

УДК 551.508.54

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12511

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ВЕТРА В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

М.И. Ковчин

АО "НИИ телевидения", г. Санкт-Петербург, Россия

✉ akvastandard@mail.ru

В статье даны основные понятия о ветре и его характеристиках. Описаны методы и основные технические средства по измерению параметров ветра, в том числе и в морских условиях. Сделаны выводы по перспективным техническим средствам для эксплуатации в морских условиях.

Ключевые слова: метеорология, измерение ветра, метеорологические приборы, станции, комплексы

RESEARCH OF METHODS AND TECHNICAL MEANS OF OBTAINING INFORMATION ABOUT WIND PARAMETERS IN SEA CONDITIONS

Kovchin Mikhail

The Television Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia

The article presents the basic concepts of wind and its characteristics. The methods and the main technical tools for the measurement of wind parameters, including sea conditions were described. Conclusions are drawn on new and promising sensors for use in marine environments.

Keywords: meteorology, wind measurement, meteorological instruments, stations, complexes

Статья получена: 27.08.2020

Принята к публикации: 06.11.2020

Опубликована онлайн: 30.11.2020

1.1. Измерение скорости и направление ветра на стационарных объектах

Понятие ветра можно разделить на географическое и физическое. Географическая величина ветра - это горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Ветер как физическая величина характеризуется скоростью (силой) $V_M = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$ и на-

правлением $\alpha = \arctg \frac{V_1}{V_2}$. Измерение физической величины - это вектор, осредненный за некоторый интервал времени. Длительность интервала такова, чтобы сформировать интересующий нас параметр. Направление обозначается названием той части горизонта, откуда дует ветер, выражается в градусах или румбах, скорость v — в м/с, км/ч, уз, а сила — в баллах (по шкале силы ветра). В зави-

симости от изменения скорости (силы) и направления различают ветер: постоянный, меняющийся, ровный, порывистый, шквалистый.

Постоянный ветер - это ветер, направление которого за время наблюдений (2—10 мин) удерживалось в пределах 1 румба.

Меняющийся ветер - это ветер, направление которого за это время выходило за указанный предел.

Ровный ветер - это ветер, скорость которого за время наблюдений не отклонялась от среднего более чем на 2—4 м/с.

Порывистый ветер - это ветер, скорость которого за время наблюдений претерпевала колебания более 4 м/с.

Шквалистый ветер - это резко выраженный порывистый ветер с частыми и резкими колебаниями скорости (более

20 м/с) и направления (более 1 румба) [1].

За скорость ветра понимают давление потока воздуха, способное отодвинуть пластину на некоторый угол φ . Скорость ветра измеряют в метрах в секунду, в узлах, в километрах в час. За направление ветра принято принимать некоторый угол b , показанный на рис.1 (а), который отсчитывается от географического севера до угла поворота флюгера. Угол отсчитывается в градусах.

Наибольший вклад по разработке методик измерения, обработке измеренных данных о параметрах ветра внесли следующие ученые: Айзенштат Е.А., Попов С.Г., Сабинин Г.Х., Patterson F.R., Schrenk, Персин С.М.

Основные положения по измерению скорости и направления ветра, сформулированные учеными, касались применительно к стационарным объектам, а измерение параметров ветра в корабельных условиях не рассматривалось в должном объеме. Поэтому автор в данной статье рассматривает измерение параметров ветра в морских условиях, современными техническими средствами отечественного и импортного производства.

1.2. Методы и технические средства измерения скорости и направления ветра.

1.2.1. Методы измерения скорости и направления ветра

При описании методов измерения скорости и направления ветра автору представляется необходимым произве-

сти классификацию методов измерения. Первым уровнем классификации является характер получаемой информации об осреднении ветра. Измерение в точке или получение профиля распределения ветра.

К аэродинамическим средствам относятся технические средства, где измерение параметров ветра происходит при непосредственном контакте между воздушным потоком и первичным преобразователем устройства, например, через флюгер или крыльчатку. Такие средства используются в ВМФ, и с их помощью производятся измерения скорости и направления ветра, это: анеморумбометр М63, анеморумбометр М-47, анеморумбометр-63М-1, анеморумбограф М-63 МР двухкомпонентный датчик скорости и направления ветра ИПВ-92. Данные датчики показаны на рисунках 2 и 3 соответственно.

Принцип действия этих средств следующий: набегающий воздушный поток приводит в действие лопасти вертушки, ориентируя ее по потоку; первичный преобразователь скорости и направления воздушного потока (вертушка) преобразует энергию ветра в механическое вращение для передачи её на вторичные преобразователи механической энергии в электрические сигналы. В общем виде уравнение движения анемометра в стационарном горизонтальном воздушном потоке может быть записано в виде:

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + M_a(\varphi) + M_F = 0$$

где φ - угол поворота подвижной ча-

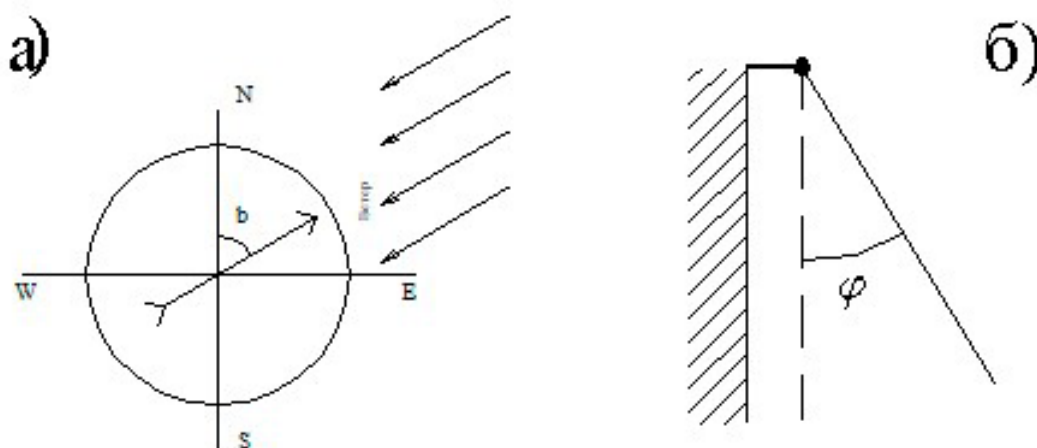


Рисунок 1 – Скорость (а) и направление (б) ветра.

сти анемометра; t -время; I -момент инерции подвижной части; $M_a(\varphi)$ -момент аэродинамических сил, действующих на приемную часть анемометра; M_F -момент сил трения.

Контактные методы можно, в свою очередь, разделить на несколько типов. Совмещенные датчики — это устройства, где датчики скорости и направления ветра объединены в единый конструкторский блок, отдельные — это устройства, где датчики скорости и направления ветра выделены в отдельный блок, и двухкомпонентные.

Двухкомпонентный датчик скорости и



Рисунок 2 – Датчик ветра двухкомпонентный ИПВ-92.

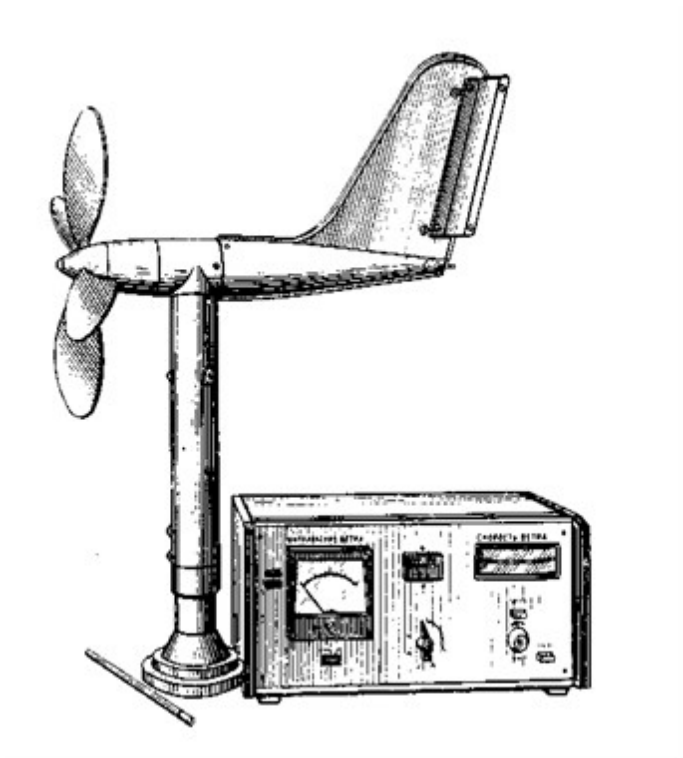


Рисунок 3 – Датчик ветра анеморумбометр М63М-1.

направления ветра измеряет две составляющие ветра. Вычислительное устройство по двум составляющим строит вектор ветра, и отсюда мы определяем его скорость и направление (угол b) (см. рисунок 4).

Контактные средства для измерения скорости и направления ветра используются прежде всего для измерения ветрового поля в точке. Бесконтактные средства могут быть использованы также для получения распределения ветрового поля в пространстве. К бесконтактным средствам относятся акустические датчики ветра, а также аэрологические, аэростатные средства, позволяющие измерять скорость и направление ветра, распределенные по высотам и по времени.

Принцип измерения акустических датчиков ветра основан на вычислении разницы времени, которое необходимо импульсу звука, чтобы пройти от одного излучателя к другому. Измерения производятся в двух направлениях одновременно, при этом скорость ветра между двумя приемо-передатчиками вычисляется по следующей формуле:

$$V_w = 0.5L\left(\frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r}\right)$$

где V_w - скорость ветра;
 L - расстояние между излучателями;
 t_f - разница времени при переходе импульса звука от одного излучателя к другому;
 t_r - разница времени при обратном переходе импульса звука от одного излучателя к другому.

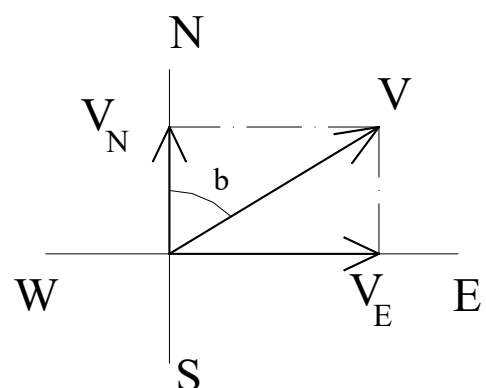


Рисунок 4 – Построение полного вектора скорости и направления ветра.

Таким образом определяется одна из проекций полного вектора скорости и направления ветра. Измерения производятся не менее шести раз, прежде чем вычисляется скорость ветра для одной пары излучателей, и далее вычисляется суммарный вектор скорости и направления ветра.

Дистанционные методы измерения скорости ветра можно разделить на оптические, радиолокационные, акустические и аэростатные. Оптические методы в свою очередь можно разделить на доплеровские и корреляционные. Сущность корреляционных методов заключается в том, что, проходя через освещенный лазерным пучком рассеивающийся объем, увлекаемые ветром аэрозольные неоднородности вызывают флуктуации величины эхо-сигнала, корреляционный анализ которых позволяет извлечь информацию о характеристиках ветра. Доплеровский метод основан на измерении частоты регистрируемых колебаний при движении источника или приемника волн, в данном случае используется эффект изменения частоты лазерного излучения при его рассеивании оптическими неоднородностями движущегося потока. Зондирование атмосферы основано на явлении рассеяния акустических колебаний на неоднородностях показателей преломления, обусловленных спектральными компонентами неоднородностей скорости ветра и температуры с волновыми числами $k=2R \cdot \sin\theta/2$ (θ - угол рассеяния, $R=2\pi/\lambda$, λ - длина волны). Вектор-

ная диаграмма излучения и приема для доплеровского бистатического локатора показана на рис. 5. Доплеровское смещение частоты излучения Δf_d , вызванное перемещением рассеивающего объема под воздействием ветра и регистрируемое приемной системой, имеет вид:

$$\Delta f_d = \frac{1}{2\pi} (K_r - K_0) V$$

где K_r , и K_0 – волновые векторы падающего и отраженного излучений соответственно;

K_{r0} – разностный вектор, V – вектор скорости перемещения рассеивающего объема.

Модули волновых векторов равны:

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad K_r = \frac{2\pi}{\lambda_r}$$

где λ_0, λ_r - длина волны падающего и отраженного излучений соответственно.

Модуль K_{r0} определяется по правилу решения плоских треугольников:

$$K_{r0}^2 = (K_0 + K_r)^2 - 4K_0K_r \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

где θ - угол между K_r , и K_0 .

Для акустических метеорологических систем $V \ll c$ и $K_r \cong K_0$. Тогда:

$$K_{r0} = 2K_0 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

учитывая полученные выражения для волновых векторов, доплеровский сдвиг частоты можно записать в виде:

$$\Delta f_d \approx \frac{2V}{\lambda_0} \cos \beta \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

где β - угол между векторами V и K_{r0} ,
Отсюда:

$$V = \frac{\Delta f_d \cdot \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos \beta}$$

Одноканальная система позволяет определить только проекцию V на K_{r0} ;

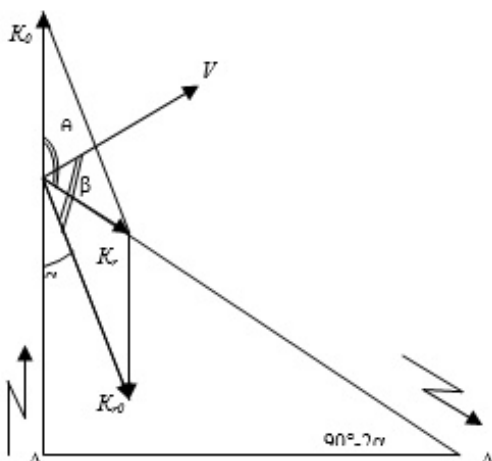


Рисунок 5 – Векторная диаграмма доплеровского локатора.

$$V_{\text{д}} = \frac{\Delta f_{\text{д}} \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Для определения вектора скорости ветра необходимо знать три проекции вектора скорости ветра на три некопланарных направления. Для измерения вектора скорости ветра в некоторой точке можно свести три луча лидара в этой точке и измерить лучевые скорости, но для этого, как правило, нужно три лидара, либо можно из одной точки провести измерения лучевой скорости в трех недалеко отстоящих друг от друга точках, где вектор скорости ветра одинаков. Возможно, когда три некопланарных луча одновременно от одного лидара производят зондирование, либо, когда один луч с помощью сканера направляется по различным направлениям. При этом измеритель определяет усредненную по окрестности точки измерения проекцию вектора скорости ветра на направление луча. Очевидно, что с изменением расстояния от измерителя до точки измерения вектора скорости ветра измеряются. Следовательно, используя трехканальную систему и определяя проекцию вектора

$$V_{\text{д}} = \frac{\Delta f_{\text{д}} \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

по всем трем осям, можно рассчитать полный вектор скорости перемещения рассеивающего объема и, как следствие, определить скорость и направление ветра.

Аэрологические системы представляют собой измерительные зонды, запускаемые по определенным срокам. Зонды производят измерения температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, по этим данным рассчитывается высота полета зонда, а по перемещению определяется профиль ветра. Аэростатное зондирование основано на установке измерительных блоков на заданную высоту. Производя на заданных высотах основные метеорологические измерения и передавая данные в единый блок

управления, тем самым можно получить пространственную картину распределения ветрового поля.

1.2.2. Технические средства для измерения скорости и направления ветра

Рассмотрим применяемые на сегодняшний день датчики скорости и направления ветра, их характеристики и принцип обработки измеренных данных о скорости и направлении ветра. Анеморумбометр М-63 и его модификации производят измерения скорости и направления ветра. Датчики скорости и направления ветра представляют собой единый блок чувствительных элементов, состоящий из четырехлопастного винта и флюгарки, выполненной в виде самолетного фюзеляжа с двумя дополнительными щитками по бокам. Винт и флюгарка с помощью тройника соединены с наружной вертикальной трубой. Внутри флюгарки, тройника и трубы помещены элементы кинематики датчика и импульсаторы. Внешний вид анеморумбометра показан на рисунке 3, структурная схема - на рисунке 6. От датчика ветра импульсы поступают в измерительный пульт, в котором размещаются оконечные преобразователи и указатели параметров ветра. Средняя скорость ветра определяется как результат счета числа импульсов за 10-минутный интервал времени, которые через масштабный делитель частоты (МДЧ) подаются на счетчик (Сч). Время измерения (10 мин) задается часовым механизмом (ЧМ). Текущая (мгновенная) скорость определяется по значению тока на выходе частотомера, пропорциональному частоте, выработанной трансформатором.

Для обеспечения категоризованных аэродромов выпускается модифицированный вариант прибора М-63М-1 с осреднением скорости ветра за 2 мин, укомплектованный двумя измерительными пультами. Считываемых датчиком (ОС и СС) импульсов. Преобразование частоты в ток производится частотомером, на выходе которого включен миллиамперметр Р1. Максимальная скорость запоминается механическим устройством, фиксирующим наибольшее от-

клонение стрелки указателя скорости за период измерения. Направление ветра определяется по среднему значению тока, пропорциональному величине фазового сдвига между импульсами опорной и основной или опорной и сдвинутой серий. Импульсы ОП и ОС или ОП и СС поступают через переключатель серии ПС, управляемый контактами К1 и К2, на триггер Тг, формирующий на выходе перепады напряжения, угловая длительность которых равна направлению ветра. Указанные перепады сглаживаются фильтром Ф, на выходе которого включен микроамперметр Р2 (указатель направления ветра) [4].

Измеритель параметров ветра ИПВ-92М. ОАО «Гидрометприбор» разработал и серийно освоил измеритель параметров ветра ИПВ-92М. Прибор поставляется Военно-морскому флоту, а также другим потребителям как внутри страны, так и за ее пределами.

Датчик ИПВ-92 имеет встроенный процессор, мнемонический и цифровой индикатор. ИПВ-92М измеряет текущие, средние и максимальные значения параметров ветра в режиме скользящего осреднения со сменой показаний каждые 5 секунд. Есть возможность выбора нужного интервала осреднения за 2 или 10 минут с помощью переключения тумблера. Для измерения истинных текущих и средних параметров есть в наличии клавиатура, позволяющая вводить курсовой угол и скорость объекта, а также выбирать нужный режим индицирования.

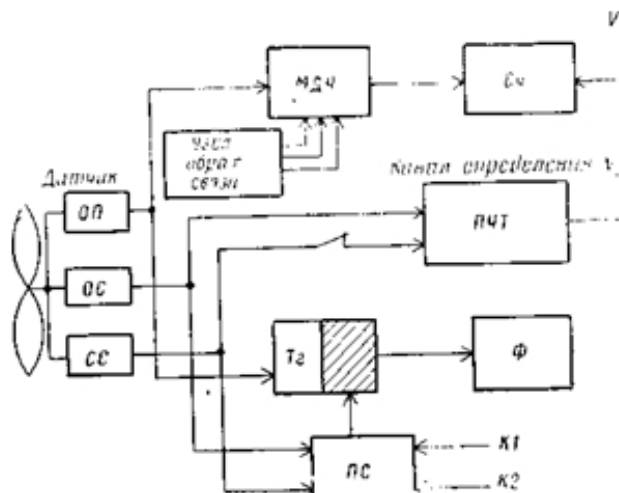


Рисунок 6 – Структурная схема анеморумбометра М-63.

Прибор предоставляет возможность автоматического ввода курса и скорости объекта через интерфейс ИРПС.

Предусмотрена возможность вывода измеряемой информации в аналоговом виде для регистрации на самописце и в цифровом виде через интерфейс ИРПС. Конструкция ИПВ-92М допускает различные варианты размещения: настольный, настенный и щитовой. Внешний вид прибора показан на рисунке 7.

На сегодняшний день серийно выпускаются и есть опыт эксплуатации в России следующих акустических датчиков ветра: WMT700, WXT530 производства финской компании VAISALA.

Датчик WMT700 имеет три звуковых приемо-передатчика расположенных в горизонтальной плоскости. Датчик измеряет разницу времени, которое необходимо импульсу звука, чтобы пройти от одного излучателя к другому. Измерения производятся в двух направлениях одновременно.

Скорость ветра между двумя приемо-передатчиками вычисляется по следующим формулам:

$$V_w = 0.5L \left(\frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r} \right)$$

где V_w - скорость ветра; L – расстояние между излучателями;
 t_f - разница времени при переходе импульса звука от одного излучателя к другому;
 t_r - разница времени при обратном



Рисунок 7 – Измеритель параметров ветра ИПВ – 92М.

переходе импульса звука от одного излучателя к другому.

Таким образом, получается одна из проекций полного вектора скорости и направления ветра. Где L_a, L_b, L_c - расстояния между двумя преобразователями датчика, А1-А6. Траектории измерений 1...6 датчика ветра WMT700:

$$V_a = L_a \left(\frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right) \quad V_b = L_b \left(\frac{1}{A_3} - \frac{1}{A_4} \right)$$

$$V_c = L_c \left(\frac{1}{A_5} - \frac{1}{A_6} \right)$$

Уравнение зависит от точной длины траектории измерения (L). Вычисленные скорости ветра не зависят от высоты над уровнем моря, температуры и влажности. Значение этих факторов устраняется путем измерения времени прохождения ультразвука в обоих направлениях, хотя время прохождения ультразвука в одном направлении зависит от них. Измерения производятся шесть раз, прежде чем вычисляется скорость ветра для одной пары излучателей и аналогично для других, таким образом, вычисляется суммарный вектор скорости и направления ветра.

Аэрологическая система DigiCora представлена на рис 8. Система автоматического аэрологического зондирования атмосферы представляет собой измерительный модуль (контейнер), в со-

став системы входят:

- Радиозонды;
- Радиолокационная антенна;
- Система глобального позиционирования GPS;
- Блок обработки;
- Система контроля земной поверхности;
- Автоматическая система записи и обработки данных с радиозондов.

Система производит подготовку, запуск, получение, обработку измеренных данных в автоматическом режиме. Программное обеспечение, поставляемое с системой, позволяет получать профили скорости и направления ветра, температуры, относительной влажности, атмосферного давления по высотам. Профили представляются в удобном графическом виде (см. рисунок 9). С помощью этой системы возможно определять скорость ветра с погрешностью 0.5 м/с. Профиль ветра определяется по следующим формулам:

$$V = \frac{\sqrt{L_i^2 - L_{i+1}^2}}{t_{i+1} - t_i}$$

где L_i расстояние пройденное шар зондом за время t_i , L_{i+1} расстояние пройденное шар зондом за время t_{i+1} [8].

Одно из новейших систем аэрологического зондирования атмосферы

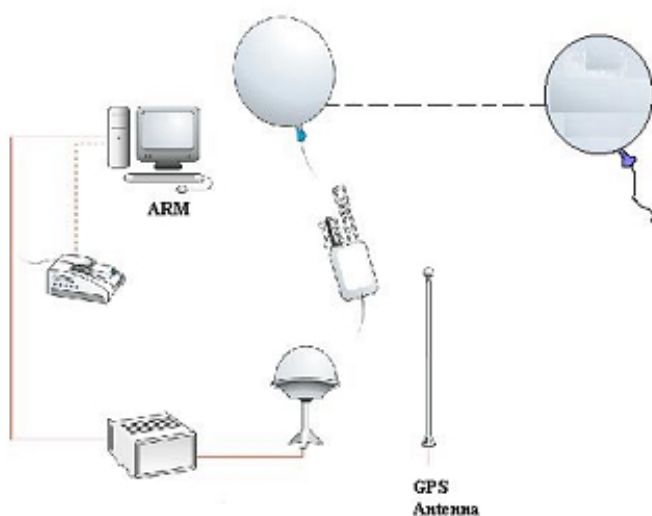


Рисунок 8 – Аэрологический комплекс DigiCora.

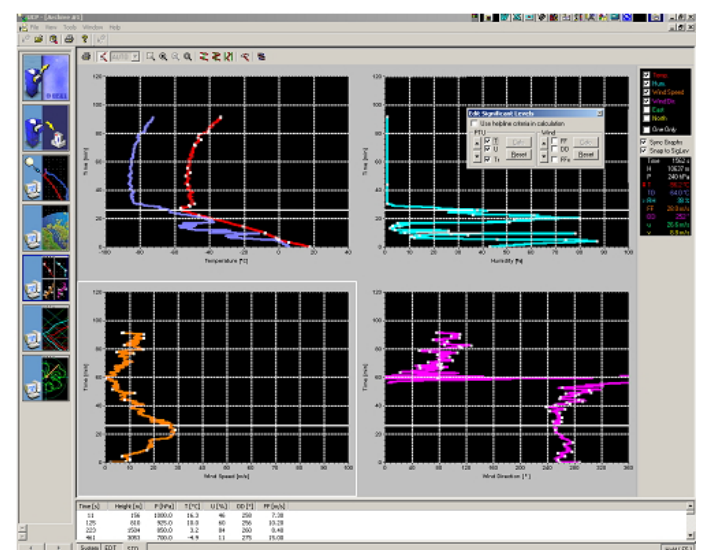


Рисунок 9 – Программное обеспечение аэрологической системы DigiCora. Профили скорости и направления ветра, температуры, относительной влажности, атмосферного давления по высотам, представляемые в графическом виде.

DigiCORA Tethersonde System представляет собой совокупность измерительных модулей, размещенных на кабель тросе с заданными интервалами. Система выводится на заданную высоту с помощью аэростата (рисунок 10). Ориентация датчиков ветра относительно географического севера невозможна из-за мягкости троса, поэтому при измерении направления ветра вводится поправка, получаемая с электромагнитного компаса измерительного модуля, а также с системы GPS. Все измеренные данные система передает в центральный блок хранения, управления системой по радиоканалу на частоте 400-406 МГц. Блок управления системой имеет цифровой интерфейс RS-232, позволяющий передавать измеренные данные о скорости и направлении ветра, температуре, относительной влажности, атмосферном давлении в периферийные устройства, которыми могут быть как автоматическое рабочее место, оборудованное персональной ЭВМ, так непосредственно всемирная сеть internet и ethernet. Это позволяет оперативно реагировать на опасные явления погоды. [9]

Косвенное определение крупных перемещений воздушных масс также определяется по спутниковым метеорологическим снимкам, в этом случае мы можем констатировать процесс с большим запаздыванием по времени, так как требуется несколько снимков от различных

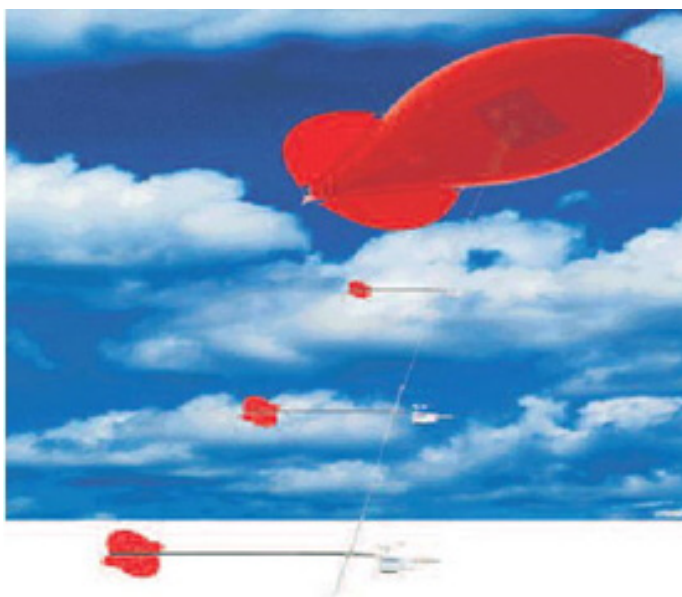


Рисунок 10 – Система аэрологического зондирования атмосферы DigiCORA Tethersonde System.

ИСЗ с большим интервалом по времени, чтобы с достоверной долей вероятности определить скорость и направление перемещения воздушных масс.

Сведем технические характеристики рассмотренных средств в таблицу (таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики технических средств для измерения скорости и направления ветра.

ИПВ-92

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	± 5 градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	220 В +10/-15% 50 Гц
Потребляемая мощность	40 В*А

М-63

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 55) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(1,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	± 5 градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	220 В +10/-15% 50 Гц

DigiCORA Tethersonde System

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	± 5 градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с

WAS425

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	± 2.5 градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	12 В пост. тока

WXT530

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	± 2.5 градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	12 В пост. тока

1.3. Анализ технических средств для измерения параметров ветра в корабельных условиях

При многолетнем использовании датчика пропеллерного типа на кораблях ВМФ и при проведении многолетних исследований в ГГО им. Воейкова было установлено, что пропеллерный датчик с хвостовым стабилизатором обладает сильной нестабильностью: при воздействии на него пульсирующего потока коэффициент передачи имеет не линейный характер.

В корабельных условиях, где кроме пульсирующего потока на датчик воздействует как бортовая, так и килевая качка, коэффициент передачи может меняться в несколько раз. Также при отрицательных значениях температуры происходит "залипание" магнита, что приводит к большому увеличению порога троганья. Увеличение порога троганья первичного преобразователя имеет большое значение при измерении параметров воздушного потока. Так, у пропеллерного датчика М-63 порог троганья составляет 1 м/с, следовательно, при резком изменении

скорости ветрового потока мы не сможем корректно оценивать поток на небольших скоростях.

С другой стороны, датчики ветра серии М-63 не удовлетворяют требованиям, предъявляемым для современных систем метеорологического обеспечения, так как аналоговый выход не позволяет напрямую производить считывание данных, необходимо устанавливать дополнительное оборудование для сопряжения с корабельными системами, что приводит к созданию крупных и дорогих систем. Главной отличительной особенностью совмещенных датчиков скорости и направления ветра является то, что ориентирование датчика по потоку происходит с большей погрешностью, чем у датчиков с отдельным размещением флюгера и анемометра. Это связано с тем, что совмещенный датчик обладает большей массой и угол φ ориентации датчика направления ветра относительно воздушного потока всегда будет больше, чем у датчика с отдельным исполнением датчика скорости и направления ветра.

Так как поворотную силу флюгера можно представить как:

$$F_{пов} = C_{фл} V^2 \sin b$$

где $C_{фл}$ - сила трения флюгера. Следовательно, чем угол φ будет стремиться к нулю, тем сила будет меньше, а когда $F_{пов} \leq F_{фл}$, тогда угол меняться не будет. Соответственно, при одинаковых скоростях потока, но при разных $C_{фл}$ мы получим различный угол φ .

Далее рассмотрим, как ведут себя анемометры при нахождении к потоку под различными углами. При воздействии воздушного потока на анемометр сверху вниз, экспериментально установлено, что анемометр будет вращаться в обратную сторону. Это объясняется тем, что в результате воздействия воздушного потока образуется составляющая силы воздушного давления, направленная от выпуклой стороны чашечки к вогнутой.

Сила давления воздушного потока при набегании на поверхность чашечки разлагается на составляющие: Рк-ка-

сательную и Pr-нормальную к поверхности чашечки. Касательной составляющей можем пренебречь ввиду её малости, а нормальную разложить на Pm-действующую вдоль оси анемометра и Pn- действующую в сторону, обратной нормальному давлению вращения анемометра (рисунок 11).

Из рисунка видно, что:

$$dP_n = C(\xi, \varepsilon) \frac{\rho V^2}{2} \sin \xi ds,$$

где $C(\xi, \varepsilon)$ -коэффициент сопротивления формы единицы поверхности полусферы;

$\frac{\rho V^2}{2}$ – скоростной напор набегающего воздушного потока;

ds - элемент поверхности полусферы, спроектированный на плоскость.

Интегрируя по всей поверхности полусферы, обращенной к потоку, получим:

$$P_n = C_{3\max} \frac{\rho V^2}{2} \frac{s}{2},$$

где

$$C_{3\max} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} C(\xi, \varepsilon) \sin \xi \xi d\xi d\varepsilon,$$

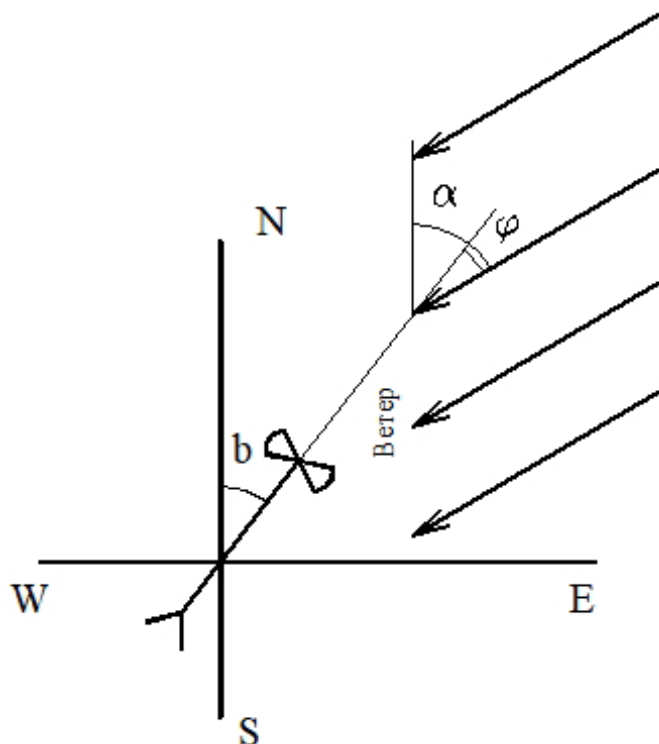


Рисунок 11 – Силы, действующие на анемометр.

$C_{3\max}$ -коэффициент сопротивления формы полусферы при потоке, параллельном ее основанию. Значения его определяются из эксперимента, s -площадь сечения чашки.

Далее экспериментально было установлено, что при изменении угла воздействия воздушного потока на анемометр до 45 градусов заметного изменения в измерениях модуля скорости воздушного потока не происходит. Анемометры с длинными плечами являются более чувствительными к малым скоростям ветра, но их аэродинамические моменты меняются менее плавно. Аэродинамический момент, действующий на трехчашечные анемометры при различных положениях чашек, меняется гораздо более плавно, чем момент, действующий на четырехчашечные анемометры. Поэтому трение в опорах трехчашечных анемометров более равномерно, а, следовательно, трехчашечные анемометры, являясь более экономными, обладают большей долговечностью и большим постоянством градуировочной кривой.

При проведении сравнительных измерений по скорости ветра акустического датчика WXT530 с анемометрическим датчиком ДСНВ-2 автором были получены следующие результаты.

При проведении многочисленных испытаний различных измерительных систем в судовых условиях было установлено, что наибольшую методическую погрешность при измерении скорости и направления ветра вносит сложная конфигурация судна. На протяжении многих лет в Государственном научно-исследовательском институте навигации и гидрографии при Министерстве обороны РФ проводились многочисленные исследования по изучению ветрового потока, воздействующего на корабль. В результате этих исследований была разработана методика, позволяющая снижать эффект затенения датчиков скорости и направления ветра. Основные положения данной методики заключаются в следующем:

- датчики ветра должны располагаться побортно;
- измеренные данные должны поступать только от датчика, расположен-

ного с наветренного борта.

Один из основных критериев, влияющих на репрезентативное измерение ветра - это размещение датчиков на кораблях. Заметим, что на боевых кораблях ВМФ наиболее высокие надстройки судна, как правило, заняты системами радиолокации, связи и вооружения. Задача по размещению представляется одной из сложнейших, для более корректного поиска места установки необходимо производить обдувку модели корабля. Однако, как показала практика, утвержденное место для установки датчика ветра по методике продувки не всегда соответствует задачам по измерению ветрового поля.

Выводы

Был произведен анализ технических средств методов, применяемых для измерения ветрового поля, а также рассмотрены перспективные технические средства для учета взаимодействия ве-

трового поля с кораблем. Определены критерии выбора технических средств для измерения ветрового потока. Исходя из метрологических характеристик было показано, что датчик скорости и направления ветра раздельного исполнения обладает наилучшими характеристиками.

Применение отечественных датчиков типа М-63 автор считает нецелесообразным в виду конструктивных и методических погрешностей, описанных выше, а также в связи с трудностями при передаче измеренных данных в цифровом виде.

Автор считает целесообразным использовать для измерения параметров скорости и направления ветра датчики типа Vaisala WMT700, WXT500, успешно применяемых в современных комплексах гидрометеорологического обеспечения, серийно изготавливаемые в АО «НИИ телевидения» для нужд ВМФ.

Список литературы:

1. Айзенштат Е. А. Труды НИУ ГМС, сер. 1, вып. 2, 1947.
2. Попов С. Г. Измерение воздушных потоков. ОГИЗ Гостехиздат, 1947
3. Сабинин Г. Х. Журн. геофиз., т. VII, 1937
4. Patterson. Frans. Roy. Soc. of Canada, VXX, 1926.
5. Schrenk. Zeitschr. f. techn. Physik, 10, 1929.
6. Персин С. М. Основы теории и проектирования автоматических измерительных систем. Гидрометеоиздат, ленинград 1975.
7. Распространение лазерного пучка в атмосфере. Под ред. Д.Стробена, пер. с англ. под ред. В.Е. Зуева, В.Л. Миронова.-М.:Мир,1981.
8. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 161. – P.21-22.
9. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 162. – P.17-19.

References:

1. Aizenshtat E.A. Proceedings of the National Research University HMS, ser. 1, no. 2, 1947.
2. Popov S. G. Measurement of air flows. OGIZ Gostekhizdat, 1947
3. A Sabinin G. Kh. Zh. geophys., vol. VII, 1937
4. Patterson. Frans. Roy. Soc. of Canada, VXX, 1926.
5. Schrenk. Zeitschr. f. techn. Physik, 10, 1929.
6. Persin SM Fundamentals of the theory and design of automatic measuring systems. Hydrometeoizdat, Leningrad 1975.
7. Propagation of a laser beam in the atmosphere. Ed. D. Stroben, trans. from English ed. V.E. Zueva, V.L. Mironova.-M.: Mir, 1981.
8. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 161. – P.21-22.
9. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 162. – P.17-19.