

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ МОРСКОГО НАУЧОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

д.т.н., проф. Гайский В.А.

Институт природно-технических систем (ИПТС)

г. Севастополь



Последние разработки ОАОИ постсоветского периода



Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Цена единицы наименьшего разряда	Предел доп. погрешности при дов. вер. 0,95	Показатель инерции, с
Температура, °С	-2 ÷ +35	$(6 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	(0,003 ÷ 0,005)	не более 0,05
Относительная электрическая проводимость	0 ÷ 1,7	$(3,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$	не более $\pm 2,5 \cdot 10^{-4}$	-
Гидростатическое давление, МПа	0 ÷ 20	$(4 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,03$	-
Соленость, ед. практ. солености	2 ÷ 42	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	не более 0,005 едс	-
Концентрация растворенного кислорода, мл/л	0 ÷ 15	не более 0,01	$\pm (0,05 \div 0,07)$	не более 3
Показатель ионов водорода, ед. рН	7 ÷ 9	не более 0,002	$\pm 0,03$	не более 5
Индикация сульфидов, мг/л	порог чувствительности не более 0,07 мг/л (в эквиваленте сероводорода)			не более 5 (при возрастании концентрации сульфидов)

Количество пробоотборников - 16-20. Емкость пробоотборников - 1 л. Частота отсчетов - 10Гц.

9-ое ПОКОЛЕНИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

(созданное в рамках НИОКР для Гидрометслужбы Украины в 2008 г.)

Гидролого-химический зонд



Измеритель скорости течений



Морская прибрежная гидрологическая станция



9-ое ПОКОЛЕНИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

(характеристики измерительных каналов)

Измеряемый Параметр	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Погрешность	Модуль	Миним. период опроса, с
1 Гидростатическое давление, кПа	0 ÷ 500	0,2	±2	МГХ	1
	0 ÷ 20000	2	±20	ГХЗ	0,04
2 Температура воды, °С	-2 ÷ +35	0,01	±0,1	МГХ	1
	-2 ÷ +35	0,001	±0,01	ГХЗ	0,04
3 Относительная электропроводимость, воды, отн. ед.	0,01 ÷ 1,7	3×10^{-4}	$\pm 3 \times 10^{-3}$	МГХ	1
	0,01 ÷ 1,7	3×10^{-5}	$\pm 3 \times 10^{-4}$	ГХЗ	0,04
4 Объемная концентрация кислорода, см ³ /дм ³	0,1 ÷ 10	0,01	±3%	МГХ	1
	0,1 ÷ 10	0,01	±1%	ГХЗ	0,04
5 рН, ед. рН	1 ÷ 14	0,03	±0,5	МГХ	1
	1 ÷ 14	0,03	±0,1	ГХЗ	0,04
6 Концентрация сульфидов, мг/дм ³	0,03 ÷ 30	$0,003+0,005 \times C_S$	$\pm(0,03+0,05 \times C_S)$	ГХЗ	0,04
7 Концентрация свинца, мол/дм ³	$10^{-5} \div 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}+0,01 \times C_{Pb}$	$\pm(10^{-5}+0,1 \times C_{Pb})$	ГХЗ	0,04
8 Спектральный показатель ослабления света, м ⁻¹	0,01 ÷ 1,0	0,002	±0,02	ИП-1, ИП-2	1
9 Высота волн, м	0 ÷ 10	0,03	±0,15	ИПВ	0,1
10 Период волн, с	1 ÷ 100	1	±1%	ИПВ	0,1
11 Уровень моря, м	0 ÷ 2,00	0,002	±0,02	ИУМ-1	22
12 Скорость течения, м/с	0,01 ÷ 5,00	±0,001	±1,5 %	ИСТ-1	0,01

Обрастание измерительных модулей морской прибрежной станции



Распределенные термопрофилемеры

Отличительная особенность – разложение профиля в ряд по ортогональным функциям.

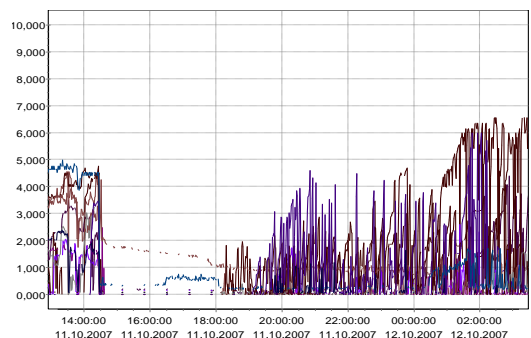


Распределенный кабель-датчик представляет из себя набор распределенно-модулированных термочувствительных элементов.

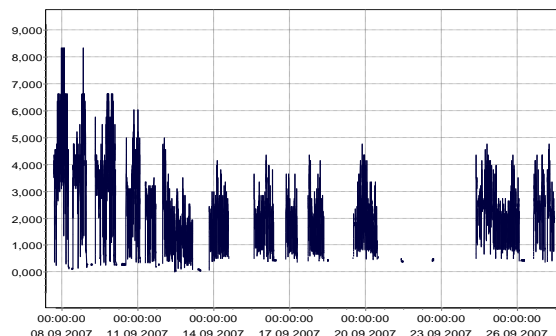
Автоматические комплексы БИОМОНИТОРИНГА на базе двустворчатых моллюсков (2008-2016 гг.)

Позволяют оперативно в автоматическом режиме получать интегральную токсикологическую характеристику независимо от состава загрязнений

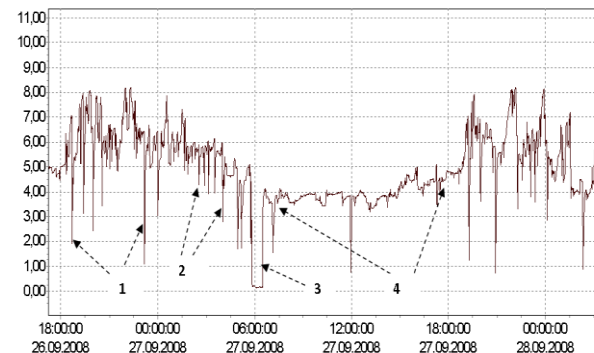
Групповая реакция на отравляющие вещества



Нарушение суточных ритмов при хроническом загрязнении



Особенности суточного цикла



Промышленный образец "Биостраж"



Экспериментальные погружные и лабораторные образцы "Биомонитор", "Биопост" и "Биомонитор-Л"



Приборы базовой системы

№	Наименование	Классификация по точности	Стоимость НИОКР, тыс. руб.	Лимитная цена, тыс. руб.	Потребность рынка, шт.	Начальная емкость рынка, тыс. руб.
1	Судовой STD-зонд с батометрами	экологический	12 000	2000	50	10^5
		прецизионный	20 000	3000	20	$0,6 \cdot 10^5$
2	STD-микрозонд	экологический	1 000	100	10000	$10 \cdot 10^5$
		прецизионный	3 000	500	100	$0,5 \cdot 10^5$
3	Гидролого-гидрохимический минизонд	экологический	3 600	600	1000	$6 \cdot 10^5$
4	Зонд-профилограф течений	экологический	6 000	1000	50	$0,5 \cdot 10^5$
5	Автономный измеритель течения	экологический	3 000	250	10000	$25 \cdot 10^5$
6	Управляемый буксируемый комплекс	экологический	12 000	2000	200	$4 \cdot 10^5$
		прецизионный	36 000	6000	50	$3 \cdot 10^5$
7	Морская прибрежная станция с биоэлектронными измерителями обнаружения токсичности	экологический	6 000	1000	500	$5 \cdot 10^5$
8	Автоматическая буйковая станция с распределенным термопрофилемером	экологический	3 000	400	1000	$4 \cdot 10^5$
9	Измеритель уровня моря типа «Электронной мерной рейки»	экологический	1 000	50	10000	$5 \cdot 10^5$
		прецизионный	3 000	100	200	$0,2 \cdot 10^5$
10	Переносной биоэлектронный комплекс контроля токсичности вод	экологический	2 000	150	100	$15 \cdot 10^3$
Итого			111 600			$6,48 \cdot 10^6$

ОСНОВНЫЕ ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Будут созданы автоматические измерительные модули для основных физических, химических и биологических параметров вод и характеристик океана и на его границах для разных пространственно-временных масштабов, разной точности, долговечности и стоимости.

Будет создана базовая система океанографических и экологических приборов с двумя уровнями классификации по точности и стоимости: экологические и прецизионные.

Предполагается, что указанные в таблице потребности и начальная емкость рынка удовлетворят потребности РАН, Гидрометеослужбы, Минприроды, Гидрографии ВМФ, Министерства обороны и народного хозяйства по разведке и добычи ресурсов и экологическому мониторингу природных вод и обеспечат импортозамещение на уровне приборов.

Разработка и создание опытного образца прецизионного СТД-зонда с батометрами и организация его

№ 1

мелкосерийного производства

Предназначен для выполнения стандартных океанографических станций с борта научно-исследовательского судна.

- обеспечивает измерение электропроводимости, температуры, концентрации кислорода, показателя рН на уровне лучших зарубежных образцов;
- обеспечивает отбор проб воды;
- обеспечивает импортозамещение и возможности международного обмена данными;
- общая начальная потребность РФ примерно 40 экземпляров.



Сроки выполнения проекта – 3 года

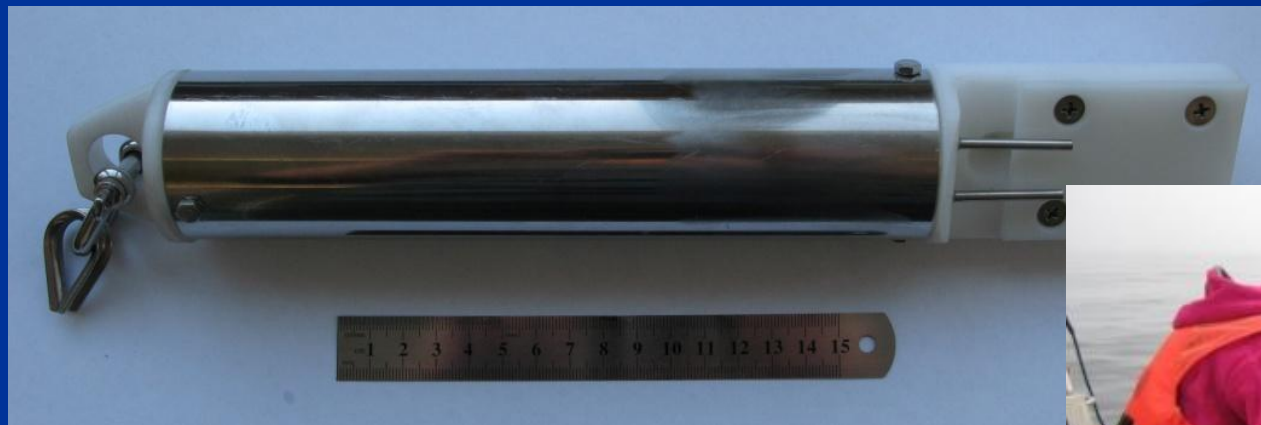
Разработка и создание опытного образца автономного СТД-микрозонда и организация его серийного производства

№ 2

Предназначен для получения СТД-профилей при зондировании с использованием тросовой лебедки на любых носителях.

Прецизионные СТД измерения с телеметрической и автономной регистрацией на ПК и стандартную ФЛЭШ-память.

Общая потребность – тысячи экземпляров..



Сроки выполнения проекта – 2 года

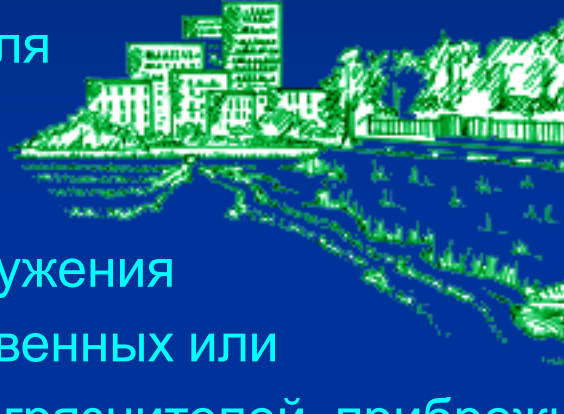
Разработка и создание опытного образца автоматической прибрежной станции с биоэлектронным комплексом обнаружения токсичности вод и организация её серийного производства

№ 3

Предназначена для оперативного экологического контроля и обнаружения токсичных естественных или антропогенных загрязнителей прибрежных морских или речных вод и водотоков, в том числе на водозаборах.

Обнаружение токсичных загрязнений вод по поведенческой реакции двустворчатых моллюсков и измерения фоновых характеристик среды.
Общая потребность – более 1000 экземпляров.

Сроки выполнения проекта – 2 года



Разработка и создание опытного образца автоматической буйковой станции с распределенным термопрофилемером и организация её серийного

№ 4 производства

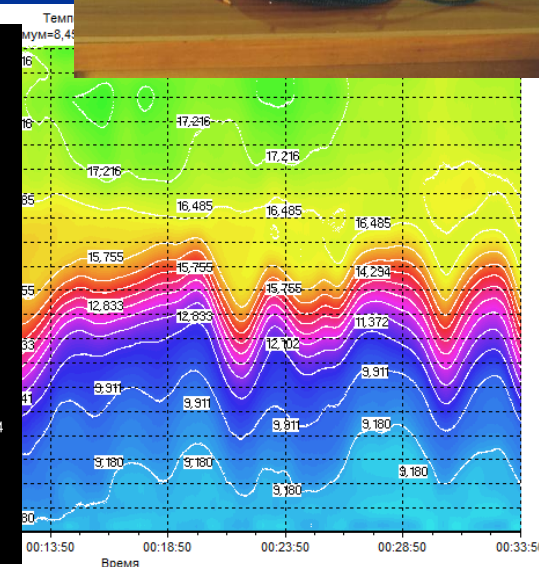
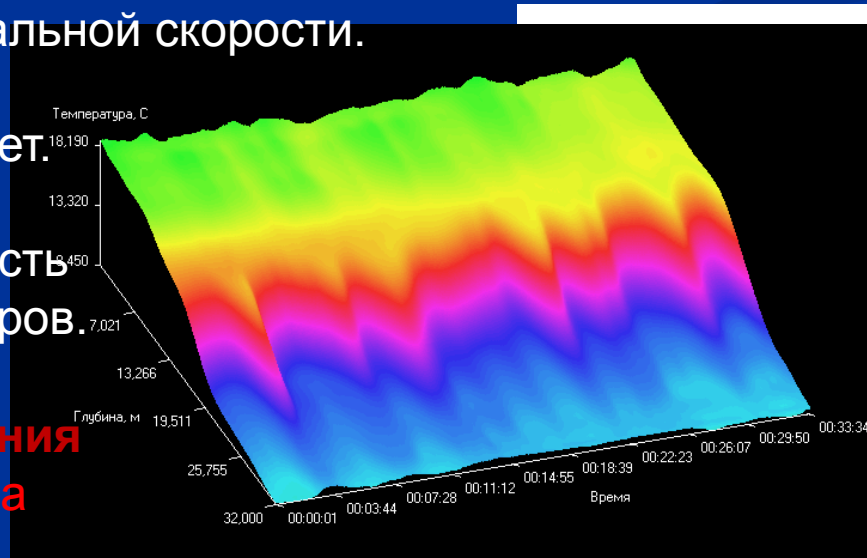
Предназначена для измерения вертикального профиля температуры и определения характеристик внутренних волн.

Измерение вертикального профиля температуры с погрешностью $0,1^{\circ}\text{C}$ и пространственным разрешением $1/32$ от длины кабеля – датчика с последующим определением профиля частоты Вайсяля-Брента и профиля вертикальной скорости.

Аналогов не имеет.

Общая потребность
- сотни экземпляров.

Сроки выполнения
проекта – 2 года



Разработка и создание опытного образца измерителя уровня моря типа «электронная мерная рейка» и организация его серийного производства

№ 5

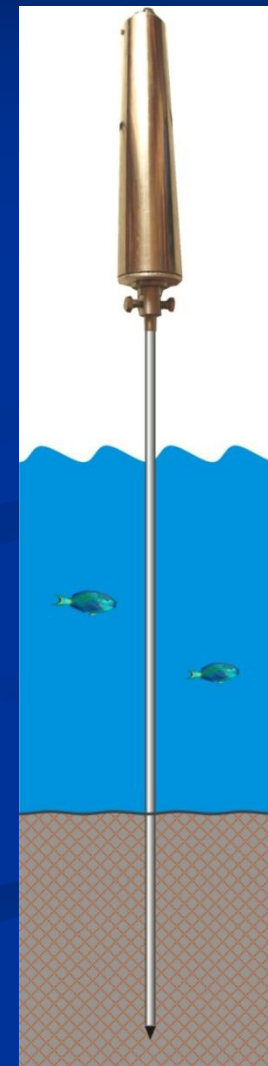
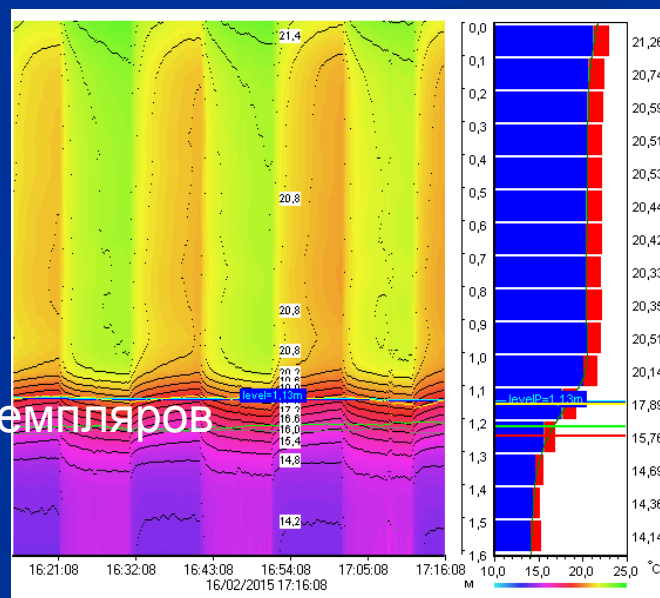
Предназначен для одновременного измерения уровня вод, толщины слоя снежного покрова и льда, толщины воздушных прослоек и профиля температуры. Заменяет все неавтоматизированные мерные рейки и автоматические измерители уровня на морях, реках и озерах.

Измеритель реализуется на базе распределенного термопрофилемера в модификациях на разные пространственные диапазоны. Исключительно прост в установке и эксплуатации, надежен.

Аналогов не имеет.

Общая потребность более 10000 экземпляров

Сроки выполнения проекта – 2 года



Разработка и создание опытного образца автоматического измерителя профиля температуры верхнего слоя почвы и организация его серийного производства

№ 6

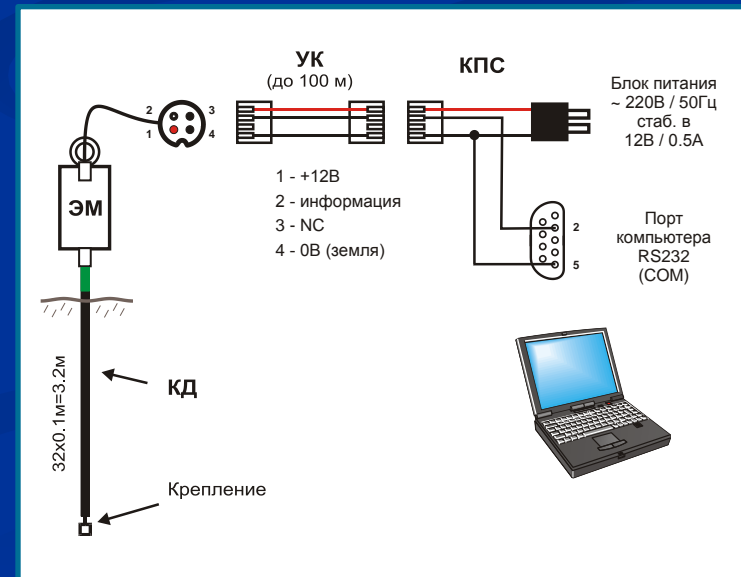
Предназначен для выполнения стандартных измерений профиля температуры почвы до глубины 3,2 м. Заменяет используемые дискретные датчики температуры и полностью автоматизирует процесс измерения и сбора данных.



Измеритель реализован на распределенных датчиках температуры. Обеспечивает измерения непрерывного профиля температуры с погрешностью $0,1^{\circ}\text{C}$. Прост в установке и эксплуатации.

Общая потребность около 8000 экземпляров

Сроки выполнения проекта – 1 год



Разработка и создание опытного образца автоматического измерителя профиля температуры и уровня зерна в силосе элеватора и хранилищах сыпучих продуктов и организация его серийного производства

№ 7

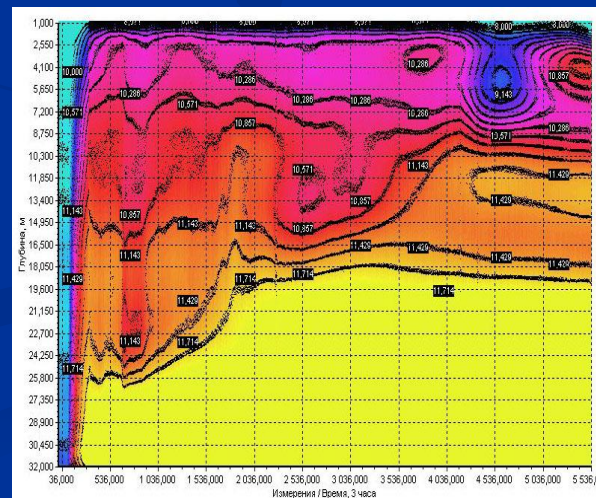
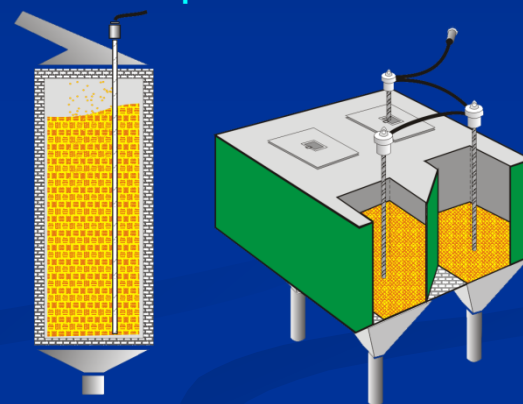
Предназначен для контроля профиля температуры и уровня зерна и сыпучих продуктов в силосах и хранилищах с погрешностью по температуре 0,1 °С и уровню – 0,2 м.

Измеритель реализован на распределенных датчиках температуры, охватывает контролем весь объем зерна и обеспечивает измерение уровня как в статическом режиме (хранение), так и в динамике (во время заполнения-опорожнения силоса (хранилища)).

В одном исполнении заменяет все существующие контактные дискретные и дистанционные измерители уровня и температуры.

Конкурентоспособен по надежности, точности и стоимости.

Текущая потребность более 75000 измерителей



Сроки выполнения проекта – 1 год

Разработка и создание опытного образца лабораторного биоэлектронного комплекса для контроля и исследования поведенческих реакций двустворчатых моллюсков в проточных лабораторных аквариумах и организация его мелкосерийного производства

№ 8

Предназначен для контроля в лабораторных условиях токсикантов и отравляющих веществ в водной среде, а также исследования поведенческих реакций и активности двустворчатых моллюсков при их воздействии.

Имеет многолетний опыт практического использования и модернизации. Надежен в эксплуатации. Имеет хорошую автономность. Использует в качестве биодатчиков аборигенные морские и пресноводные двустворчатые моллюски, присутствующие практически в любом регионе мира.

Общая потребность – сотни экземпляров.

Сроки выполнения проекта – 1 год



Разработка методически-аппаратных средств перспективных технологий гидрологических измерений в море:

Многомерный гармонический анализ при измерениях полей морской среды

Двумерные представления.

При вертикальном зондировании прибором во втором приближении профиль $\theta(z)$ следует считать двумерным $\theta(z, t)$

$$\theta(z, t) = \sum_k \sum_s [A_{k,s} \cos(k\gamma z - s\omega t) + B_{k,s} \sin(k\gamma z - s\omega t) + C_{k,s} \cos(k\gamma z + s\omega t) + D_{k,s} \sin(k\gamma z + s\omega t)],$$

$$A_{k,s} \approx \frac{\sum_{z,t} \theta(z, t) \cos(k\gamma z - s\omega t)}{\frac{1}{ZT} \sum_{z,t} \cos^2(k\gamma z - s\omega t)}$$

Многомерный гармонический анализ при измерениях полей морской среды

Трехмерные представления.

Съемка разреза буксируемым сканирующим в плоскости x, z прибором дает отсчеты трехмерного поля $\theta(x, z, t)$

$$\begin{aligned} \theta(x, z, t) \approx \sum_{i,k,s} [& A_{i,k,s} \cos(i\alpha x + k\gamma z - s\omega t) + B_{i,k,s} \sin(i\alpha x + k\gamma z - s\omega t) + \\ & + C_{i,k,s} \cos(-i\alpha x + k\gamma z + s\omega t) + D_{i,k,s} \sin(-i\alpha x + k\gamma z + s\omega t) + \\ & + E_{i,k,s} \cos(i\alpha x - k\gamma z + s\omega t) + F_{i,k,s} \sin(i\alpha x - k\gamma z + s\omega t) + \\ & + G_{i,k,s} \cos(i\alpha x + k\gamma z + s\omega t) + H_{i,k,s} \sin(i\alpha x + k\gamma z + s\omega t)] , \end{aligned}$$

$$A_{i,k,s} \approx \frac{\sum_{x,z,t} \theta(x, z, t) \cos(i\alpha x + k\gamma z - s\omega t)}{\frac{1}{XZT} \sum_{x,z,t} \cos^2(i\alpha x + k\gamma z - s\omega t)}$$

Многомерный гармонический анализ при измерениях полей морской среды

Четырехмерные представления.

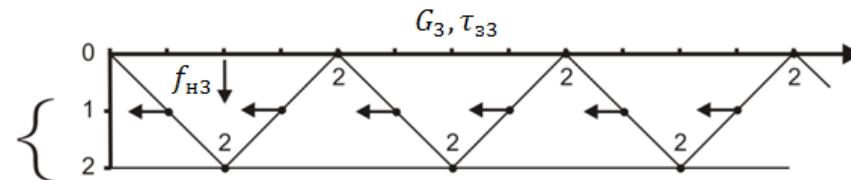
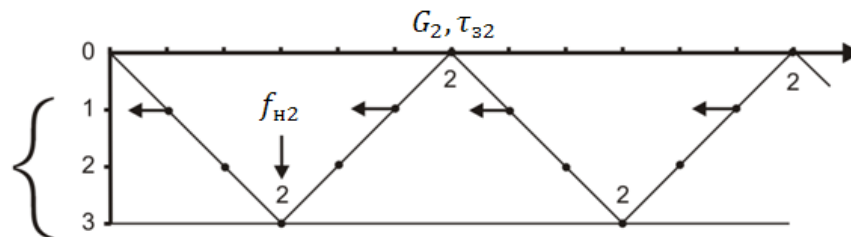
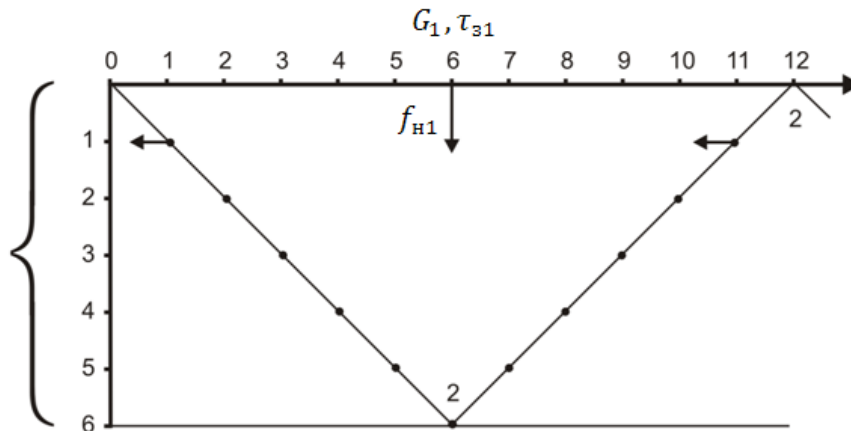
$$\begin{aligned} \theta(x, y, z, t) \approx & \sum_{i,j,k,s} [A_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x + j\beta y - k\gamma z - s\omega t) + B_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x + j\beta y - k\gamma z - s\omega t) + \\ & + C_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x + j\beta y - k\gamma z + s\omega t) + D_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x + j\beta y - k\gamma z + s\omega t) + \\ & + E_{i,j,k,s} \cos(-i\alpha x + j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + F_{i,j,k,s} \sin(-i\alpha x + j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + \\ & + G_{i,j,k,s} \cos(-i\alpha x + j\beta y + k\gamma z + s\omega t) + H_{i,j,k,s} \sin(-i\alpha x + j\beta y + k\gamma z + s\omega t) + \\ & + I_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x - j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + K_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x - j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + \\ & + L_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x - j\beta y + k\gamma z + s\omega t) + M_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x - j\beta y + k\gamma z + s\omega t) + \\ & + N_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x + j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + O_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x + j\beta y + k\gamma z - s\omega t) + \\ & + P_{i,j,k,s} \cos(i\alpha x + j\beta y + k\gamma z + s\omega t) + Q_{i,j,k,s} \sin(i\alpha x + j\beta y + k\gamma z + s\omega t)] \end{aligned}$$

**Метод широкоформатного
спектрального анализа для
процессов и полей окружающей
среды**

$$d_6 \rightarrow 1, 2, 3, 6$$

$$\sum d_n = 12$$

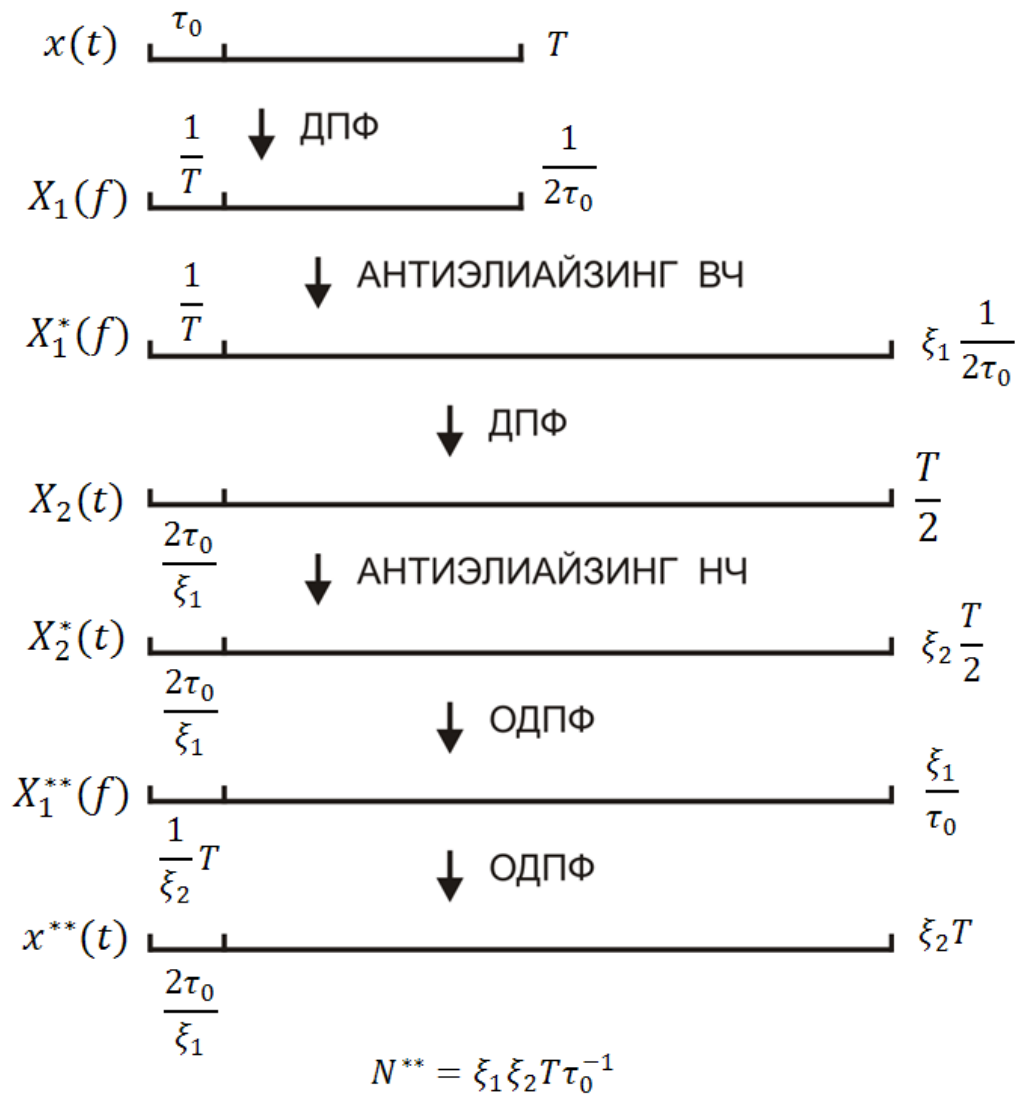
ВЫЧИСЛЯЕМЫЕ СПЕКТРЫ



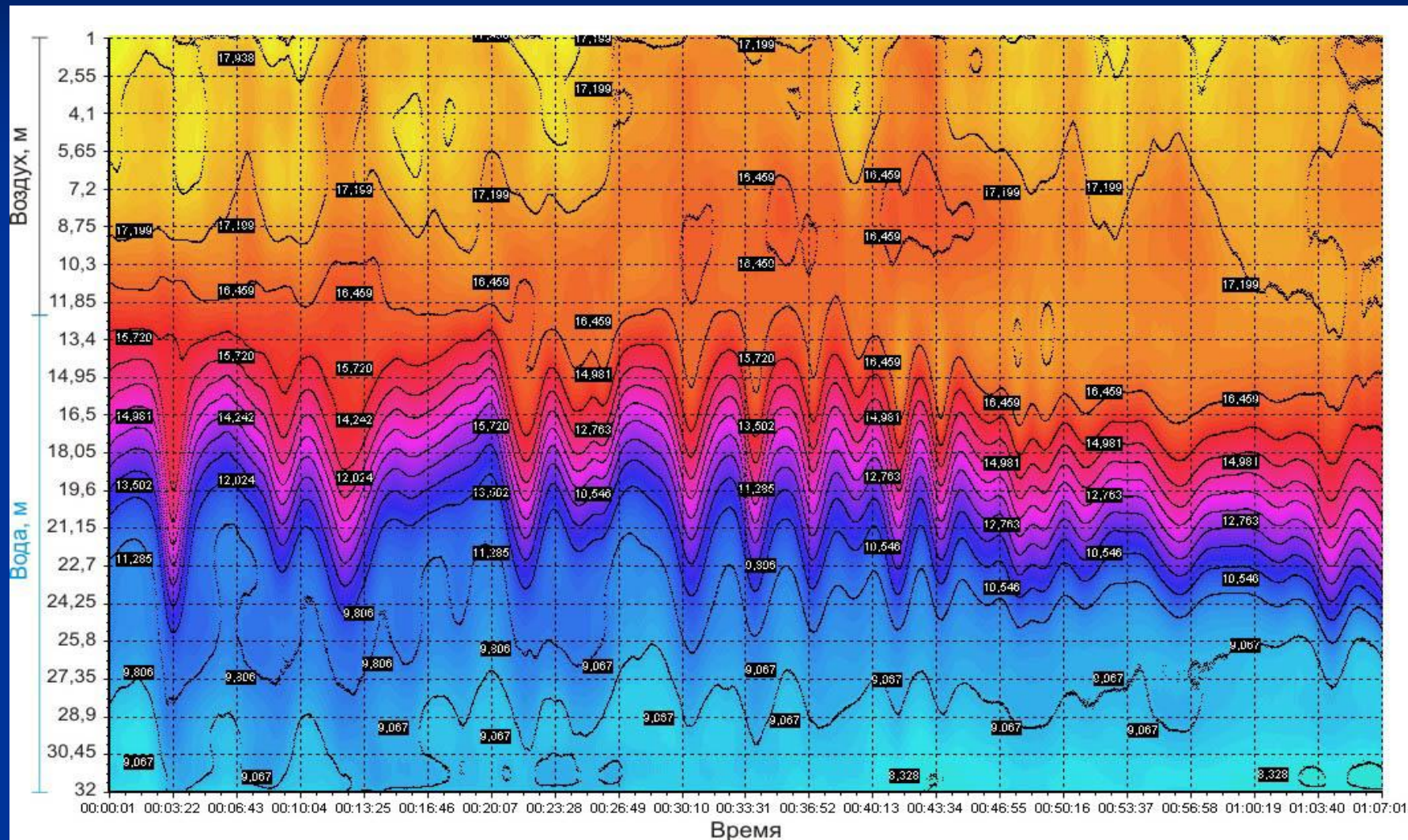
Исходный спектр Дополнение к спектру

Число	Сумма делителей
6	12
48	124
96	252
210	576
420	1344
504	1560
600	1860
960	3048

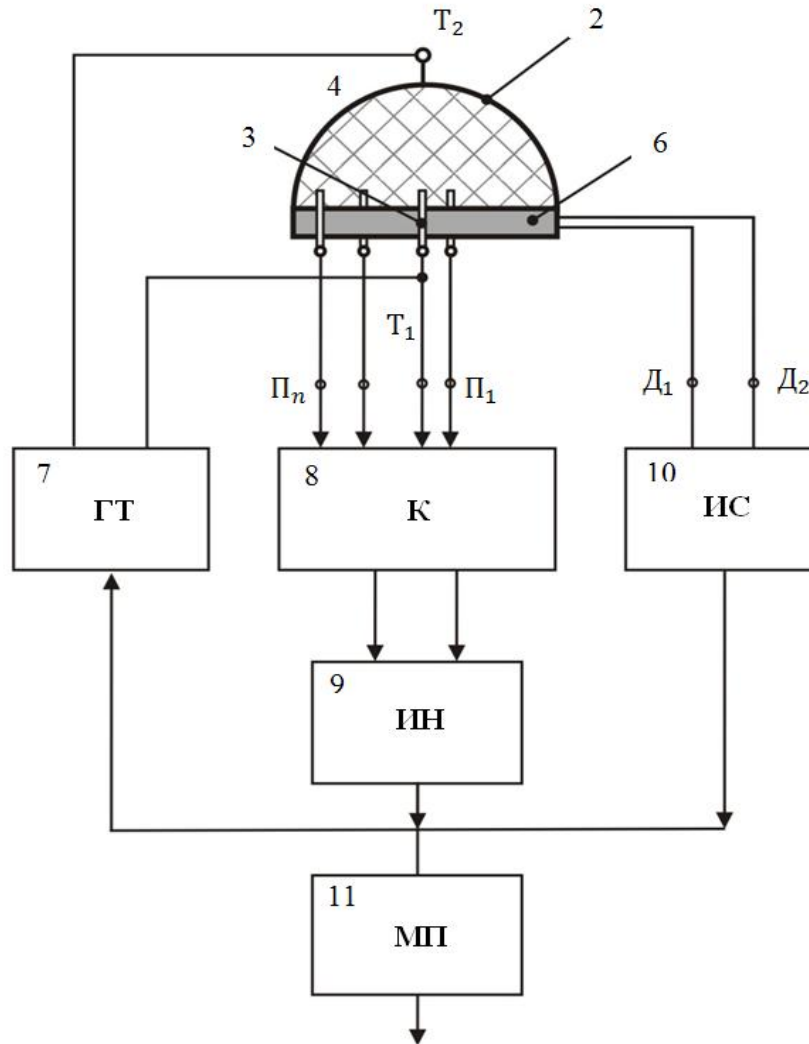
ШИРОКОФОРМАТНЫЙ СПЕКТР



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МОРЕ



УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД



$$\alpha_{ij} = K_{ij} \frac{I}{U_{ij}}$$

$$K_{ij} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_j} \right)$$

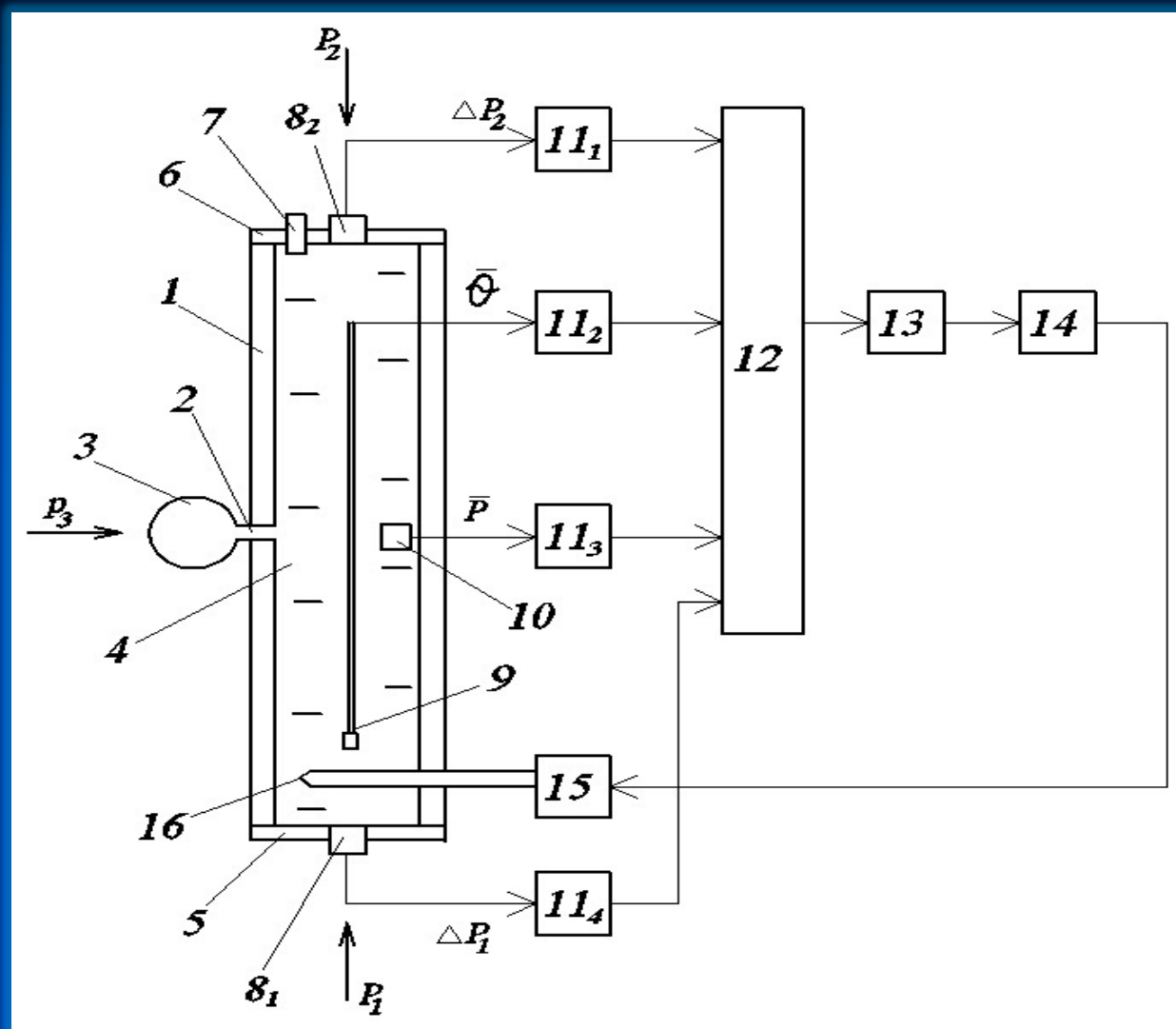
$$\bar{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{\substack{i, j \in \overline{1, n} \\ i \neq j}}^N \alpha_{ij}, \quad (n-1) \leq N \leq \frac{n(n-1)}{2}$$

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД

Целью данной работы явилась разработка принципов построения гидростатического измерителя для глубоководных приборов и повышение точности измерений локальной плотности среды.

Локальную плотность жидкости в географической точке на широте φ и на глубине Z в море определяют по формуле

$$\rho(\varphi, z) = \rho_0(\bar{\theta}, \bar{P}) + \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{g(\varphi, z) h}$$



Структурно-функциональная схема базового
 измерителя плотности жидкости

Второй вариант устройства для пары измерителей

$$\rho = \frac{\rho_{01}(\bar{\theta}_1, \bar{P})(\Delta P_{21} + \Delta P_{22}) - \rho_{02}(\bar{\theta}_2, \bar{P})(\Delta P_{11} + \Delta P_{12})}{(\Delta P_{21} + \Delta P_{22}) - (\Delta P_{11} + \Delta P_{12})}$$

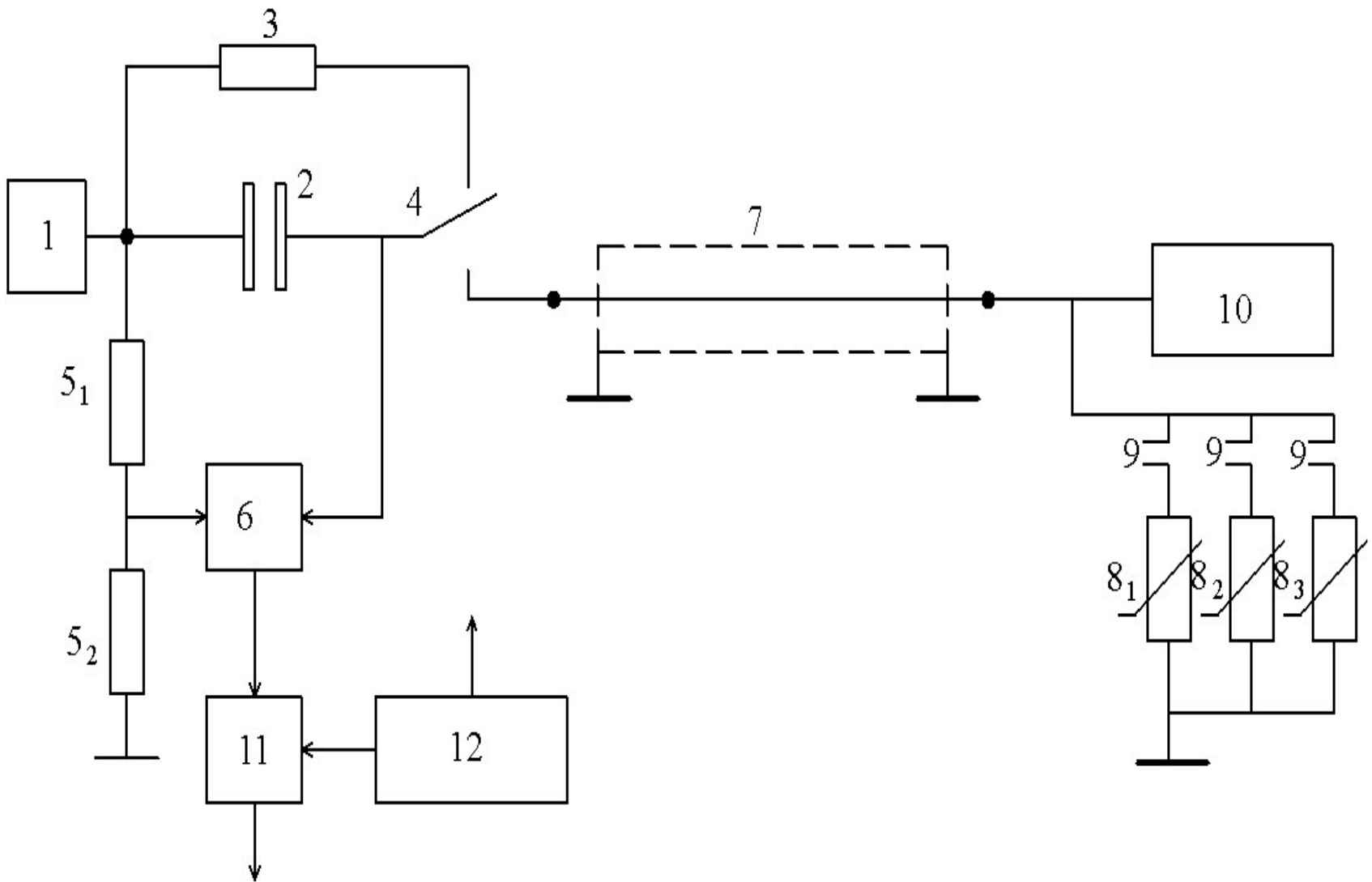
Второй вариант устройства инвариантен к величине ускорения силы тяжести (естественной или искусственной) и малому отклонению от вертикали.

В третьем варианте устройства используется n измерителей параллельно с одинаковыми значениями hg

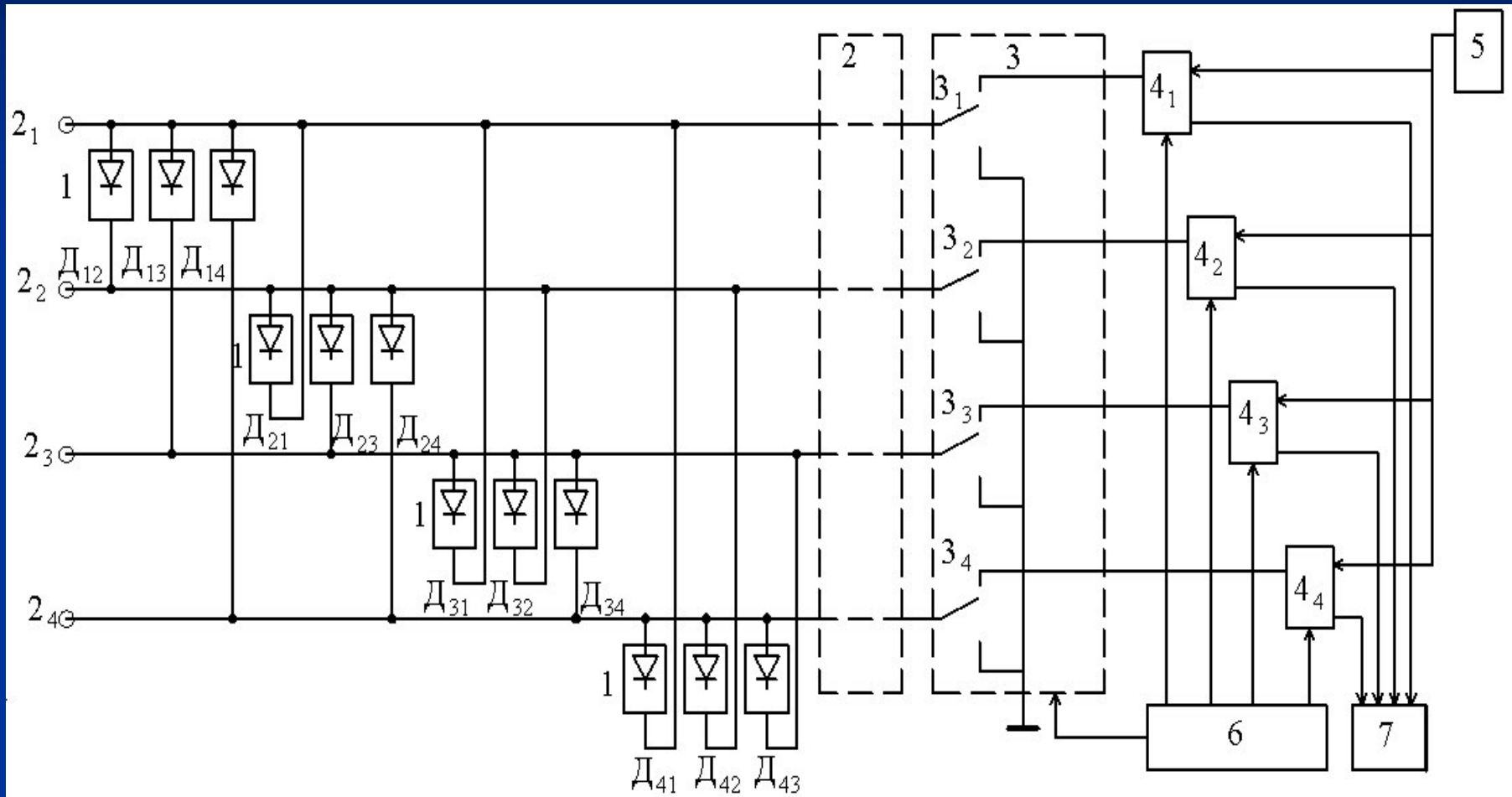
$$\bar{\rho} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{\rho_{0i}(\bar{\theta}_i, \bar{P})(\Delta P_{j1} + \Delta P_{j2}) - \rho_{0j}(\bar{\theta}_j, \bar{P})(\Delta P_{i1} + \Delta P_{i2})}{(\Delta P_{j1} + \Delta P_{j2}) - (\Delta P_{i1} + \Delta P_{i2})}$$


В четвертом варианте устройства для изменения температуры внутри трубки 7 (рисунок) установлен нагреватель–охладитель термоэлектрический 15, включение которого на нагрев или охлаждение осуществляется переменной направлением тока, а уровень нагрева или охлаждения задается силой тока генератором сигнала 16.

УПРОЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЭП



СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МАГИСТРАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ



A photograph of a stormy sea with a lighthouse on the right and a pier in the foreground. The sky is overcast and grey, and the water is turbulent with white foam. The lighthouse is a tall, dark structure with a lantern room on top. The pier is a concrete structure in the foreground, partially submerged in the water. The overall scene is dramatic and captures the power of nature.

**Спасибо
за внимание !**

oaomhi@inbox.ru