

Лекция №8

Геодезические приборы (часть 2 «Нивелиры и способы нивелирования»)

Определения

Нивелир – прибор, служащий для определения превышений между точками местности.

Нивелирование – процедура определения превышений между точками местности при помощи нивелира

Способы нивелирования

- геометрическое нивелирование (нивелирование горизонтальным лучом),
- тригонометрическое нивелирование (нивелирование наклонным лучом),
- барометрическое нивелирование,
- гидростатическое нивелирование и некоторые другие.

Геометрическое нивелирование

В обозначение отечественных нивелиров входит буква Н и число, указывающее среднюю квадратическую погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода. Например, Н05, Н1, Н2, Н3, Н10 – соответственно, 0.5 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, 10 мм.

Кроме того, в обозначение прибора могут входить дополнительные буквы и цифры.

2Н10Л – второе поколение нивелира Н10 с лимбом для измерения горизонтальных углов

К – Наличие у нивелира компенсатора наклона визирной оси (3Н2КЛ)

Классы точности нивелиров

- Высокоточные (Н05)
- Специальные повышенной точности (Н1, Н2)
- Точные (Н3) – применяются в сетях III и IV классов
- Технические (Н10)

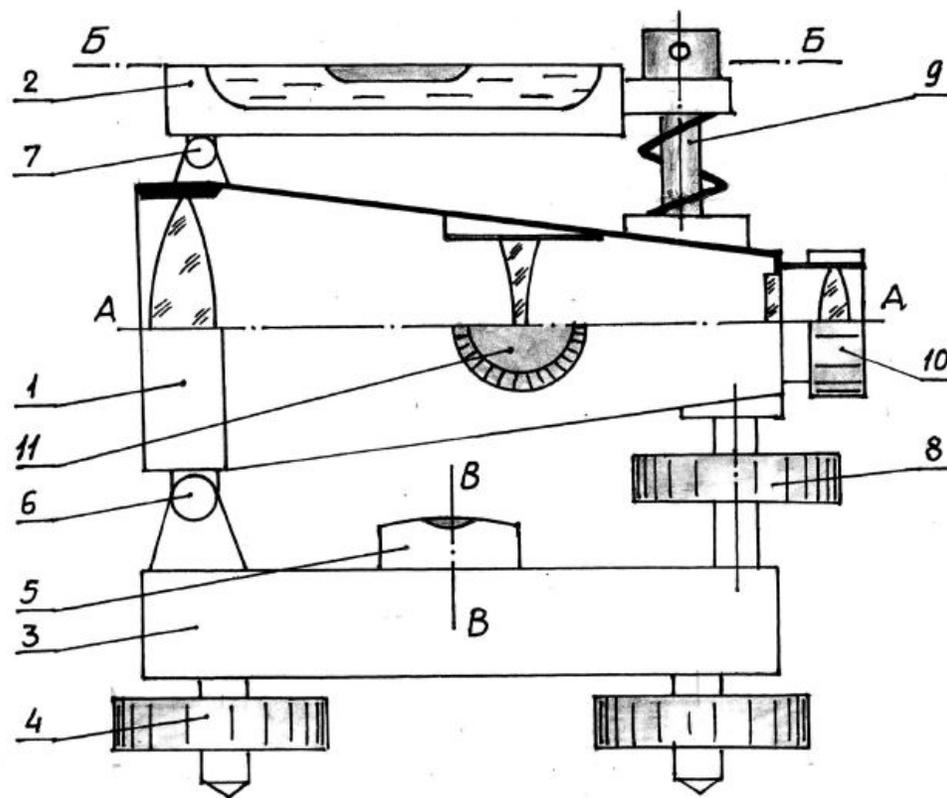
Устройство нивелира



3Н-3КЛ (УОМЗ)



3Н-5Л (УОМЗ)



Нивелирные рейки

В комплект нивелира входят две нивелирные рейки, представляющие собой бруски или жёсткие металлические профилированные полосы с нанесёнными на них делениями (обычно сантиметровыми или пятимиллиметровыми). Для точного и технического нивелирования используют деревянные рейки РН-3 и РН-10 с сантиметровыми делениями, нанесёнными с двух сторон, каждая из которых окрашена в свой цвет (красный и чёрный).

Высокоточное нивелирование выполняют только с использованием специальных реек типа РН-05 с инварной полосой, на которую нанесены две смещённые шкалы с делениями 5 мм.

Виды реек



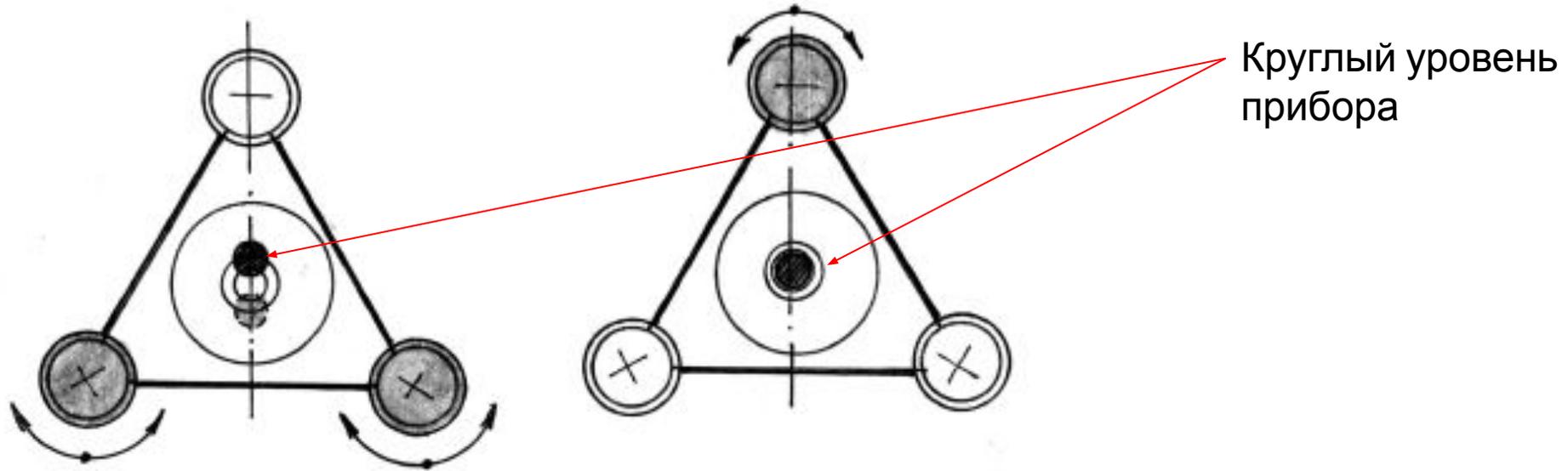
Установка нивелира в рабочее положение

Установка нивелира в рабочее положение заключается в установке для наблюдений зрительной трубы и горизонтировании прибора.

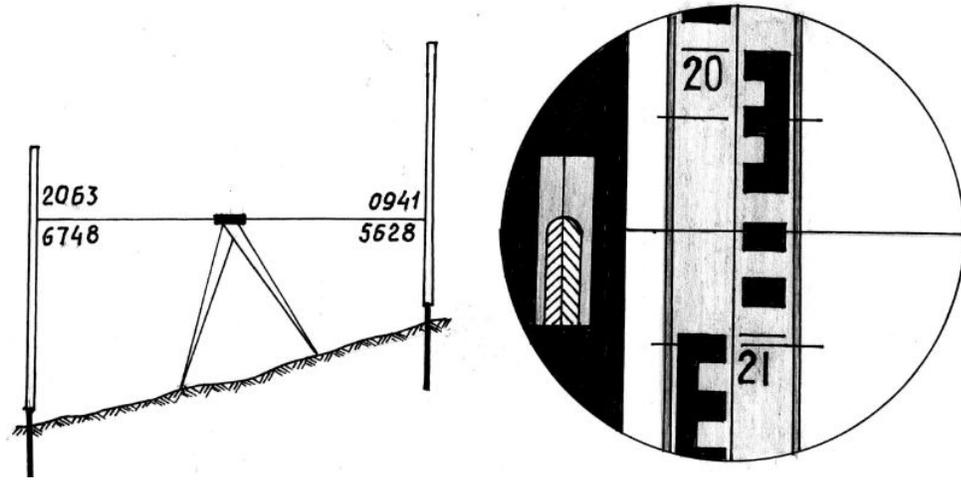
Установка для наблюдения зрительных труб нивелиров заключается в получении чёткого изображения сетки нитей и изображения концов цилиндрического уровня.

Горизонтирование заключается в приведении визирной оси прибора в горизонтальное положение.

Горизонтирование



Определение превышений нивелиром



№ станции	№№ точек	Отсчеты		Превышения	
		задний	передний	черное красное	среднее
1	A	2063	0941	+ 1122	+ 1121
	B	6748	5628	+ 1120	
		4685	4687		
2	B	1330	1939	- 0609	- 0610
	C	6016	6627	- 0611	
		4686	4688		

Поверки нивелиров

Условие 1. Ось установочного круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения нивелира. Либо, ось установочного цилиндрического уровня должна быть параллельна плоскости горизонта.

Условие 2. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть параллельна плоскости горизонта.

Условие 3. Главное условие нивелира. Визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальной.

Условие 1 проверяется перед каждой работой в одной смене, либо перед циклом измерений.

Условие 2 проверяется в тех случаях, когда требуется работа по крайним частям горизонтальной нити (например, при разбивке горизонтальной плоскости). Кроме того, это условие дополнительно проверяется после выполнения поверки по условию 3. В любом случае периодичность поверки этого условия должна быть **не реже одного раза в неделю.**

Дополнение по условию 3

Условие 3 проверяется в следующих случаях:

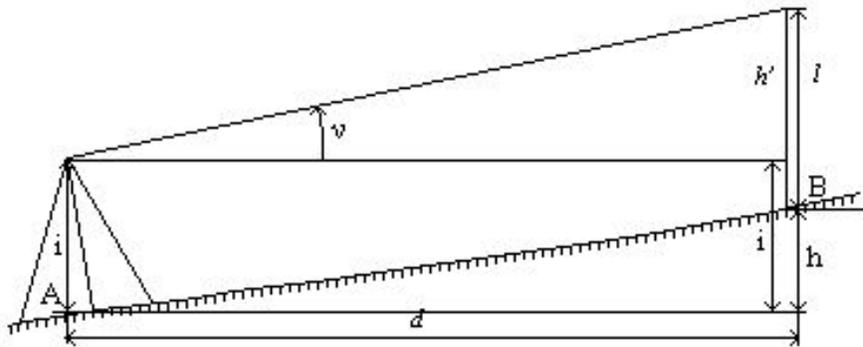
- перед каждым циклом измерений в начале рабочего дня;
- при необходимости измерений при неравных расстояниях от нивелира до реек;
- при обнаружении постоянных значительных расхождений в превышениях на станциях нивелирования из середины;
- после транспортировки прибора;
- после механических ударов по прибору, его падении и др., что было замечено в процессе выполнения работ.

Тригонометрическое нивелирование (наклонным лучом)

В тригонометрическом нивелировании превышение определяется при помощи наклонного визирного луча на местности непосредственно измеряется вертикальный угол и расстояние между точками. Точность определения превышения зависит от точности измерения расстояний.

Применяется при топографических съёмках для создания съёмочного обоснования и съёмки рельефа, а также при передаче отметок на большие расстояния.

Схема и формулы



Для определения превышения между точками А и В надо в точке А устанавливают прибор таким образом, чтобы его основная ось проходила через точку А, и при помощи рулетки измеряют высоту инструмента i . В точке В устанавливают рейку длиной l . Визируют на верх рейки и измеряют вертикальный угол v . Если известно горизонтальное проложение d между точками А и В, то можно вычислить превышение

$$h' = d \operatorname{tg} v$$

$$h + l = h' + i$$

$$h = h' + i - l = d \operatorname{tg} v + i - l$$

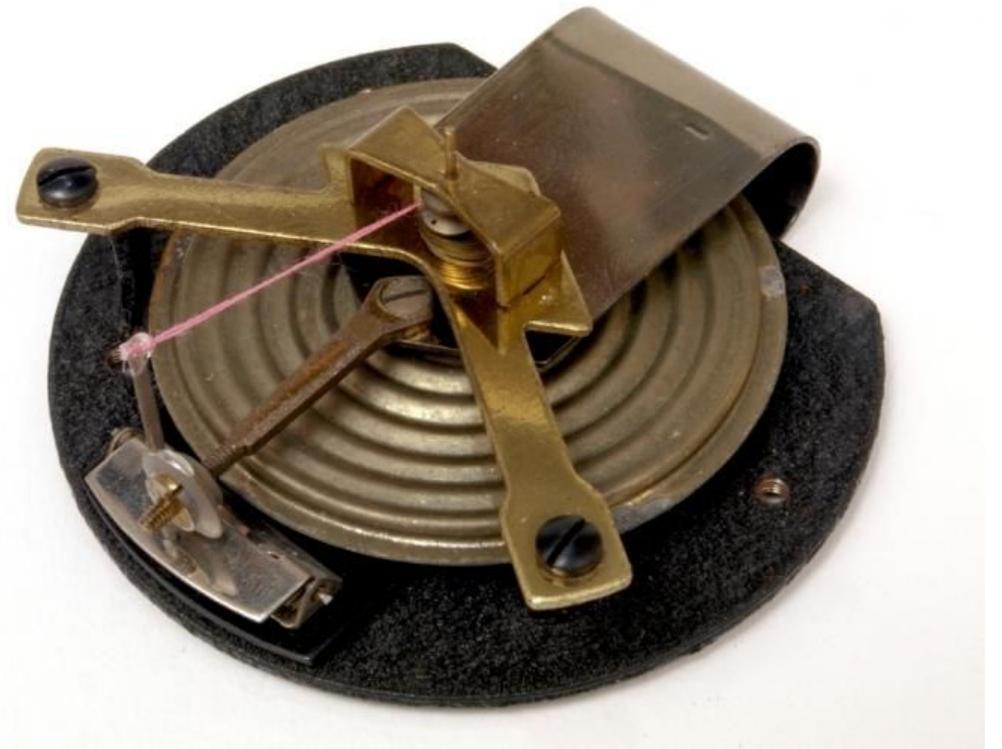
Если горизонтальное проложение d не известно, а измерено наклонное расстояние при помощи нитяного дальномера, то формула меняется:

$$h = \frac{D}{2} \sin 2v + i - l$$

Для удобства вычисления обычно визируют не на верх рейки, а на высоту инструмента $i = l$, тогда превышение вычисляется по формуле:

$$h = d \operatorname{tg} v = \frac{D}{2} \sin 2v$$

Барометрическое нивелирование



Определение превышений

Основано на зависимости атмосферного давления от высоты точки над уровнем моря. Известно, что с увеличением высоты на 10 м давление падает примерно на 1 мм ртутного столба. Приближенное значение превышения между точками 1 и 2 можно вычислить по формуле:

$$h = H_2 - H_1 = \Delta H \cdot (P_1 - P_2),$$

P_1 и P_2 – давление в первой и во второй точках;

ΔH – барометрическая ступень (значения ΔH выбирают из специальных таблиц)

Полная формула Лапласа:

$$h = K_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_m) \cdot (1 + 0.378 \cdot e_m / P_m) \cdot (1 + \beta \cdot \cos 2\varphi_m) \cdot (1 + 2/R \cdot H_m) \cdot \lg(P_1/P_2).$$

В этой формуле:

P_1, P_2 – давление воздуха на высоте H_1 и H_2 соответственно

P^m – среднее значение давления

H^m – среднее значение высоты

t_m, e_m – среднее значение температуры и влажности воздуха

φ^m – среднее значение широты

α – температурный коэффициент объемного расширения воздуха, равный 0.003665 град.⁻¹

β – коэффициент, равный 0.00265

K_0 – коэффициент, равный 18400 при некоторых стандартных значениях давления воздуха и силы тяжести.

Сокращённая формула М.В. Певцова:

$$h = N \cdot (1 + \alpha \cdot t_m) \cdot \lg(P_1/P_2),$$

где $N = 18470$, принято: $e_m = 9$ мм рт.ст., $\varphi_m = 55^\circ$, $H_m = 250$ м, $P_m = 740$ мм рт.ст.

Точность барометрического нивелирования невысока; средняя квадратическая ошибка измерения превышения колеблется от 0.3 м в равнинных районах до 2 м и более в горных. Основные области применения барометрического нивелирования – геология и геофизика.

Гидростатическое нивелирование

Основывается на эффекте сообщающихся сосудов

Уровневая поверхность -

Равенство давлений -



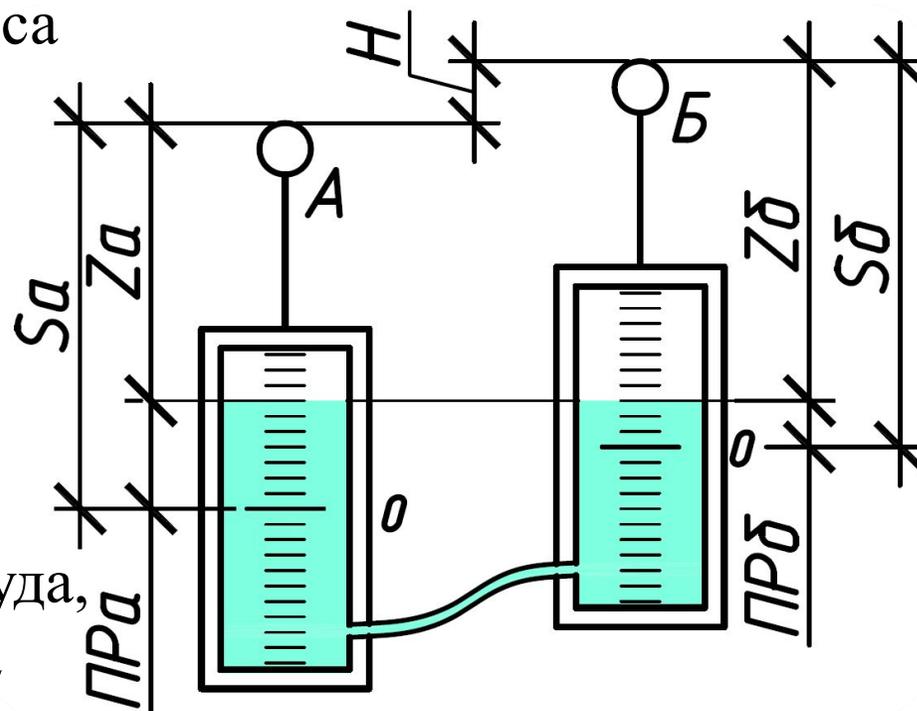
Принцип работы – уровневая поверхность

Za и Zb – отсчёты от точки подвеса до уровневой поверхности;

Пра и Прб – отсчёты от нулевой шкалы сосуда. Расположение нулевой точки зависит от конструкции.

Sa и Sб – расстояние от точки подвеса до нулевой шкалы сосуда, при одинаковых сосудах $S1=S2$

**Превышение – $H = Zb - Za =$
 $= (Sa - Прб) - (S1 - Зпр) = Зпр - Прр$**



Принцип работы – равенство давлений

Формула: $P = \rho g h$

P – давление в жидкости

ρ – плотность жидкости

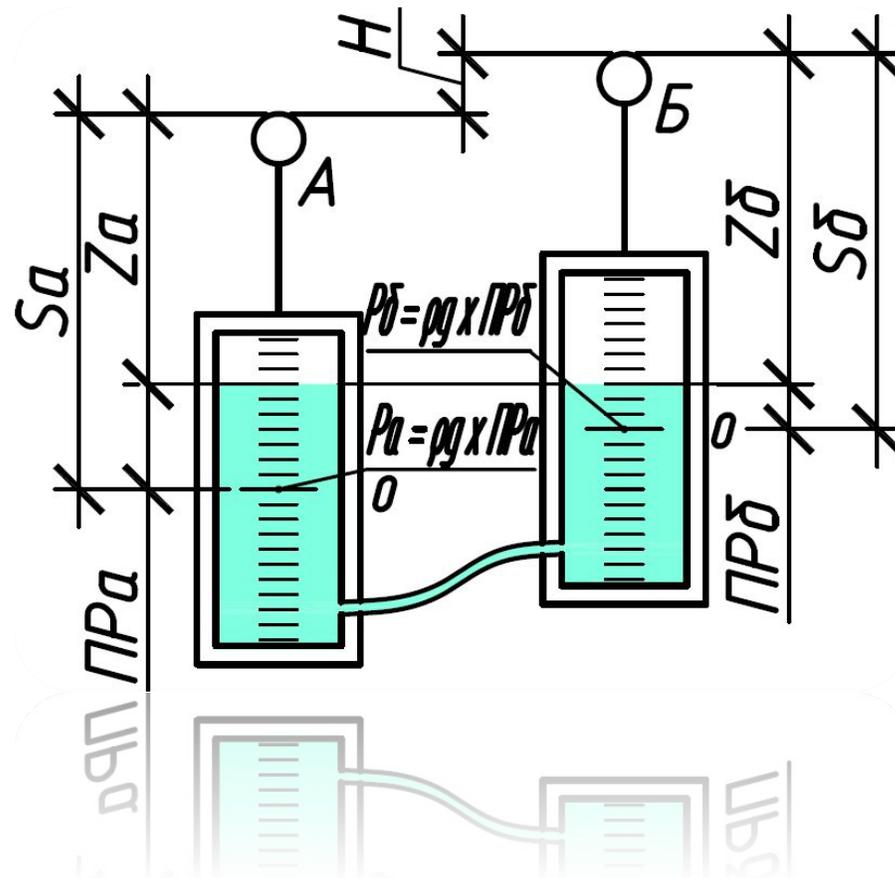
h – высота столба жидкости

В условиях однородности

жидкости $\rho g = \text{const}$,

соответственно $P_1 h_2 = P_2 h_1$

Давление в жидкости
пропорционально высоте, на
которой оно измеряется!



Измерение до уровневой поверхности



Измерение давления



**Снятие отсчетов независимо от технологии –
ручное или автоматизированное!**

Источники ошибок

- **Влияние разности температур** – зависимость плотности от температуры.
- **Перепад внешнего давления между точками измерения** – создаёт дополнительное внешнее давление на столб жидкости.
- **Капиллярность** – подъём жидкости в узких сосудах.
- **Влияние воздушных пузырьков** – маленькие пузырьки могут объединиться в один, что приведет к возникновению грубых ошибок.
- **Вибрация и ритмичные деформации** – возможно образование волны на поверхности и волновое движение воды между датчиками.

Источники ошибок

- **Разность нулевого значения** – неправильный подвес датчика на репере или внутренние константы прибора.
- **Инородные частицы на поверхности жидкости** – влияние на снятие отсчёта.
- **Заполняющая жидкость** – есть поправочные коэффициенты на изменения плотности от температуры

Влияние ошибок может быть уменьшено или полностью устранено за счет технического решения при проектировании оборудования и регламента измерения!

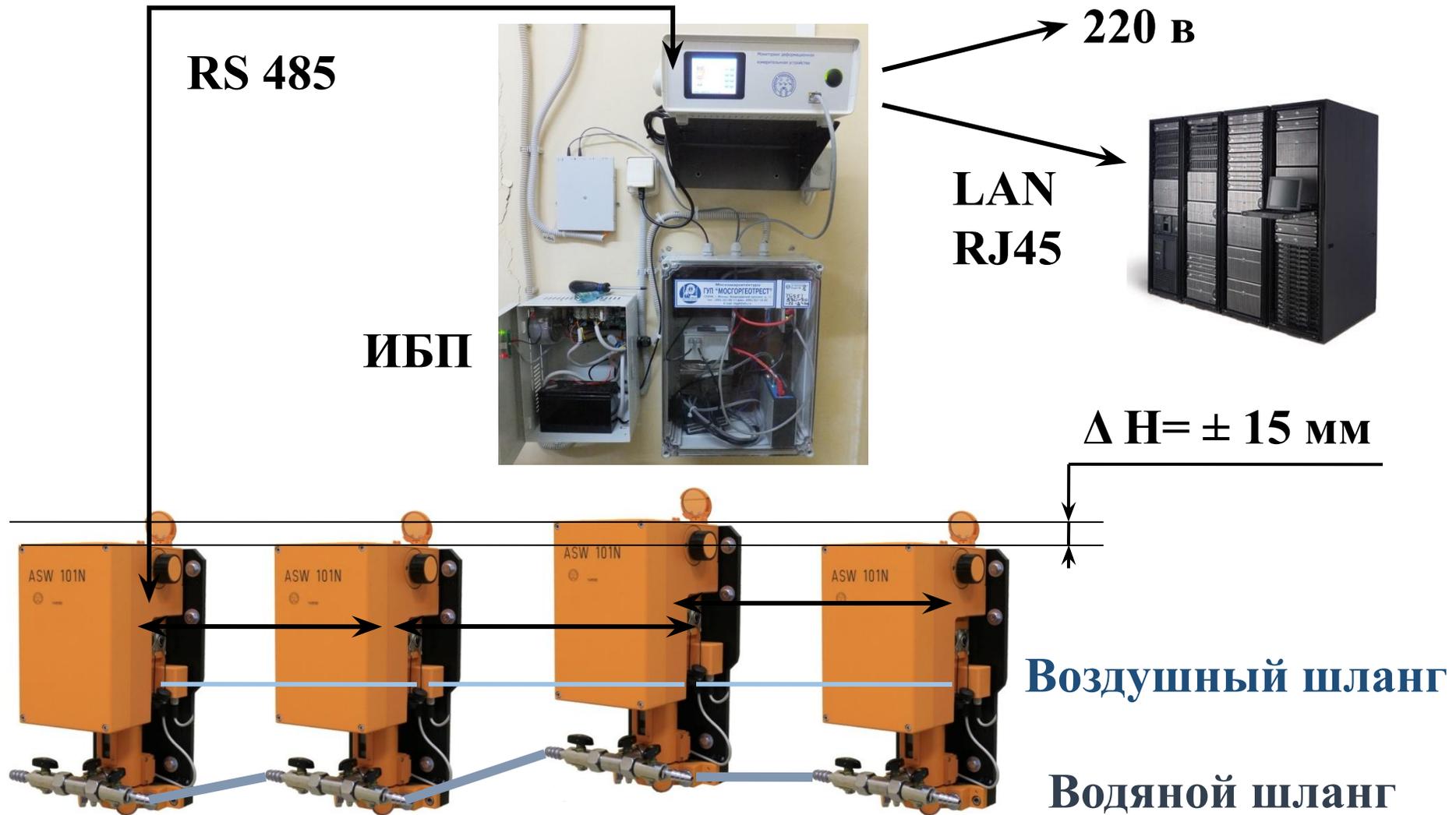
FPM Holding GmbH (Германия) Технические характеристики



- Точность измерений – 0,005 мм
- Среднеквадратическая ошибка всей измерительной системы – 0,02 мм
- Количество датчиков в одной цепи до 30
- Датчики температуры жидкости и воздуха
- Устойчив к вибрациям:
 - до 50 Гц амплитуда 55 микрон
 - до 100 Гц амплитуда 13 микрон
 - до 200 Гц амплитуда 3 микрон
- Интерфейс – RS485, USB 1.1, RJ45*
- Работа в режиме 24 на 7 при редком сервисном обслуживании
- Степень защиты: IP 54
- Рабочая температура: от -10 до +60 °С



www.fpm.de



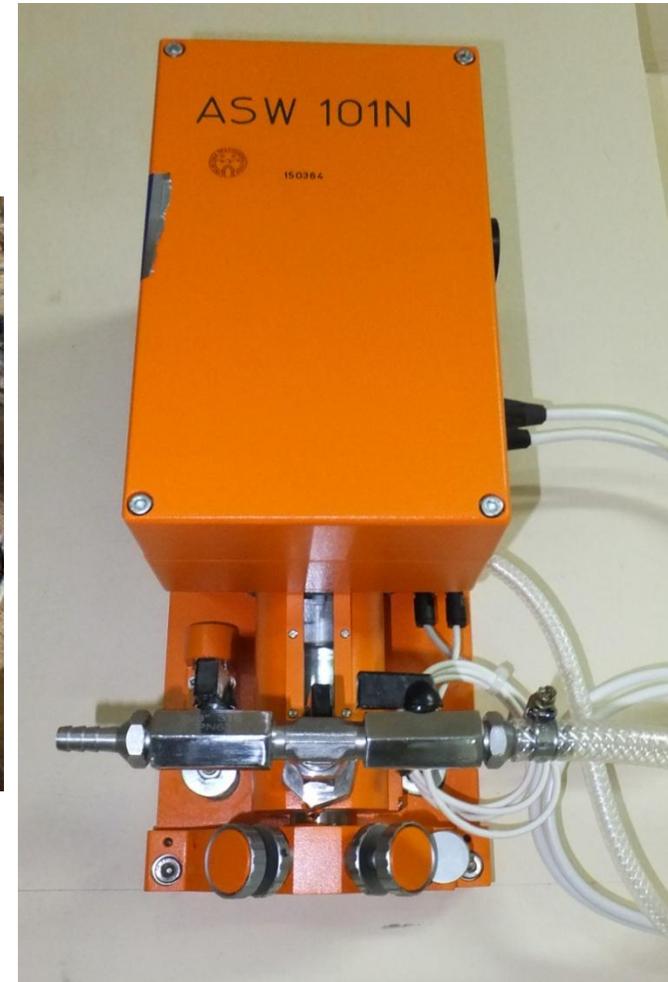
Применение - Турбины



Применение – Опоры мостов



Применение – Фундаменты



**Спасибо за
внимание**