



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА
КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РАЗРАБОТКИ ИМКЭС СО РАН ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.А. Корольков, В.А. Крутиков, А.А. Тихомиров

tikhomirov@imces.ru

635055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

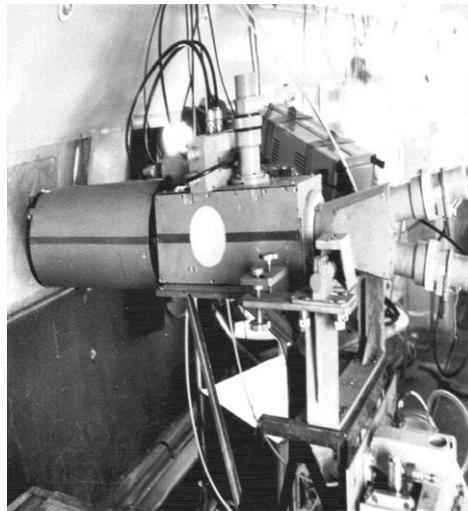
www.imces.ru

Томск-2018

МОБИЛЬНЫЕ ЛИДАРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



1974 г.
Опытный образец
лидара для
сопровождения
полигонных испытаний
специальных оптико-
электронных средств

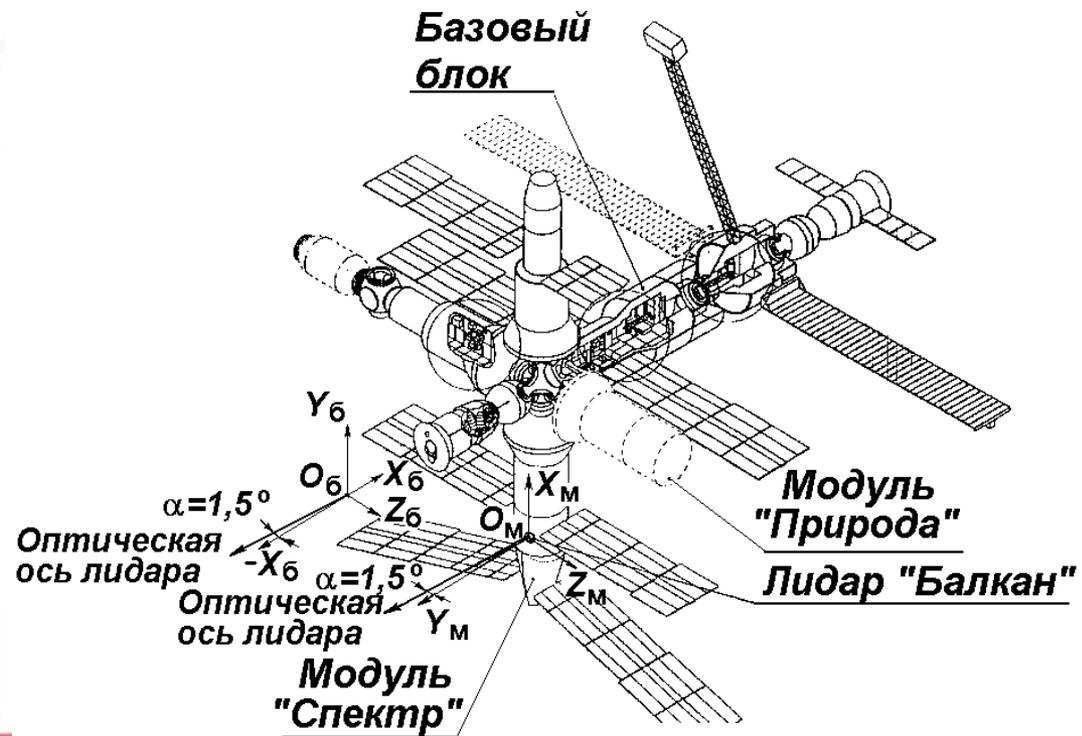


1974 г.
Экспериментальный
образец
самолетного
поляризационного
лидара «Светозар-
2» в салоне
самолета ИЛ-14



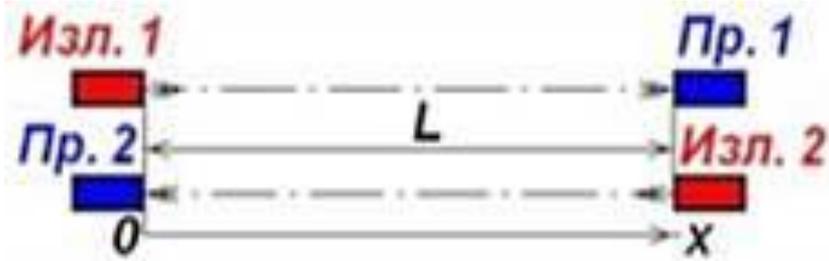
1975 г.
Двухчастотный аэрозольный
лидар ЛОЗА-2, разработан
комплект КД, выпущена серия
(3 образца)

ЛИДАР «БАЛКАН» НА БОРТУ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «МИР»



СКБ НП «ОПТИКА» СО АН
и ИОА СОАН
г.Томск

Метод ультразвуковой термоанемометрии



$$c = \sqrt{\frac{\chi R}{\mu} T_K}$$

$\chi = c_p/c_v$ – соотношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме;
 R – универсальная газовая постоянная;
 μ – молекулярный вес газа.

Для сухого воздуха при нормальных условиях
 $\chi = 1,402$, $\mu = 28,96$, $R = 8,315 \cdot 10^7$ эрг/град
 Учет зависимости от влажности воздуха:
 $c = 20,067 T^{1/2}$

где $T_e = T_K(1 + 0,3192 e/p_a)$ – виртуальная акустическая температура.

e/p_a – отношение упругости водяного пара к атмосферному давлению

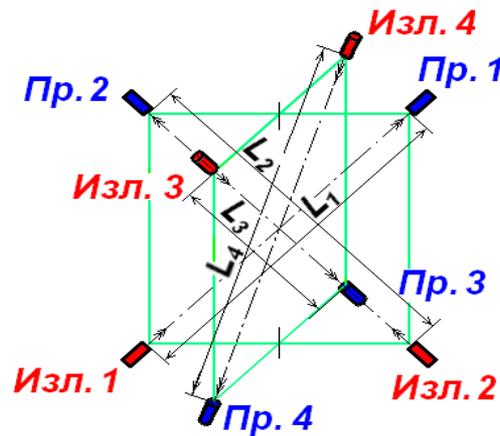
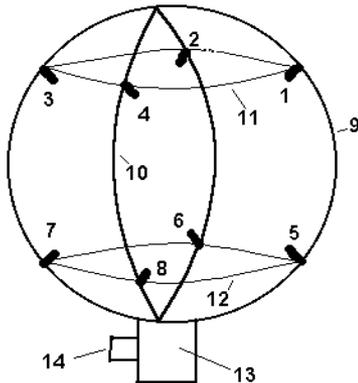
- $t_1 = L/(c + v_x)$
- $t_2 = L/(c - v_x)$
- $v_x = 0,5L(t_2 - t_1)/t_1 t_2$
- $c = 0,5L/(t_1 + t_2)/t_1 t_2$

$$C_T^2 = \langle [T'(t + \Delta t) - T'(t)]^2 \rangle / (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3}$$

$$C_V^2 = \langle [u'(t + \Delta t) - u'(t)]^2 \rangle / (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3}$$

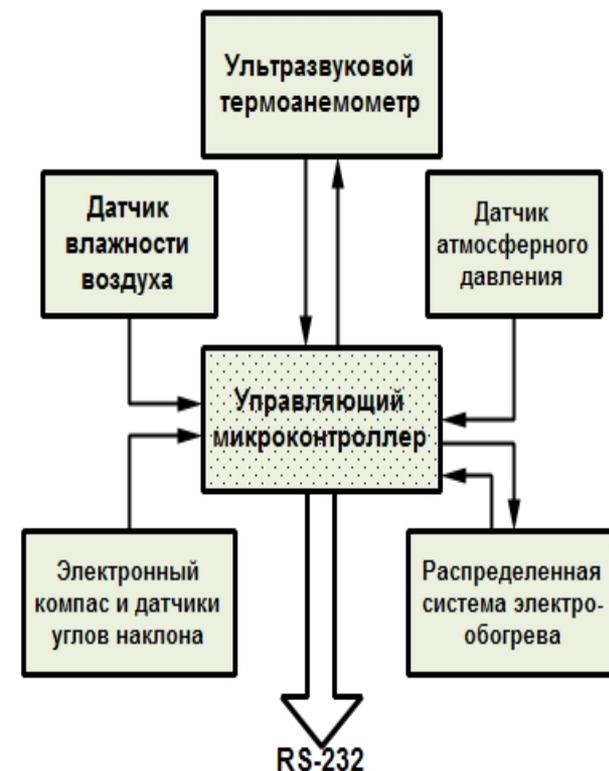
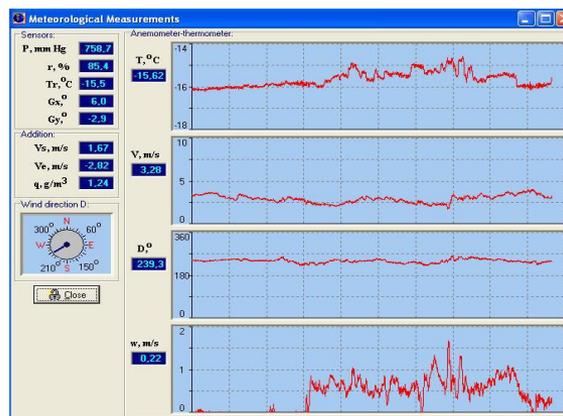
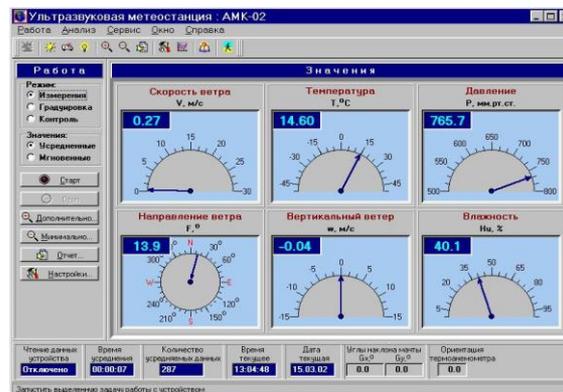
$$C_{na}^2 = C_T^2 / (2 \langle T_k \rangle)^2 + C_V^2 / \langle c \rangle^2$$

$$C_{no}^2 = \{ 8 \cdot 10^{-5} \langle P \rangle / \langle T_k \rangle^2 \}^2 C_T^2$$



Акустическая схема ультразвукового термоанемометра ДСВ-15 (бистатическая акустическая схема измерений)

Ультразвуковая автоматическая метеостанция АМК-03



**Конструкция схема
ультразвукового термоанемометра ДСВ-15.
Бистатическая акустическая схема измерений.**

$$L_1/t_1 = c + v_z \cos \alpha + v_x \sin \alpha \quad (7-1 - \text{канал №1});$$

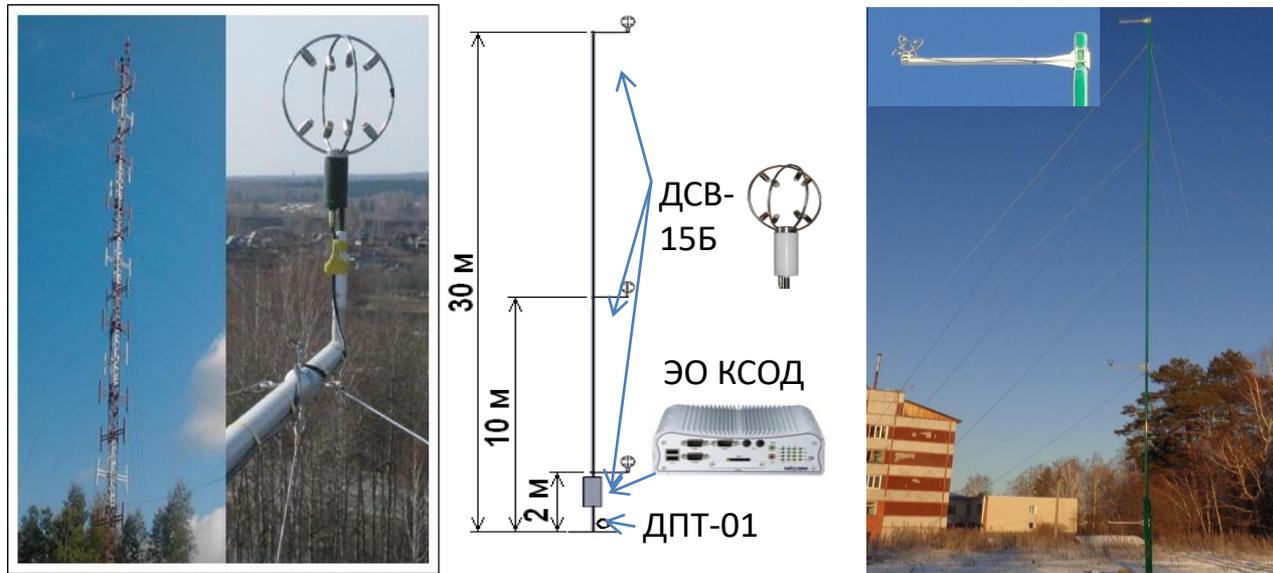
$$L_2/t_2 = c + v_z \cos \alpha - v_x \sin \alpha \quad (5-3 - \text{канал №2});$$

$$L_3/t_3 = c - v_z \cos \alpha + v_y \sin \alpha \quad (4-6 - \text{канал №3});$$

$$L_4/t_4 = c - v_z \cos \alpha - v_y \sin \alpha \quad (2-8 - \text{канал №4}).$$

Блок-схема ультразвукового термоанемометра с дополнительными датчиками влажности воздуха, атмосферного давления и пространственной ориентации.

Ультразвуковая автоматическая метеорологическая станция АМК-03



Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Скорость горизонтального ветра (V)	от 0,1 до 40 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
Скорость вертикального ветра (w)	от -15 до +15 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
Направление ветра (D)	от 0 до 360°	$\pm 2^\circ$
Температура воздуха (T)	от -50 до +50 °C	$\pm 0,3^\circ\text{C}$
Относительная влажность воздуха (r)	от 15 до 100 %	от $\pm 2,5\%$ до $\pm 5\%$
Атмосферное давление (P)	от 520 до 800 мм.рт.ст.	$\pm 0,8$ мм.рт.ст.

высокая чувствительность измерений метеопараметров (до 0,01 м/с по скорости ветра и до 0,01 градуса по температуре);

измерение вертикальной компоненты скорости ветра;

малая инерционность измерений (до 80 Гц);

отсутствие влияния радиационных помех от прямых солнечных лучей на измерение температуры воздуха;

высокая эксплуатационная надежность измерительной системы вследствие отсутствия механических вращающихся элементов в датчике скорости ветра;

малый вес и габариты измерительной системы и низкий уровень энергопотребления;

полная автоматизация процесса измерения и обработки метеоданных, предоставление результатов измерения метеопараметров в удобном для интерпретации графическом виде в реальном масштабе времени

$$\frac{u'(t+\Delta t) - u'(t)}{\Delta t} > (\langle V_{\text{мгн}} \rangle > \Delta t)^{-2/3}$$

Метеорологические и турбулентные параметры атмосферы, определяемые АМК-03

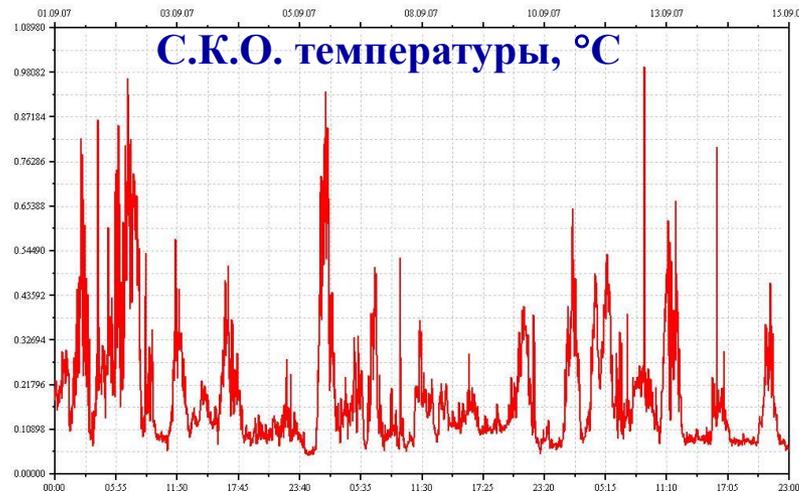
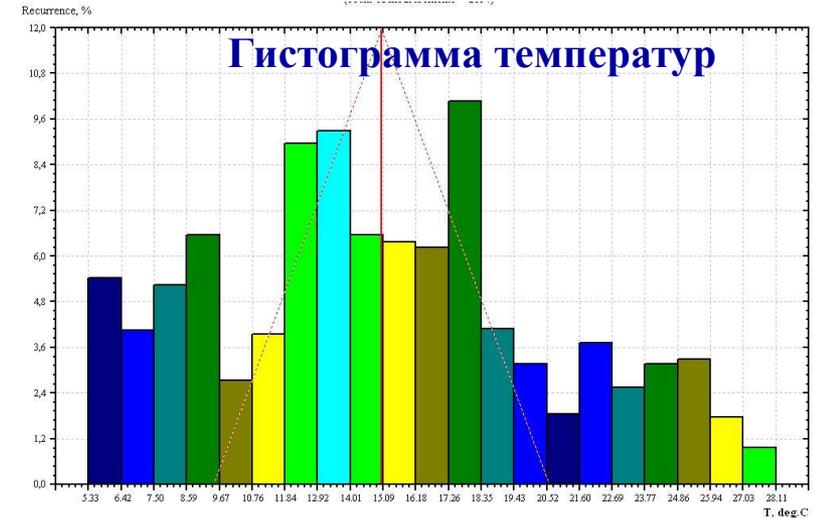
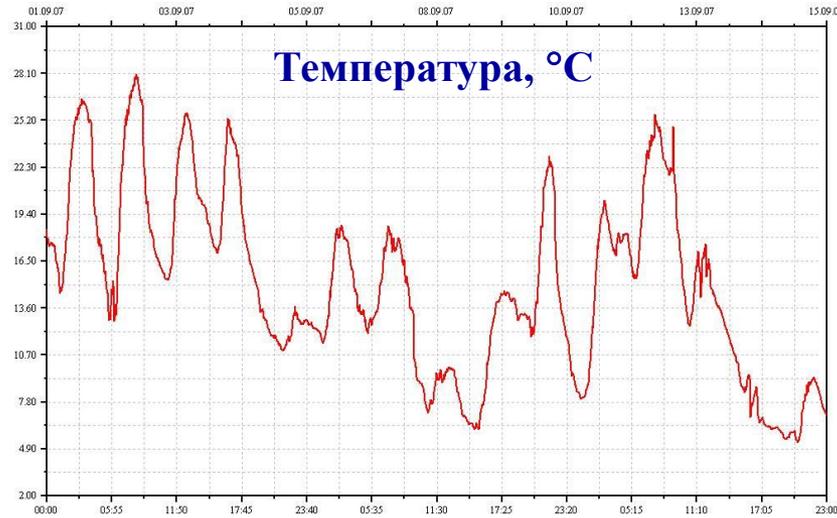
Метеорологические и дополнительные параметры атмосферы, вычисляемые из данных АМК-03

Параметры атмосферной турбулентности, вычисляемые из данных АМК-03

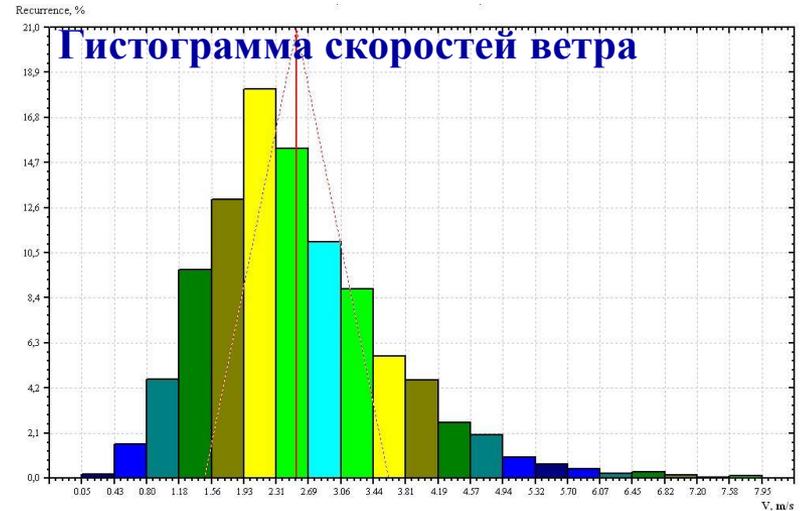
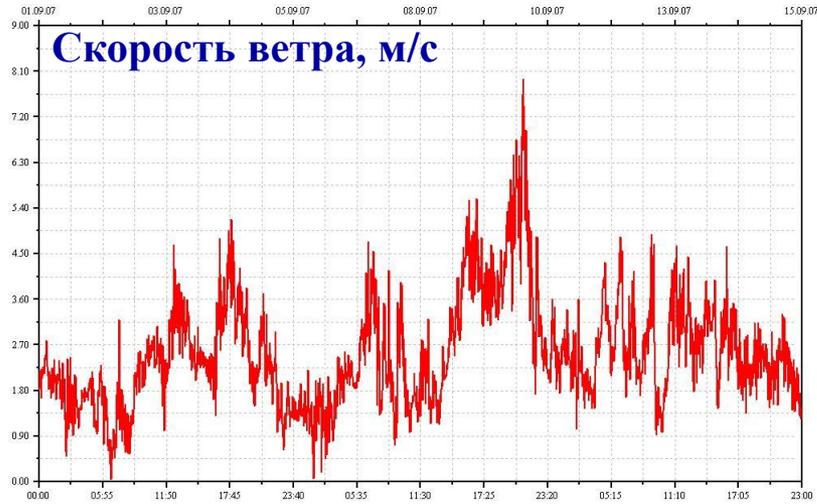
- 1) $V_{\text{мгн}}, V_{\text{ср.}}, V_{\text{min}}, V_{\text{max}}$ – скорость горизонтального ветра (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), м/с;
- 2) $V_{\text{мгн}}, V_{\text{ср.}}, V_{\text{min}}, V_{\text{max}}$ – скорость вертикального ветра (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), м/с;
- 3) α – угол наклона к горизонту среднего вектора скорости ветра, град.;
- 4) $T_{\text{мгн}}, T_{\text{ср.}}, T_{\text{min}}, T_{\text{max}}$ – температура воздуха (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), °С;
- 5) r – относительная влажность воздуха, %;
- 6) q – абсолютная влажность воздуха, г/м³;
- 7) T_d – температура точки росы, °С;
- 8) e – упругость (давление) водяного пара, гПа;
- 9) P – атмосферное давление, мм. рт. ст.;
- 10) ρ – плотность воздуха, г/м³;
- 11) $V_{\text{звука}}$ – скорость звука в воздухе, м/с

- 1) $C_{\text{но}}^2$ – структурная постоянная флуктуаций оптического показателя преломления
- 2) $C_{\text{на}}^2$ – структурная постоянная флуктуаций акустического показателя преломления
- 3) E_v – полная энергия турбулентных движений;
- 4) I_v – относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра
- 5) E_t – энергия температурных флуктуаций
- 6) U_p – момент потока импульса
- 7) E_q – момент потока тепла
- 8) H_p – вертикальный поток импульса
- 9) H_q – вертикальный поток тепла
- 10) L – масштаб Монина-Обухова
- 11) C_t^2 – структурная постоянная температурных флуктуаций
- 12) C_v^2 – структурная постоянная ветровых флуктуаций

Ультразвуковая автоматическая метеорологическая станция АМК-03



Ультразвуковая автоматическая метеорологическая станция АМК-03

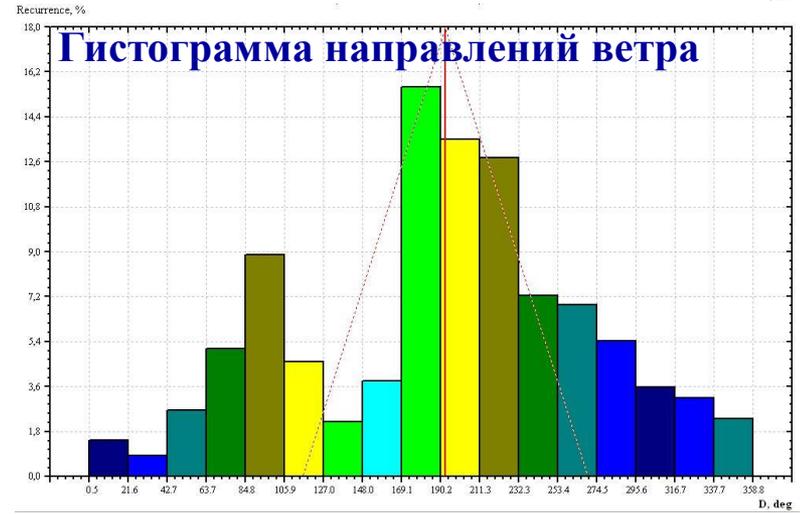


Values:

Wind direction	N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W
Minimum, m/s	0,69	0,51	0,99	0,07	0,36	0,05	0,57	0,19
Maximum, m/s	4,85	4,69	4,21	2,68	6,76	7,95	4,96	3,59
Mean, m/s	2,61	2,24	2,38	1,82	3,09	2,70	2,18	1,87

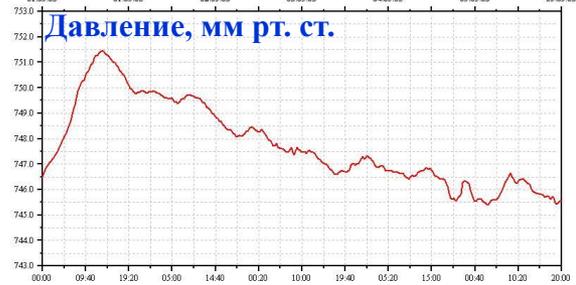
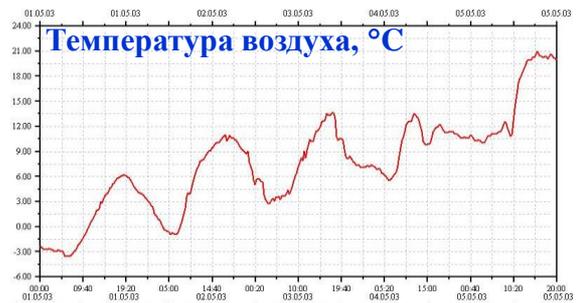
Values:

Wind direction	N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W
Recurrence, %	3,9	4,0	14,9	6,5	26,2	24,0	13,3	7,2

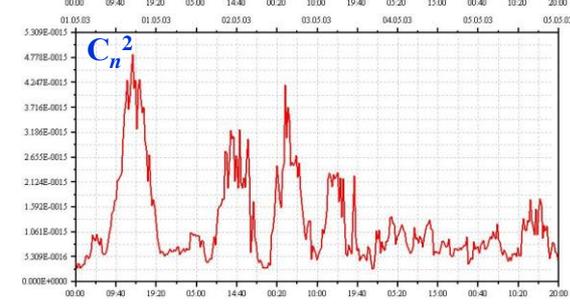
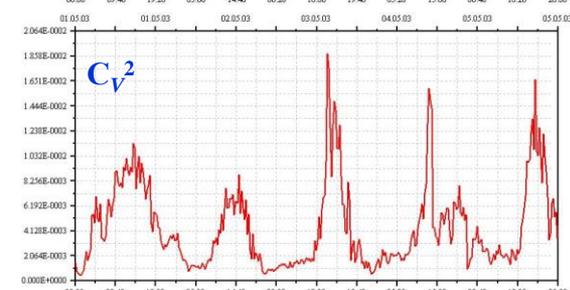
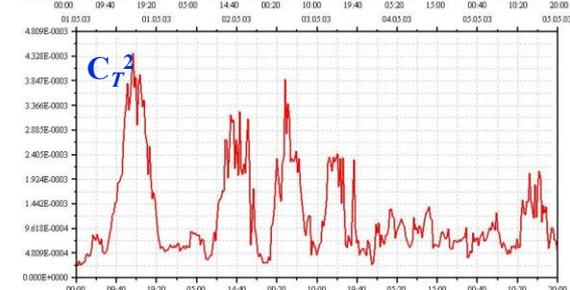
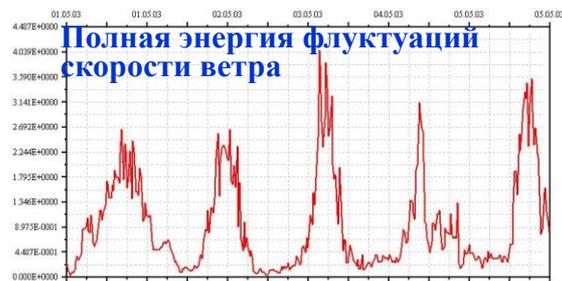


Ультразвуковая автоматическая метеорологическая станция АМК-03

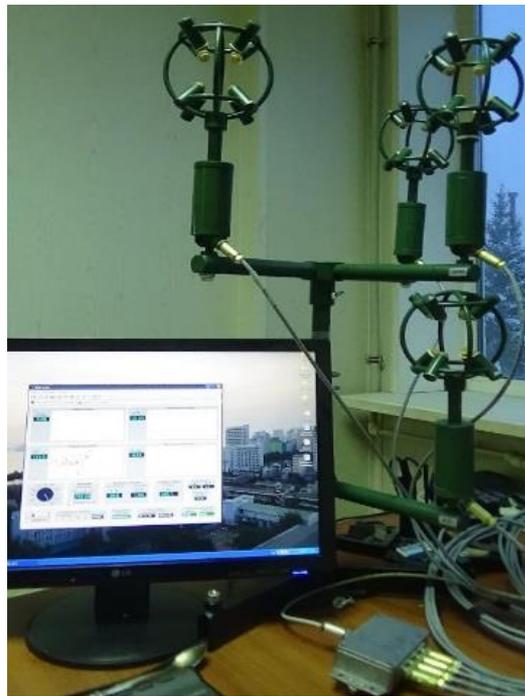
Средние значения



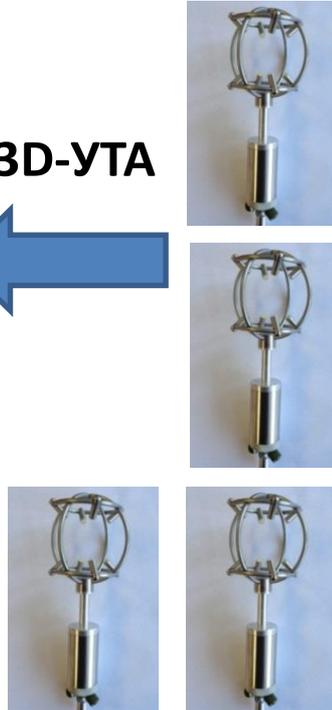
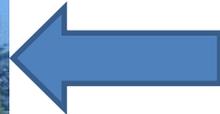
Вторые моменты



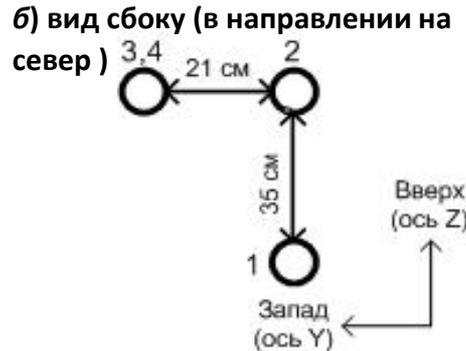
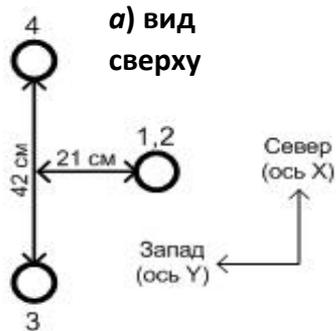
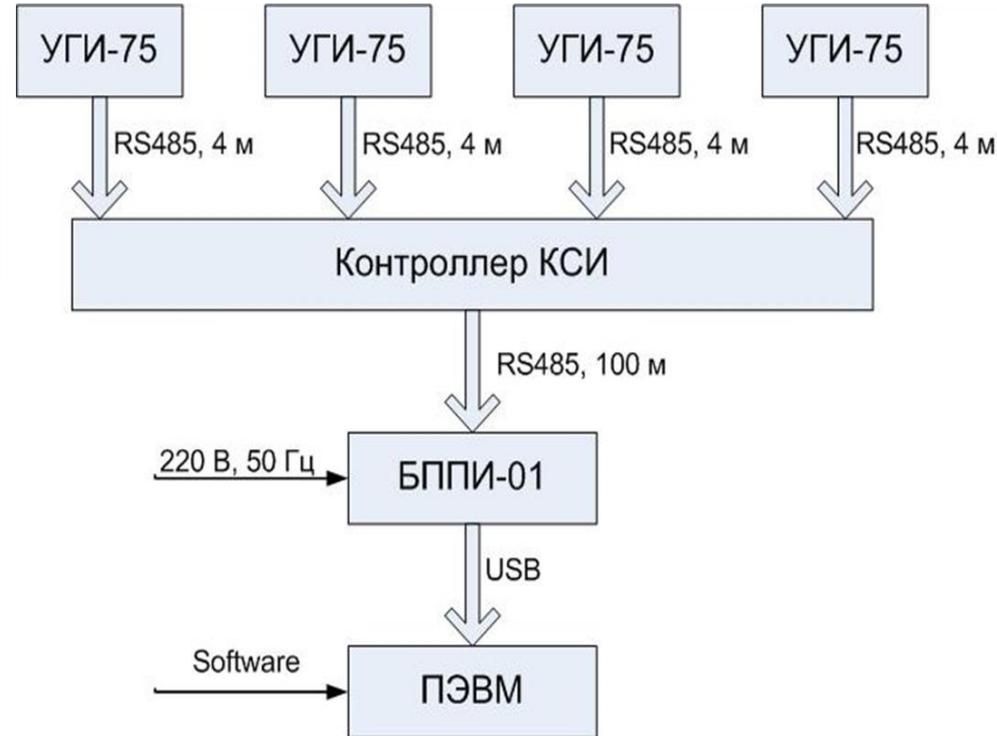
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АМК-03-4 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЕТРА



3D-УТА



Структурная схема комплекса АМК-03-4



Вычисляются 5 пространственных производных для всех 6-ти измеряемых метеопараметров: $\xi (T, V_x, V_y, V_z, P \text{ и } r)$

Схема пространственного размещения в комплексе АМК-03-4 ультразвуковых термоанемометров УГИ-75 с порядковыми номерами 1, 2, 3 и 4

УАМС АМК-03 для научных исследований (промышленное производство)

Переносной автономный метеокomплекс АМК-03П



Мобильный исследовательский метеокomплекс
ООО «Сибаналитприбор»



GPS-навигатор



Блок сбора и
накопления
информации



Датчик температуры
грунта



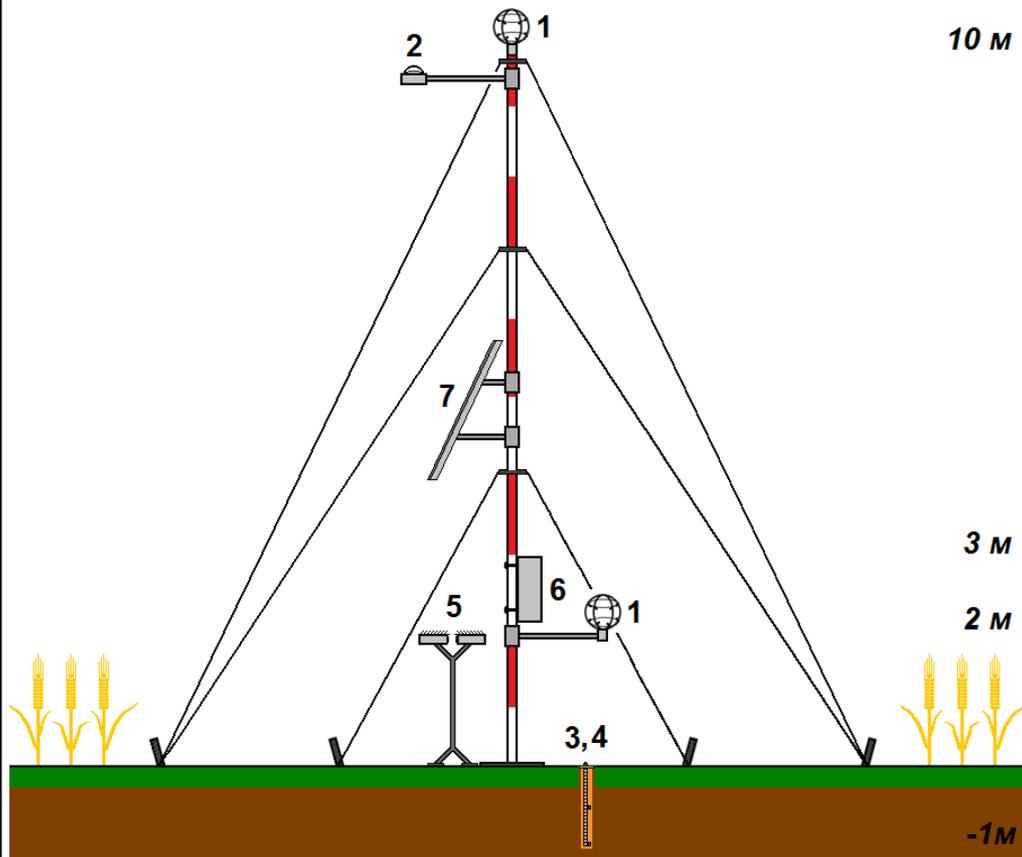
GPRS-контроллер



Мобильный исследовательский метеокomплекс ИМКЭС СО РАН

Типы агрометеорологических АМК

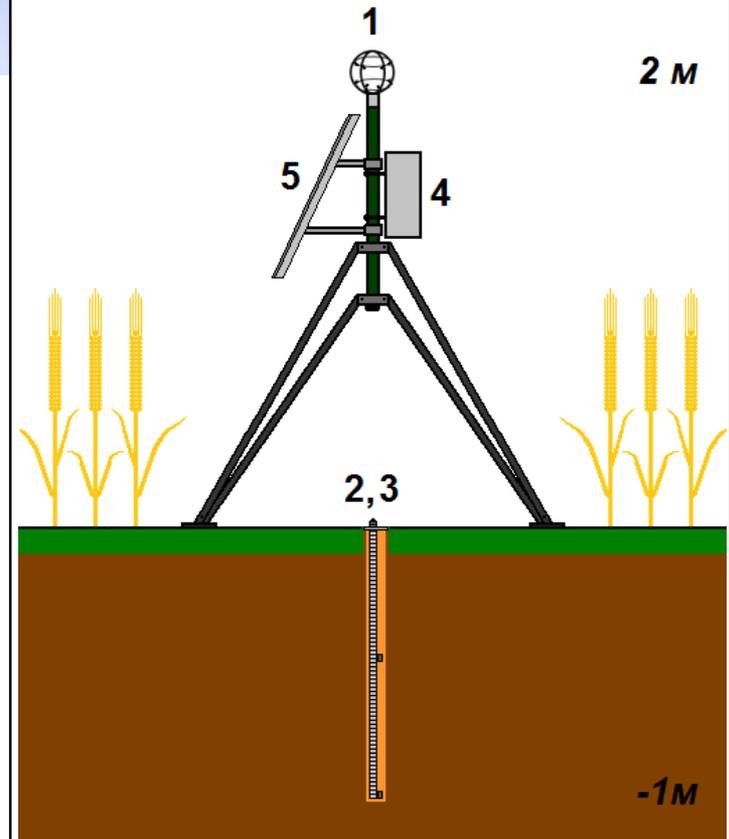
Автоматическая агрометеорологическая станция



На рисунке:

- 1 – ультразвуковые метеостанции АМК-03 (на 2 и 10 м);
- 2 – пиранометр;
- 3 – терморезисторная «линейка» (на 0-100 см);
- 4 – датчики влажности почвы (на 50 и 100 см);
- 5 – оптический осадкомер OPTIOS;
- 6 – контролер сбора данных;
- 7 – солнечная батарея.

Автоматический агрометеорологический пост



На рисунке:

- 1 – ультразвуковая метеостанция АМК-03;
- 2 – терморезисторная «линейка» (на 0-100 см);
- 3 – датчик влажности почвы (на 50 см);
- 4 – контролер сбора данных;
- 5 – солнечная батарея.

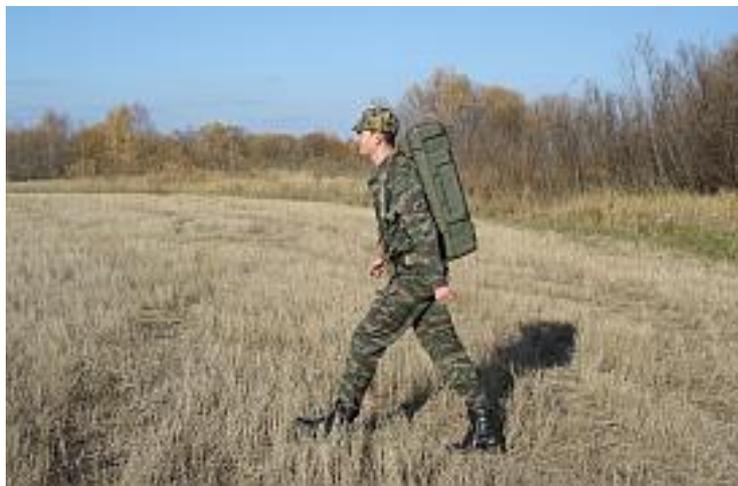
ПЕРЕНОСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТЕОКОМПЛЕКТ 1Б65



ПАМК 1Б65 в развернутом и походном положениях

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Скорость горизонтального ветра (V)	от 0,1 до 40 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
Скорость вертикального ветра (w)	от -15 до +15 м/с	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
Направление ветра (D)	от 0 до 360°	$\pm 2^\circ$
Температура воздуха (T)	от -50 до +50 °C	$\pm 0,3$ °C
Относительная влажность воздуха (r)	от 15 до 100 %	от $\pm 2,5$ % до ± 5 %
Атмосферное давление (P)	от 520 до 800 мм.рт.ст.	$\pm 0,8$ мм.рт.ст.

Укладка составных частей изделия 1Б65 в транспортном контейнере.
Габариты контейнера:
215×400×715 мм.
Масса изделия в контейнере – 18.8 кг.



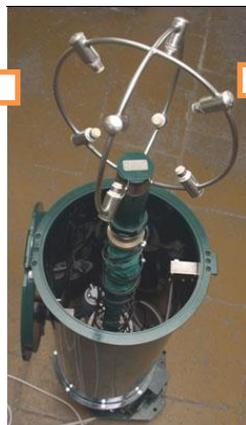
Бортовые метеокомплексы военного назначения



Бортовой метеокомплекс БМК-01 со звуковещательной установкой на шасси бронетранспортера

Бортовой метеокомплекс БМК-01 в составе звуковещательной аппаратуры (ГУВР МО, 2000 год)

Бортовой метеокомплекс 1Б65Б в составе аппаратуры машины управления артиллерийским огнем (ГРАУ МО РФ, 2008 год)



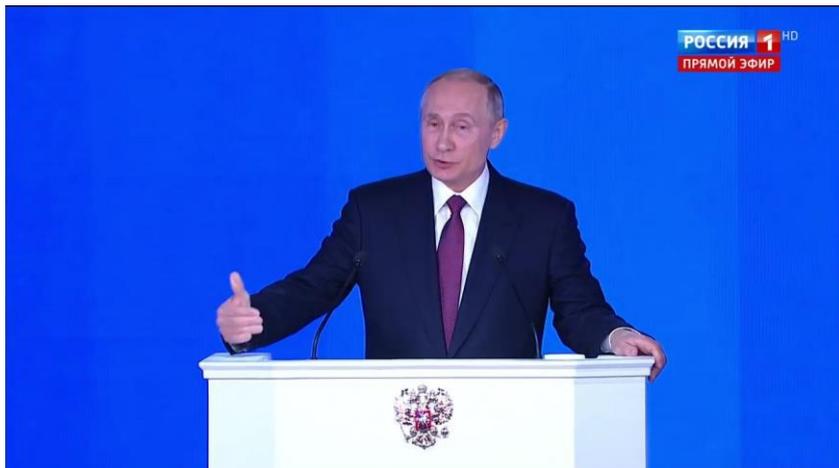
Бортовой метеокомплекс АМК-Б в составе аппаратуры машины РХМ-6 (РХБЗ МО РФ, 2014 год)



Воронеж-2016 Бортовой метеокомплекс 1Б65Б на машине управления артиллерийским огнем

Пульт управления и индикации ВИИ-Б

Бортовой автоматический метеокomплекс 1Б65Б в составе аппаратуры боевого лазерного комплекса «Пересвет»



«Наличие таких боевых комплексовкратно расширяет возможности России в сфере обеспечения своей безопасности»

В.В. Путин

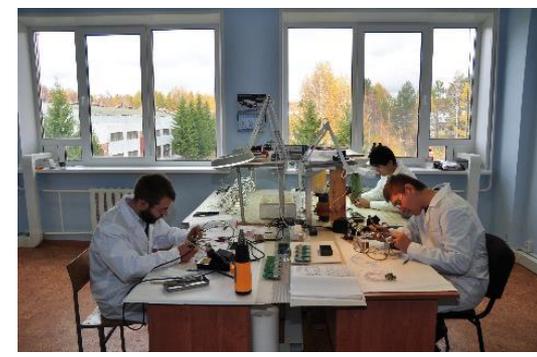
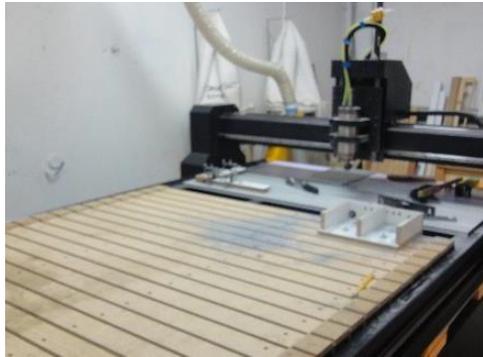
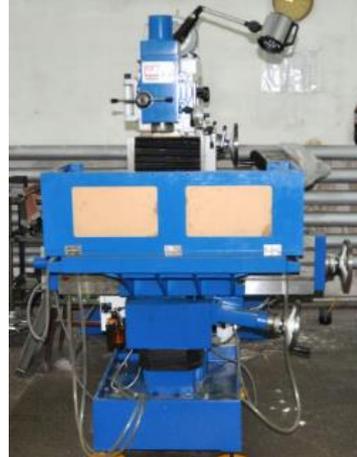
(Из послания президента Федеральному собранию 01.03.2018)



Бортовой метеокomплекс 1Б65Б



ООО «Сибаналитприбор»: серийное производство АМС АМК-03



Автоматические метеостанции на БПЛА



Автоматическая метеостанция на платформе гексокоптера

Дальность полета – до 5000 м.

высота подъема – до 2000 м

Измеряемые параметры: скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление, **видеоинформация**.



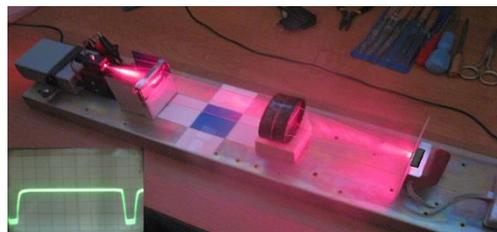
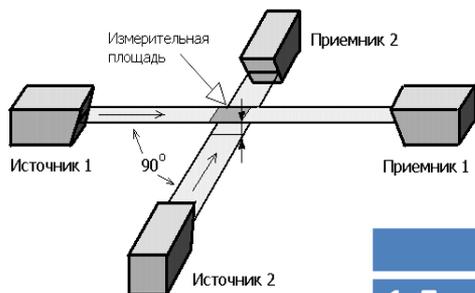
Автоматическая метеостанция на платформе привязного аэростата гибридного типа.

Высота подъема – до 1000 м, длительность измерений – до 5 суток.

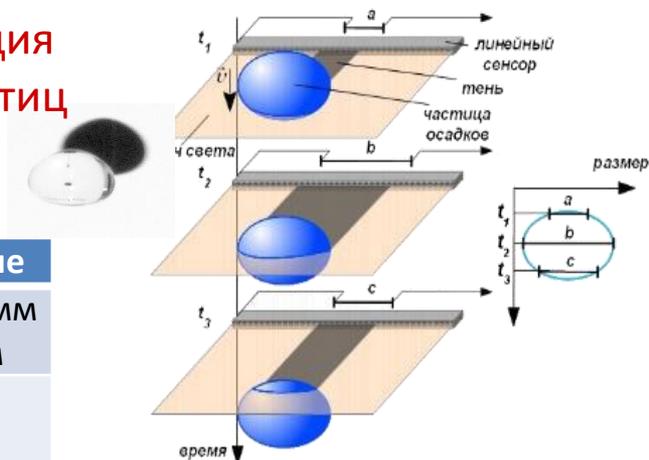
Измеряемые параметры: турбулентные характеристики АПС, скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление, **видеоинформация**.



Оптический измеритель осадков ОПТИОС



Регистрация теней частиц осадков



Характеристика	Значение
1. Диапазон размеров частиц осадков	от 0.3 мм до 10 мм
2. Погрешность измерения размеров частиц осадков	± 0.1 мм
3. Чувствительность по количеству выпавших осадков	не хуже 10^{-4} мм
4. Погрешность измерения количества осадков	не более $\pm 5\%$
5. Погрешность измерения скорости частиц осадков	не более $\pm 3\%$



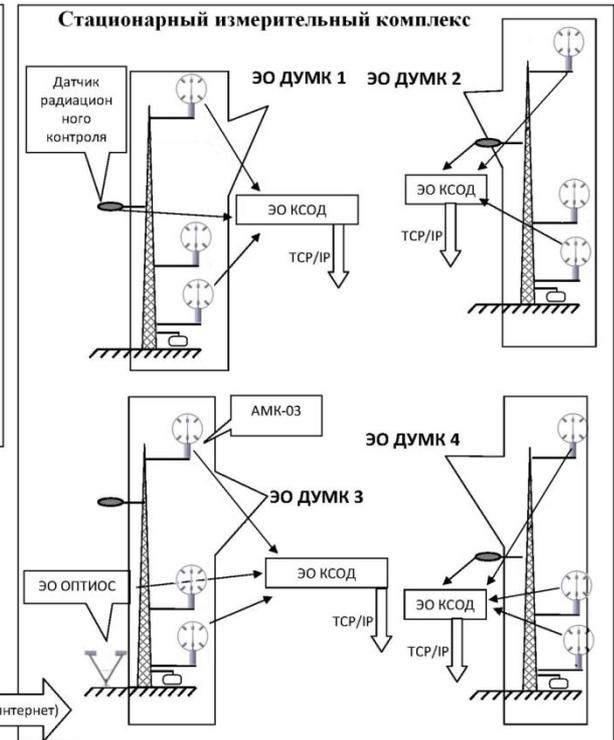
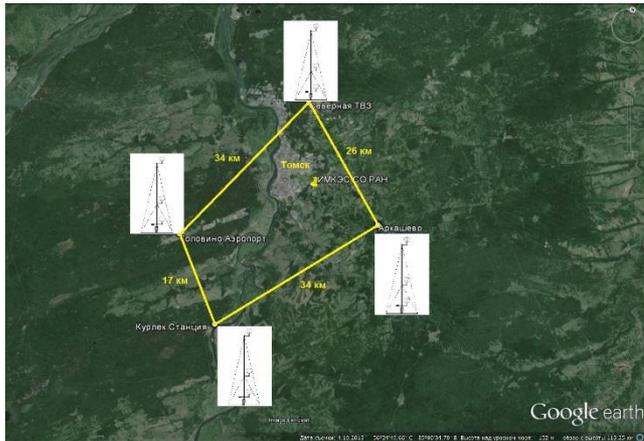
Работа основана на принципе получения и анализа теневых изображений отдельных капель дождя (града), пролетающих под действием силы тяжести через виртуальную измерительную площадку оптического канала устройства. Измерение размеров последовательных сечений мгновенных теневых изображений частиц осадков позволяет определить их микроструктурные и динамические характеристик – эквивалентный диаметр, объем, концентрацию и скорость падения а также вид атмосферных осадков, и вычислить значения их интегральных характеристик: количество осадков (мм), интенсивность осадков (мм/час).

Приборы для геофизического контроля окружающей среды и пеленгации грозовых разрядов



Многоканальный геофизический регистратор МГР-01

Автоматизированные системы для мезомасштабного экологического и метеорологического мониторинга

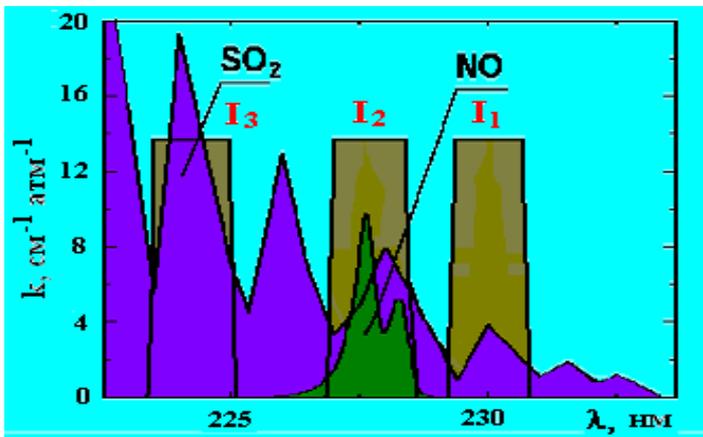


Назначение: исследование и практическая апробация новых методов и технологий метеорологического и экологического контроля АПС

Состав:

- 1) 4 стационарных измерительных комплекса трехуровневая УАМС (типа АМК-03) + оптический измеритель осадков ОПТИОС
- 2) мобильный измерительный комплекс: бортовой и переносной метеорологические комплексы (типа 1Б65Б и 1Б65), портативные автоматические метеостанции на платформе БПЛА для измерения вертикальных профилей метеорологических и турбулентных характеристик АПС, оптические многокомпонентные газоанализаторы

Оптические газоанализаторы для контроля состава атмосферного воздуха



Метод дифференциального поглощения оптического излучения в ближней области ультрафиолетового диапазона

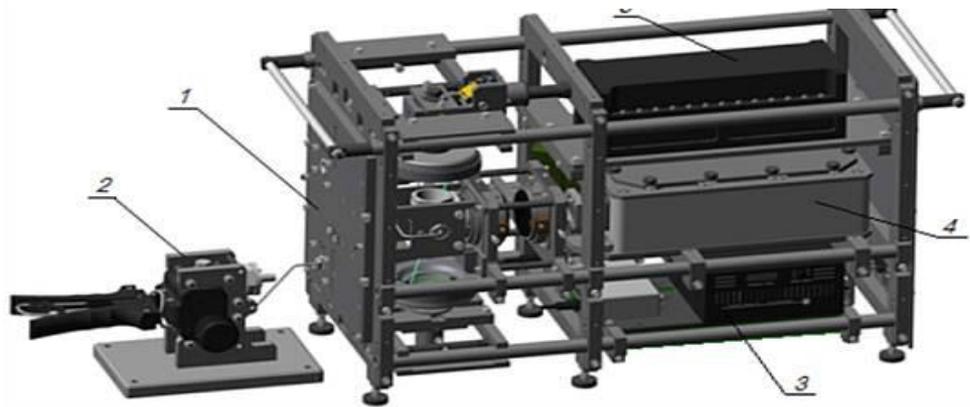
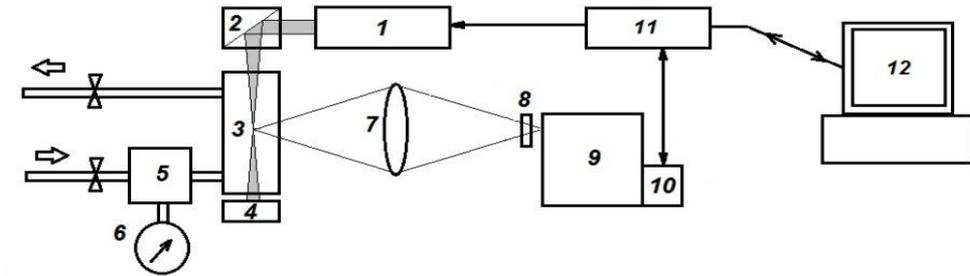
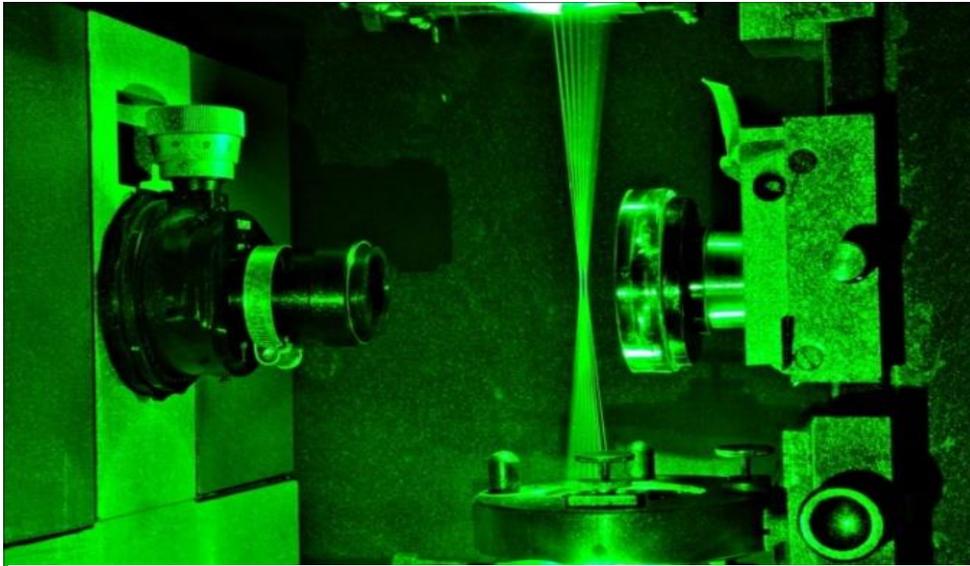


Двухкомпонентный оптический газоанализатор ДОГ-4

Таблица 4. Основные технические характеристики газоанализаторов

Наименование показателя	Значение	
	ДОГ-1М	ДОГ-4
1. Измеряемые газовые компоненты	NO	NO, SO ₂
2. Диапазон измерений, мг/м ³	0–1000	0–500
3. Масса, кг	25	20
4. Предел основной относительной погрешности	±10%	
5. Время измерения, не более	10 сек	
6. Время непрерывной работы, не менее	9000 час	

Многокомпонентный СКР-газоанализатор

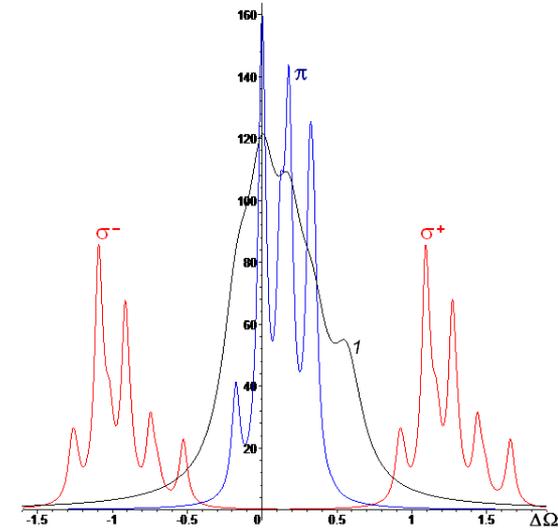
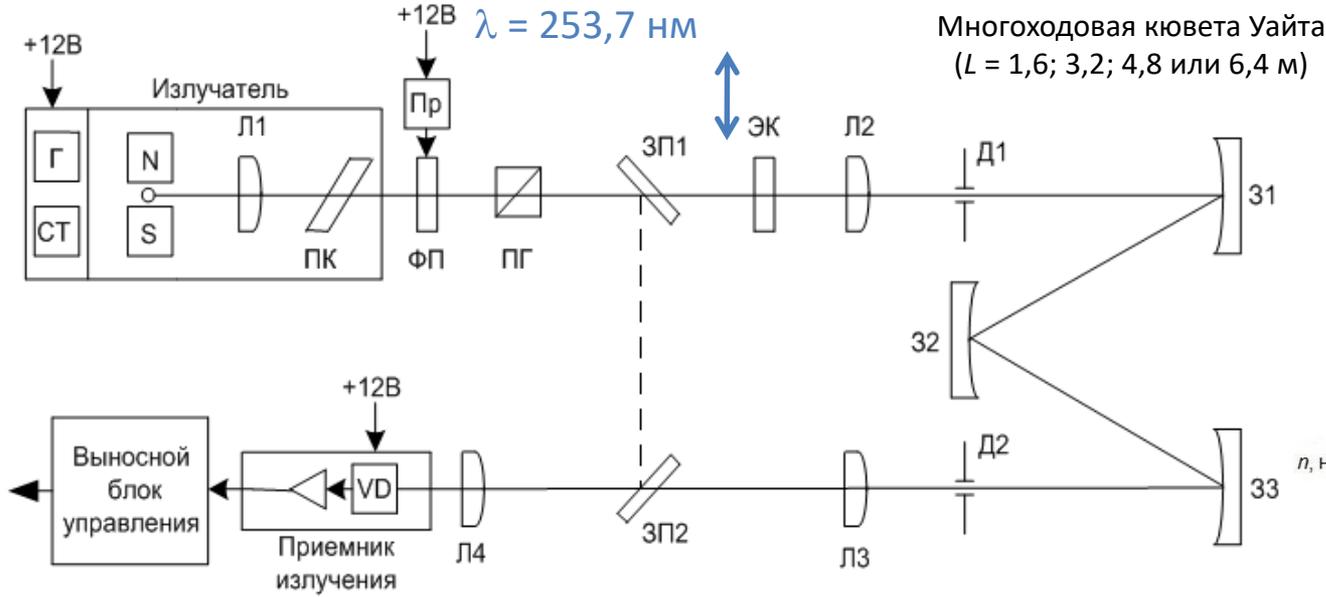


Компонент	ν (см ⁻¹)
Азот, N ₂	2331
Кислород, O ₂	1555
Водород, H ₂	4156
Оксид углерода, CO	2143
Пары воды, H ₂ O	3652
Углекислый газ, CO ₂	1388
	1285
Метан, CH ₄	2917
	1535
Оксид азота, NO	1877
Диоксид азота, NO ₂	1320
Метанол, CH ₃ OH	2846
Диоксид серы, SO ₂	1151
Аммиак, NH ₃	3334
Формальдегид, CH ₂ O	3121
Сероводород, H ₂ S	2611
Бензол, C ₆ H ₆	3070
Толуол, C ₆ H ₅ CH ₃	1003

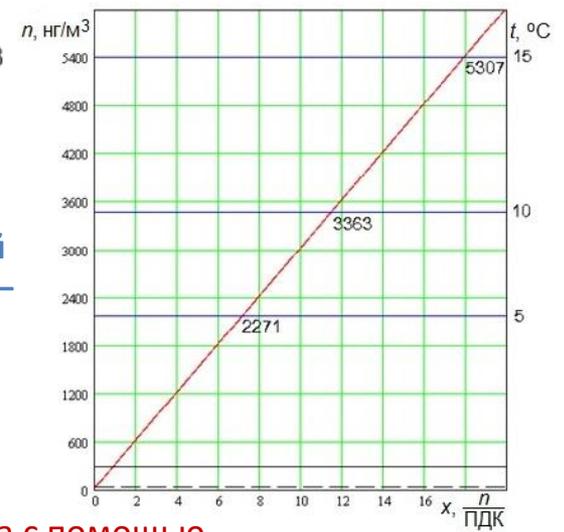
Концентрационная чувствительность – 0.1 – 1.0 ppm

Оптический анализатор паров ртути

Метод дифференциального поглощения с использованием поперечного эффекта Зеемана в источнике излучения – капиллярной лампе с естественным составом ртути



Спектр излучения ртутной лампы при поперечном эффекте Зеемана



Порог достигнутой чувствительности – 30 нг/м^3

Калибровка с помощью эталонной кюветы



Спасибо за внимание!