

УДК 551.508.5

Ковчин Игорь Сергеевич, д.т.н., профессор,
ООО «Научно-производственное объединение «Аквастандарт»,
г. Санкт-Петербург

Ковчин Михаил Игоревич, к.т.н.,
ООО «Научно-производственное объединение «Аквастандарт»,
г. Санкт-Петербург

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ
ДАТЧИКОВ СКОРОСТИ ВЕТРА
RESULTS OF RESEARCH AND OPERATION OF VARIOUS
WIND SPEED SENSORS IN MARINE CONDITIONS**

Аннотация. Многолетние наблюдения за работой различных типов датчиков ветра в морских условиях показал, что в результаты их измерений часто различаются между собой. Экспериментальные и аналитические исследования показали, что при качке их реальные градуировочные характеристики отличаются от номинальных. Дополнительные погрешности акустических датчиков финской фирмы Vaisala Oyj могут на судах составлять до 20% по скорости и 30 градусов по направлению.

Abstract. Many years of experience with various types of wind sensors in marine environments have shown that there are significant discrepancies in their measurement results. Experimental tests and analytical researcher have shown that this is due to differences in their actual calibration characteristics from their nominal characteristics during rolling. Additional errors of acoustic sensors of the Finnish company Vaisala Oyj can be up to 20% in speed and 30 degrees in direction on ships.

Ключевые слова: датчики ветра, морские условия, дополнительные погрешности, экспериментальные исследования, опыт эксплуатации, фирма Vaisala Oyj

Keywords: wind sensors, marine conditions, additional errors, experimental studies, experience of operation, Vaisala Oyj company.

Опыт эксплуатации датчиков ветра в морских условиях на различного рода судах и заякоренных автономных буйковых станциях (АБС) в период 2000 -2024 гг. показал, что расхождения в показаниях разного типа датчиков оказываются существенно выше их инструментальных погрешностей. Подобное явление наблюдается также при использовании практически одинаковых по конструкции анемометрических датчиков, но находящихся в различных условиях измерения. При этом места проведения измерения ветра на судне в обоих случаях были выбраны так, чтобы максимально устранить возможность возникновения искажения ветрового потока, связанного с его экранированием корпусом, мачтами и надстройками судна. Целенаправленные наблюдения за условиями подобных расхождений позволил сделать вывод, что это, как правило, имеют место при значительной качке судна.. При волнении моря свыше 3 баллов фиксировались расхождения до 5 м/с при кажущейся скорости ветра около 20 м/с на ходу судна порядка 12-15 узлов на ветер. Ещё большие расхождения в ручных измерениях ветра и с помощью стационарно закреплённых датчиков имели место при большем волнении до 5 узлов длиной волны до 20м и периодом 10-15 с. В этих случаях крен и дифферент корпуса судна достигал до 30 градусов. Анализ такой ситуации позволяет предполагать,, что расхождения в показаниях датчиков вызваны заметными отклонениями их реальной градуировочной характеристики в условиях качки от



номинальной. В частности, если диаграмма направленности в вертикальной плоскости отличается от круговой, то при возникновении вертикальных наклонов, будут иметь место дополнительные погрешности измерения. В равной степени дополнительные погрешности будут возникать при отклонении диаграммы направленности от круговой и в горизонтальной плоскости. На практике действительно в процессе движения судов на волнении датчики, закреплённые на мачтах или надстройках, вместе с его корпусом совершают движения по сложным траекториям, часто наклоняются и оказываются в плоскости под некоторым углом к вертикали направления движения воздушного потока.

В последнее время на судах и АБС стали находить применение акустические датчики ветра. Безусловным их достоинством по сравнению с анемометрическими - является отсутствие подвижных механических узлов и возможность измерения скоростей ветра до 70 м/с и более. На российских судах широкое распространение получили акустические датчики с использованием продукции финской компании Vaisala Oyj модели из серии WXT530 WMT700 [1]. Метрологические характеристики наиболее употребительных акустических датчиков приведены в Табл.1. Однако в морских условиях применения и у таких датчиков в отдельных случаях наблюдаются расхождения в результатах измерений скорости и направления ветра.

Таблица 1.

Метрологические характеристики акустических датчиков ветра

№	Тип датчика	Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Разрешающая способность	Основная погрешность измерения
1	Датчик ветра ДСНВ	Скорость ветра V	1.5..60 м/с	0,5 м/с	$\pm(0,5 + 0,05V)$
		Направление ветра	0..359 град	2 град	± 10 град
2	Датчик ветра WMT703	Скорость ветра	0,5..75 м/с	0.01 м/с	$\pm(0,2 + 0,03V)$
		Направление ветра	0..359 град	1 град	± 2 град
4	Датчик ветра WXT530	Скорость ветра V	0,2..60 м/с	0,1 м/с	$\pm(0,5 + 0,05V)$
		Направление ветра	0..359 град	2 град	± 5 град
5	Датчик ветра WAS425	Скорость ветра	1.5..55 м/с	0.1 м/с	$\pm(0,5 + 0,05V)$
		Направление ветра	0..359 град	2 град	± 10 град

Принцип действия этих датчиков основан на измерении интервала времени прохождения звукового импульса между передатчиком и приемником сигнала. В соответствии с этим скорость движения воздушного потока V однозначно определяется следующей зависимостью:

$$V = 0.5L(1/t_f - 1/t_r) \quad (1)$$

где, L - расстояние между излучателем и приемником акустического сигнала;

t_f - время перехода сигнала от одного излучателя к другому;

t_r - время перехода отраженного сигнала от одного излучателя к другому.



В этих моделях приемник и излучатель конструктивно объединены в едином элементе, которые располагаются в плоскости измерения воздушного потока, что позволяет исключить погрешности асимметрии, а по соотношению времен однозначно определять направление ветра. Существенным отличием их от традиционных анемометрических датчиков является то, что определение и скорости и направления ветра осуществляется на одних физических принципах. Применяются датчики с тремя и четырьмя .приемо-передатчиками. В первом случае они располагаются в плоскости измерения в углах равностороннего треугольника, а во втором – попарно во взаимно перпендикулярных направлениях. Измерение скорости ветра выполняется путем прямых измерений временных задержек прохождения акустических сигналов, а направления - по соотношению скоростей воздушного потока между приемо-передатчиками.

Рассмотрение принципа действия такого типа датчиков показывает, что их градуировочные характеристики напрямую зависят от направления воздушного потока относительно плоскости расположения их излучателей (приёмно-передатчиков). Соответственно отклонения этой плоскости от вертикали могут вызывать дополнительные погрешности в измерениях скорости и направления ветра, которые в наибольшей степени проявляются в процессе их эксплуатации в морских условиях.

.С целью оценки возникающих погрешностей в 2023-24 гг. были проведены лабораторные исследования акустических датчиков ветра различных марок, в том числе WXT536 WMT703 производства Vaisala Oyj и ДСНВ – ООО «НПО «Аквастандарт». Эти испытания первичных преобразователей датчиков ветра были направлены на установление их реальных пространственных метрологических характеристик .

Методика исследований включала в себя снятие круговой диаграммы направленности преобразователей в горизонтальной плоскости от 0 до 360 при различных углах их наклона от вертикали в пределах до 40°. В процессе такого эксперимента испытуемый образец датчика помещался на поворотный круг лимба под ламинарный воздушный поток аэродинамической измерительной установки (трубы). Затем испытуемый образец поворачивался на круге в пределах угла от 0 до 360 градуса, от направления воздушного потока с шагом 10 град. Эксперимент повторяли при трех разных значениях скорости в начале, середине и конце диапазона измерений (примерно 5, 10, 50 м/с). Фиксировались измеренные значения скорости и углы направленности потока. Производилось сравнение с истиной скоростью в трубе и фактическими углами поворота лимба, откуда определялись соответствующие расхождения. Далее поворотный круг вместе с испытуемым датчиком устанавливается на наклонном устройстве в вертикальной плоскости под ламинарный воздушный поток. Последовательно устанавливался угол наклона в вертикальной плоскости 10,20,30 град. и значения скорости в аэродинамической трубе желательно в начале, середине и конце диапазона измерений (примерно 5, 20, 25 м/с). Измерения проводились с поворотом с шагом 30 градусов по горизонтали в плоскости, перпендикулярной углу наклона в вертикальной плоскости. Фиксировались измеренные значения скорости и углы направленности потока и сравнивались с истиной скоростью в трубе и фактическими углами разворота.

Такие испытания отдельных образцов датчика WMT 700 и WXT536 фирмы Vaisala Oyj показали, что у них эти дополнительные погрешности могут составлять для углов наклона в 30 град более 10-15% по скорости и – более 20° направлению. Наибольшие из зафиксированных погрешностей по скорости ожидаемо имели место при направлении воздушного потока в середине между местами расположения приёмно-излучателей, а направления – на оборот вблизи любого из них. Испытания в основном проводились при скорости воздушного потока около 10м/с и показали, что при увеличении величины угла



наклона датчика от 10° до 30° наблюдаемые погрешности увеличивались от нескольких процентов по скорости и единиц углов до 10% по скорости и до 15° по направлению. Погрешности возрастали до указанных выше максимальных значений при скоростях свыше 20 м/с в зонах максимальных величин. Наибольшие различия в показаниях были зафиксированы у WXT536 (до 20% и 30°), поскольку высота стоек их излучателей соизмерима с расстояниями между ними.

Для датчика ДСНВВ значения этих дополнительных погрешностей существенно ниже, и в нормируемом диапазоне скоростей до 60 м/с и углах наклона до 30 град от вертикали не превосходят основных; 5% по скорости и 5° по направлению.

Для уменьшения этих погрешностей авторами предложена коррекция градуировочной характеристики датчика по результатам измерений судовыми инклинометрами углов крена и дифферента корпуса судна согласно способу, описанному в работе[2].

Проведенные исследования показали необходимость определения и нормирования вышеописанных дополнительных погрешностей датчиков в рамках их метрологической аттестации с целью повышения качества ветровых измерений. Вышеописанная методика может лечь в основу экспериментальной части этой процедуры.

Измерения на море, как правило, выполняют с подвижных объектов: судов, катеров, автономных буйковых станций (АБС). В результате возникают динамические погрешности измерений ветра, обусловленных качкой, и методические - векторным характером измеряемой величины скорости. Наиболее характерными проявлениями динамических погрешностей на практике являются фиксирование скоростей ветра в штилевых условиях на заякоренном или дрейфующем судне. При нахождении судна в дрейфе даже при штилевой погоде и незначительном волнении до 2 баллов стационарно установленные датчики периодически показывали значения скорости истинного ветра до 3-5 м/с.. Подобные явления неоднократно наблюдались на научно-исследовательских и экспедиционных судах водоизмещением до 10 тыс.т, хотя измерения ручными средствами измерения при этом давали результаты, близкие к нулю. Причиной возникновения этих дополнительных динамических погрешностей может являться нелинейный характер реакции чувствительного элемента датчика на изменчивость воздушного потока. Применительно к анемометрическим, вертушечным датчикам подтверждение этого приведено в работе[3]. Однако при использовании акустических датчиков также возможен нелинейный характер реакции на раскачивание датчика и появление отличных от нуля, ошибочных результатов измерений ветра при штилевой погоде, что по факту неоднократно наблюдалось. Здесь причиной нелинейности является не симметричность пространственной характеристики датчика, проявляющейся при разных траекториях его возвратно-поступательного движения в условиях качки.

Опыт эксплуатации также показал, что судовые датчики ветра могут периодически, в зависимости от его направления и характеристик хода судна, находится в зонах затенения, что вызывает соответствующие методические погрешности. Для снижения уровня этих погрешностей для получения данных об истинном ветре авторами [2] предложен алгоритмический метод специализированной обработки сигналов с датчиков, позволяющий осуществлять частичную фильтрацию эффектов нелинейности и затенения.

Таким образом проведенный анализ отдельных экспериментальных данных, полученных в лабораторных и эксплуатационных условиях по датчикам ветра, даёт основание предполагать, что величина дополнительных погрешностей измерения продукции Vaisala Oyj могут существенно превышать инструментальные. Это наиболее заметно проявляется при наблюдениях в судовых условиях или на АБС, что не позволяет получать репрезентативные данные о ветре на море. Для исключения этого целесообразно ограничить



применение этих датчиков в морских условиях, а в последствие при метрологической аттестации новых средств измерения характеристик ветра ввести процедуру контроля их пространственных характеристик

Список литературы:

- 1.«VAISALA NEWS» №161, №162 (Helsinki 2003г.)
2. Ковчин И.С., Ковчин М.И. Способ измерения ветра в судовых условиях Патент на изобретение №2798154
3. Яглом А.М. Об учете инерции метеорологических приборов. /Тр. Геофизического института, 1954, Вып.24 (151). С. 112-162.

