м³/ч.

Недостатком турбинных счетчиков (расходомеров) является зависимость показаний от вязкости измеряемой среды.

Расходомеры переменного перепада давления (дроссельные)

Одним из самых распространенных принципов измерения расхода жидкостей, газов и паров является принцип *переменного перепада давления на сужающем устройстве*. В трубопроводе устанавливается сужающее устройство. При протекании измеряемого потока через отверстие этого устройства скорость потока увеличивается по сравнению со скоростью до сужения. Благодаря этому давление потока на выходе из сужающего устройства уменьшается, и на нем создается перепад давления, который зависит от скорости в сужении, т. е. от расхода потока. На рис. 6.4 показаны схема дроссельного расходомера и график изменения давления по длине трубопровода.



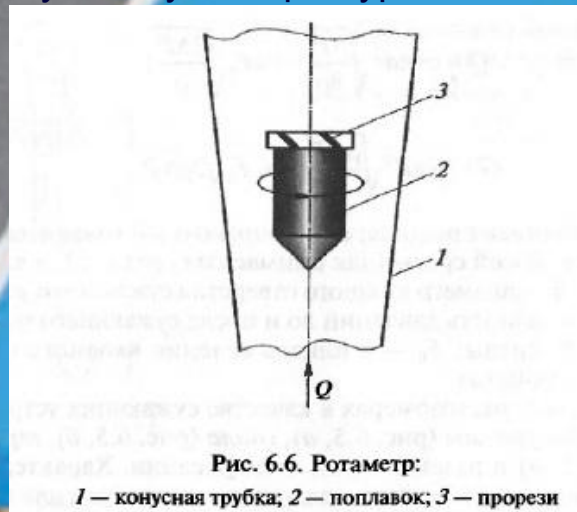
Измеряемая среда протекает через отрезок трубопровода 1, в котором установлено сужающее устройство 2. На рис. 6.4 видно, что давление среды P непосредственно перед сужающим устройством несколько возрастает P_1 , затем после него падает P_2 , далее достигает минимума и снова возрастает. Перепад давления на сужающем устройстве ($\Delta P = P_1 - P_2$) измеряется дифманометром (ДМ).

- В дроссельных расходомерах в качестве сужающих устройств используются *диафрагмы* (рис. 6.5, а), *сопла* (рис. 6.5, б), *трубы Вентури* (рис. 6.5, в) и различные их модификации. Характерной особенностью сопл и труб Вентури является меньшая, чем для диафрагм, безвозвратная потеря давления.



Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры)

Ротаметр (рис. 6.6) представляет собой вертикальную конусную трубку 1, в которой находится поплавок 2. Измеряемый поток, проходя через ротаметр снизу вверх, создает перепад давлений до и после поплавка. Этот перепад давлений, в свою очередь, создает подъемную силу, которая уравнивается весом поплавка.

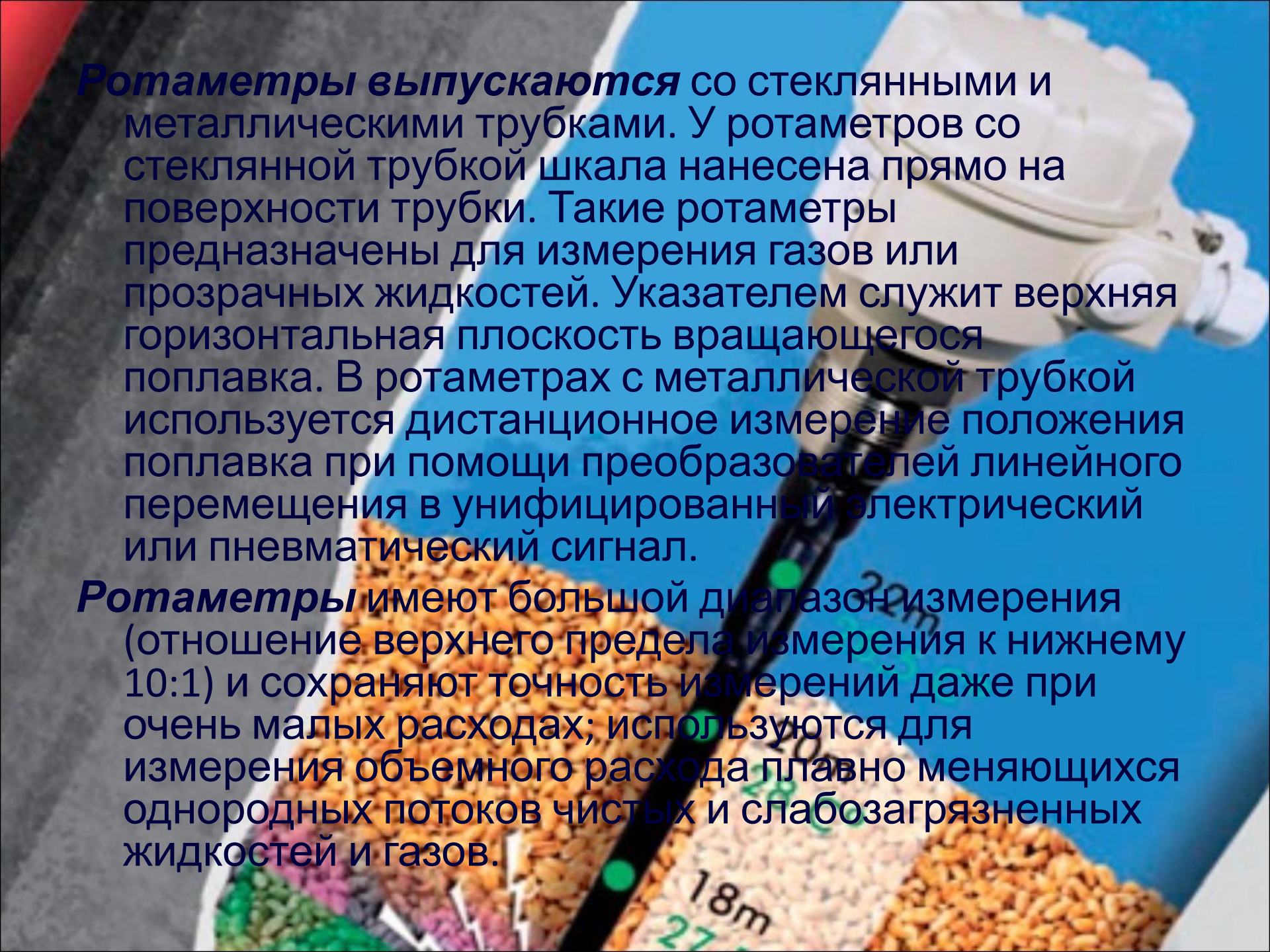


Если расход через ротаметр изменится, то изменится и перепад давлений. Это приведет к изменению подъемной силы и, соответственно, к нарушению равновесия поплавка.

Поплавок начнет перемещаться; так как трубка ротаметра конусная, то при этом будет изменяться площадь проходного сечения в зазоре между поплавком и трубкой.

В результате произойдет изменение перепада давлений, а следовательно, и подъемной силы. Когда перепад давлений и подъемная сила снова вернутся к прежним значениям, поплавок уравнивается и остановится.

Таким образом, каждому значению расхода через ротаметр соответствует определенное положение поплавка. Во избежание трения и удара поплавок о стенку трубки в его верхнем ободе выполнены наклоненные к вертикали прорези 3. Вещество, протекая через прорези, придает поплавку вращение, и он центрируется в середине потока.



Ротаметры выпускаются со стеклянными и металлическими трубками. У ротаметров со стеклянной трубкой шкала нанесена прямо на поверхности трубки. Такие ротаметры предназначены для измерения газов или прозрачных жидкостей. Указателем служит верхняя горизонтальная плоскость вращающегося поплавка. В ротаметрах с металлической трубкой используется дистанционное измерение положения поплавка при помощи преобразователей линейного перемещения в унифицированный электрический или пневматический сигнал.

Ротаметры имеют большой диапазон измерения (отношение верхнего предела измерения к нижнему 10:1) и сохраняют точность измерений даже при очень малых расходах; используются для измерения объемного расхода плавно меняющихся однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов.

Электромагнитные (индукционные) расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров (ЭМР) основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому в проводнике, движущемся в магнитном поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения проводника. Роль проводника в данном случае выполняет электропроводная жидкость, протекающая по трубопроводу и пересекающая магнитное поле. Отрезок металлической немагнитной трубы 1, которая устанавливается между фланцами трубопровода с измеряемым потоком жидкости, располагается между полюсами магнита 2, перпендикулярно направлению магнитных силовых линий (рис. 6.7).

Внутренняя поверхность

трубы покрыта электроизоляционным материалом (эмаль, стеклопластик, резина и др.).

Выходной сигнал снимается с двух изолированных электродов 3, установленных в стенке трубопровода и подключенных к измерительному прибору 4 (милливольтметру или потенциометру).

$$E = BWD,$$

(6.12)

где B — магнитная индукция; W — средняя скорость потока жидкости; D — внутренний диаметр трубопровода.

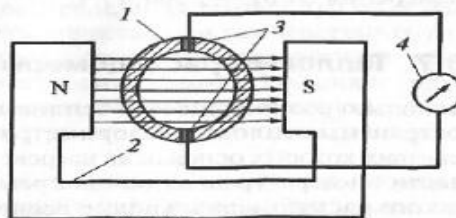


Рис. 6.7. Электромагнитный расходомер:

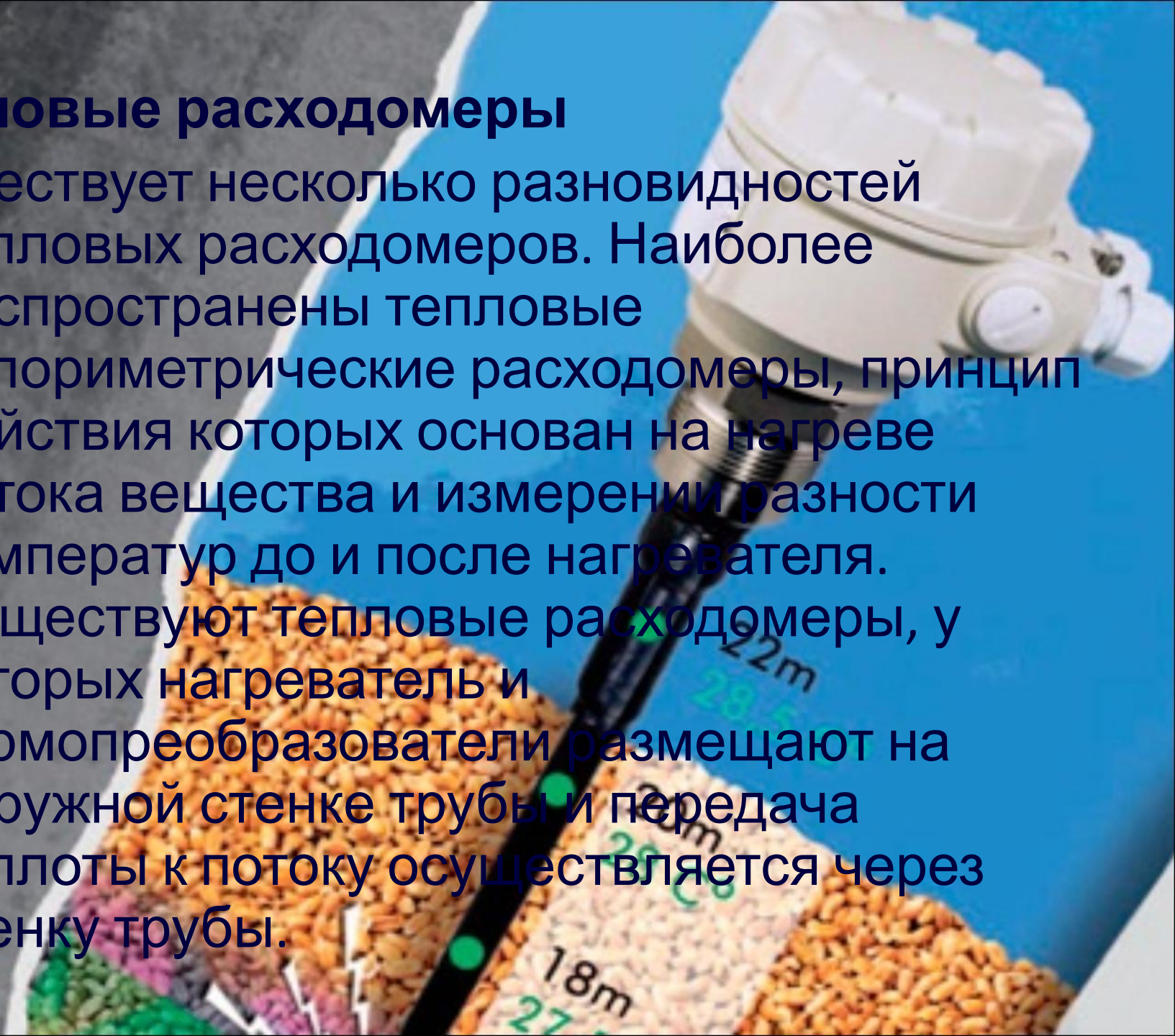
1 — немагнитный участок трубы; 2 — магнит; 3 — изолированные электроды; 4 — измерительный прибор

ЭМР обладают рядом **достоинств**: 1) возможность измерения расхода агрессивных, абразивных и вязких жидкостей; 2) на показания не влияют взвешенные в жидкости частицы и пузырьки газа; 3) ЭМР позволяют проводить измерения без потери давления; 4) ЭМР практически безынерционны. **Недостатком** является возможность измерения расхода только электропроводных жидкостей.

Верхний предел измерения ЭМР — 2 500 м³/ч.

Тепловые расходомеры

Существует несколько разновидностей тепловых расходомеров. Наиболее распространены тепловые калориметрические расходомеры, принцип действия которых основан на нагреве потока вещества и измерении разности температур до и после нагревателя. Существуют тепловые расходомеры, у которых нагреватель и термопреобразователи размещают на наружной стенке трубы и передача теплоты к потоку осуществляется через стенку трубы.



Ультразвуковые расходомеры

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основывается на изменении скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в неподвижной и подвижной среде.

Существует три метода измерения расхода вещества с помощью ультразвука: 1) по разности времен распространения УЗК, направленных по потоку и против него; 2) по степени отклонения УЗК, направленных перпендикулярно к потоку, от первоначального направления; 3) метод, основанный на эффекте Доплера (доплеровские расходомеры). В качестве

излучателей-приемников УЗК во всех методах используются пьезоэлектрические преобразователи.

В соответствии с п е р в ы м методом излучатели (они же являются и приемниками) УЗК располагаются диаметрально противоположно с внешней стороны трубопровода таким образом, чтобы их плоскости были расположены под некоторым углом к оси трубы.

Достоинством ультразвуковых расходомеров является возможность установки прибора на трубопроводах диаметром от 10 мм и более, а также измерение расхода любых жидких сред, в том числе неэлектропроводных. **Недостатки:** необходимость индивидуальной градуировки; зависимость от профиля скоростей, который меняется с изменением расхода; влияние на показания изменений физико-химических свойств вещества и его температуры, от которых зависит скорость ультразвука.

Расходомеры Кориолиса

Принцип действия кориолисовых расходомеров основан на обеспечении условий возникновения в трубопроводах с потоком жидкости силы Кориолиса, которая пропорциональна массовому расходу жидкости, с последующим преобразованием этой силы в деформацию, временной интервал или разность фаз двух сигналов.



Вибрирующую часть трубопровода обычно выполняют в виде U-образной трубки, концы которой жестко закреплены (рис. 6.10, а). Поток жидкости втекает в точку крепления во входную трубку, а после изгиба трубки вытекает по выходной трубке также в точке крепления.

Во входной половине трубки сила Кориолиса препятствует смещению трубки, а в выходной половине — способствует.

Помимо расходомеров с изогнутыми трубками выпускаются расходомеры с прямыми трубками, которые работают по тому же принципу. Степень искривления пропорциональна массовому расходу. Кориолисовые расходомеры используются для измерения расхода жидкостей и газов на трубопроводах диаметром, как правило, до 60 мм. Они могут применяться для измерения расхода жидкостей с изменяющейся плотностью, как электропроводных, так и неэлектропроводных.

Вихревые расходомеры

Принцип действия вихревых расходомеров основан на зависимости от расхода частоты колебаний давления, возникающих в потоке в процессе вихреобразования или колебания струи. Существует несколько разновидностей вихревых расходомеров, наиболее распространенными из которых являются расходомеры, имеющие в первичном преобразователе неподвижное тело, при обтекании которого с обеих его сторон попеременно возникают срывающиеся вихри, создающие пульсации давления (рис.6.11,а).



В этом расходомере вихри образуются по причине того, что непосредственно за телом, находящимся в потоке, давление потока уменьшается, и пограничный слой, обтекающий тело, отрываясь от него, изменяет направление своего движения. Этот процесс происходит с обеих сторон тела. Но так как развитие вихря с одной стороны препятствует такому же развитию с другой стороны, то образование вихрей с двух сторон тела происходит поочередно. При этом за телом образуется так называемая вихревая дорожка Кармана. Частота срыва вихрей пропорциональна объемному расходу вещества.

К достоинствам вихревых расходомеров относятся отсутствие подвижных частей, независимость показаний от давления и температуры и высокая точность, а к недостаткам — значительная потеря давления, непригодность применения при малых скоростях потока и возможность применения на трубопроводах диаметром от 25 до 300 мм.