

1983

# ACCURACY IMPROVEMENT IN WIND-SPEED AND DIRECTION SHIPBOARD MEASUREMENTS BASED ON AERODYNAMIC TRIALS OF A SHIP MODEL

ROMANOV, YA

<http://hdl.handle.net/10026.1/11953>

---

OKEANOLOGIYA

---

*All content in PEARL is protected by copyright law. Author manuscripts are made available in accordance with publisher policies. Please cite only the published version using the details provided on the item record or document. In the absence of an open licence (e.g. Creative Commons), permissions for further reuse of content should be sought from the publisher or author.*

УДК 551.501

Ю. А. РОМАНОВ, И. Б. ФЕДОРОВА, М. С. ЧЕРВЯКОВ,  
Г. И. ШАПИРО**О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ СУДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ  
И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НА ОСНОВЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛИ СУДНА**

Приведены оценки требуемой точности судовых измерений ветра для решения ряда задач морской метеорологии. Показано, что реальная точность измерений часто не удовлетворяет этим требованиям. Для оценки искажения судном поля ветра в местах расположения датчиков и с целью введения количественных поправок к показаниям датчиков проведены аэродинамические испытания модели НИС «Академик Мстислав Келдыш». Оказалось, что к показаниям датчиков, установленных на мачте гаковых огней, можно ввести поправки, компенсирующие влияние корпуса и надстроек судна, во всем диапазоне курсовых углов. Для датчиков на носовой стреле и носовой мачте также можно ввести поправки только при курсовых углах, меньших  $120^\circ$ . Вблизи крыльев капитанского мостика введение поправок оказалось невозможным из-за нерегулярного, вихревого характера обтекания судна воздухом.

Судовые измерения служат основным источником непосредственной информации о скорости ветра над Мировым океаном. К сожалению, точность этих измерений в настоящее время невелика. Так, согласно [7], случайные погрешности стандартных судовых измерений скорости и направления ветра составляют соответственно  $1,0\text{--}1,2\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и  $5\text{--}15^\circ$ . В работе [8] отмечены еще большие величины случайных погрешностей, так для скорости ветра — от  $0,7$  до  $1,8\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , для направления ветра — от  $18$  до  $58^\circ$ . Примерно такие же величины приводятся в других известных нам работах.

Большие величины погрешностей судовых наблюдений над ветром существенно ограничивают возможности исследования ряда вопросов, касающихся, например, пространственной и временной изменчивости скорости и направления ветра и его дифференциальных характеристик — дивергенции и завихренности скорости ветра над океаном — и часто не удовлетворяют современным требованиям. Рассмотрим некоторые примеры.

Понятно, что для изучения изменчивости поля ветра ошибка измерений должна быть заметно меньше среднеквадратического отклонения, вызванного естественной изменчивостью ветра в рассматриваемой пространственно-временной области. Особенно высокие требования к точности измерений элементов ветра должны предъявляться в тропической зоне океана, где атмосферной циркуляции свойственна повышенная устойчивость<sup>1</sup>. Так, при современной точности судовых наблюдений в этой зоне оказывается невозможным исследование пространственной изменчивости ветра с масштабами меньше  $70\text{--}80$  миль, поскольку в пределах этих расстояний естественная изменчивость становится сопоставимой со случайными ошибками наблюдений [7].

О временной изменчивости скорости ветра в тропической зоне океана можно судить, например, по данным работы [1], где обработаны ежечасные наблюдения над ветром в период ТРОПЭК-74 (VI—IX.1974). Средние квадратические отклонения модуля скорости ветра от среднего значения за три фазы эксперимента получились здесь соответственно  $2,5$ ,  $1,6$  и  $1,6\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , что лишь очень незначительно превышает случайную

<sup>1</sup> Отметим, что тропическая зона занимает  $2/3$  поверхности Земли.



ошибку измерений. В более высокочастотной области естественная изменчивость уменьшается. Так, амплитуда суточных и полусуточных колебаний модуля скорости ветра в тех же измерениях составила всего  $0,1—0,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  (т. е.  $2—8\%$  от среднего модуля ветра). Ясно, что вредное влияние ошибок измерения на результаты анализа изменчивости ветра в этой области масштабов еще более возрастает.

Чрезвычайно ощутимыми ошибки наблюдений становятся при расчетах дивергенции и завихренности скорости ветра. Численный пример, приведенный в [2], показывает, что при ошибке измерения скорости ветра, равной  $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ , относительная ошибка в вычислении дивергенции вне ВЗК может оказаться больше  $100\%$ . Поэтому авторы работы [10] считают, например, что для расчетов дивергенции точность измерений должна составлять  $\pm 2\%$  по скорости и  $\pm 2^\circ$  по направлению ветра.

Причины погрешностей при судовых измерениях ветра анализировались в целом ряде работ [3, 9]. Главным образом с помощью анемометрических съемок оценивались величины ошибок и определялись зоны наименьшего искажения поля ветра, в которых целесообразно размещать ветроизмерительные приборы. Установлено, что отличия измеренного ветра от истинного обусловлены неточностью измерительных приборов, ошибками в измерениях скорости судна (особенно в дрейфе), искажением поля ветра корпусом и надстройками судна, качкой и другими причинами. Согласно [3], наиболее существенные ошибки вызываются искажающим влиянием корпуса судна. Различия в скорости ветра, измеренной в различных местах на палубе судна, могут достигать  $70\%$  [9]. Наиболее подходящим местом для установки датчиков считаются верхние части фок- или грот-мачты, даже с учетом того, что при этом увеличивается погрешность, обусловленная качкой судна, а для некоторых типов судов — верхние части носовых грузовых колонок.

К сожалению, с помощью анемометрических съемок, проводимых в натурных условиях, удается определить искажения воздушного потока лишь относительно некоторой реперной точки, где поток а priori предполагается невозмущенным (см. [3, 5, 9]). Очень часто в таких измерениях предполагается определенный закон изменения ветра с высотой. Гарантировать строгое выполнение всех этих предположений, конечно, нельзя.

От этих недостатков свободен другой метод исследования поля ветра вблизи судна — обдувка модели судна в аэродинамической трубе. Возможность подобного моделирования основана на том, что при числах Рейнольдса  $Re = V_0 L / \nu$  ( $L$  — длина судна или модели,  $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха,  $V_0$  — скорость набегающего потока), больших некоторого критического значения  $Re_0$ , наступает автомодельный режим обтекания, когда относительные изменения скорости  $\delta V / V_0$  и углов скоса потока одинаковы для модели и для судна и не зависят от конкретного значения скорости  $V_0$  в широком диапазоне скоростей [6]. Для квадратной пластины автомодельный режим наступает (с точностью до  $\pm 5\%$  по величине коэффициента сопротивления) при  $Re > Re_0 = (1—2) \cdot 10^5$  [4]. Для такого плохо обтекаемого тела, как надводная часть судна, критическим значением следует считать  $Re_0 = (3—6) \cdot 10^5$ . Например,  $Re_0 = 5 \cdot 10^5$  соответствует скоростям  $V_0 > 7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  для модели длиной в  $1 \text{ м}$  и  $V_0 > 7 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$  — для судна длиной  $100 \text{ м}$ .

По-видимому, впервые картина искажений поля ветра вблизи судна на основе испытаний модели в аэродинамической трубе была получена в [5] на примере судна «Батайск» водоизмещением в  $7000 \text{ т}$ . Оказалось, что судно вносит значительные (более  $15\%$ ) искажения в поле ветра даже на расстоянии в несколько десятков метров как с наветренного, так и с подветренного борта судна. В этих опытах на судне не обнаружено зон, полностью свободных от искажений поля ветра. Выявление наиболее подходящих мест для установки датчиков ветра на судне следует продолжать, но поскольку ни одно из них, очевидно, все же не будет совершенно свободно от искажающего ветровой поток влияния корпуса судна, важной следующей задачей, на наш взгляд, должны быть коли-



ческие измерения искажений ветра в местах реального расположения датчиков. Вводя в результаты наблюдений численные поправки, компенсирующие искажающее влияние корпуса судна и его надстроек на показания измерительных приборов, мы тем самым можем заметно повысить точность судовых наблюдений над скоростью и направлением ветра.

Исследования по определению таких поправок для НИС «Академик Мстислав Келдыш» полным водоизмещением 6340 т были предприняты Институтом океанологии им. П. П. Ширшова совместно с ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского путем испытаний модели судна в аэродинамической трубе. Датчики скорости и направления ветра установлены на этом судне на носовом выстреле длиной 15 м (высота над ватерлинией 9,2 м), на носовой мачте (высота 20 м) и на мачте гаковых огней (высота 33 м). Для испытаний была изготовлена модель в масштабе 1:100 (рис. 1).

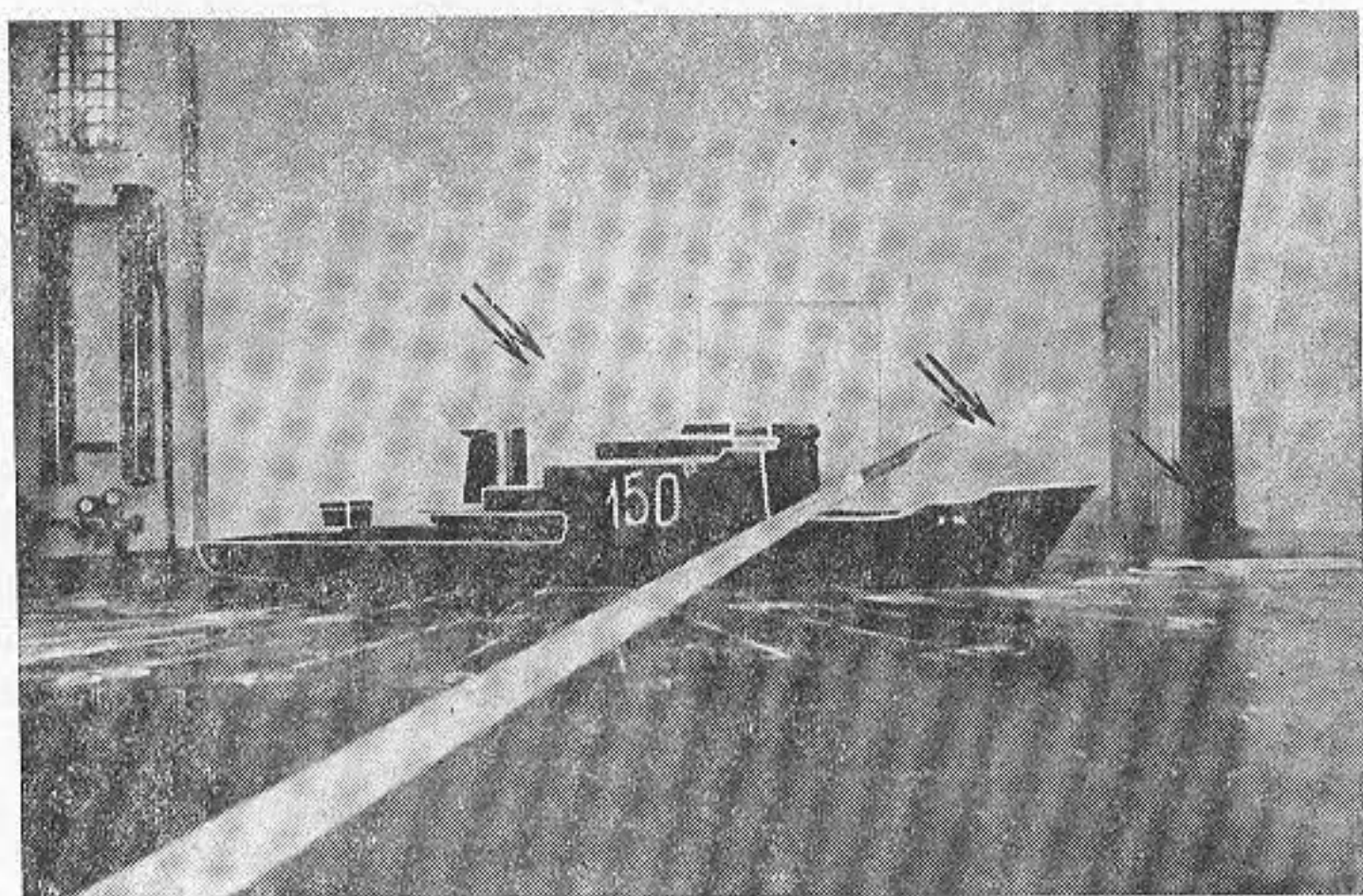


Рис. 1. Модель НИС «Академик Мстислав Келдыш»  
Стрелками показаны места расположения датчиков. Виден аэродинамический щуп. Воздушный поток направлен слева направо

В отличие от исследований, описанных в [5], в наших опытах измерения проводились не вокруг всего судна, а лишь в зонах расположения датчиков, однако значительно более подробные и при большем числе курсовых углов. Модель испытывалась в аэродинамической трубе ЦАГИ с открытой рабочей частью диаметром 2,2 м при скорости набегающего потока  $V_0 = 40$  м. Это соответствует числу Рейнольдса  $Re = 3,4 \cdot 10^6 \gg Re_0$ . Испытания проводились на ровном киле, без крена и дифферента, на горизонтальном круглом экране, с помощью которого моделировалась спокойная поверхность моря.

Для детального выяснения структуры возмущенного потока и во избежание случайных ошибок измерений значения скорости определялись при 19 курсовых углах не только в точках расположения датчиков, но также на некоторой площадке размером  $120 \times 120$  мм вокруг датчика в 49 ( $7 \times 7$ ) точках. Дополнительные замеры проводились у крыльев верхнего мостика с наветренной стороны. Измерения осуществлялись пятирубчатым насадком диаметром 4 мм с использованием измерительно-информационного комплекса и ЭВМ. Точность измерения абсолютных значений скорости невозмущенного потока была не ниже 1%. Наряду с количественными измерениями проводилась визуализация потока при помощи аэродинамического щупа, т. е. пучка шелковых нитей, прикрепленных к концу длинного стержня (рис. 1). Полученные в результате измерений значения относительных искажений модуля ветра  $\Delta V_{отн} = 1 - V/V_0$ , вертикальных ( $\epsilon_v$ ) и горизонтальных ( $\epsilon_r$ ) углов сноса в местах расположения датчиков представлены на рис. 2, а—в при раз-



Относительные искажения модуля ветра  $\Delta V_{\text{отн}}$ , вертикальные  $\varepsilon_v$  и горизонтальные  $\varepsilon_r$  углы скоса потока вблизи крыла верхнего мостика

$\beta$ , град	0	30	60	90	120	150	180
$\Delta V_{\text{отн}}$	-0,118	-0,221	-0,166	-0,093	-0,36	-0,587	0,69
$\varepsilon_v$ , град	20,5	22,5	25,4	36,4	34,1	24,2	-1,6
$\varepsilon_r$ , град	-15,8	7,2	13,8	18,8	7,0	-0,4	0,2

личных курсовых углах  $\beta$ . Угол  $\beta=0$  соответствует ветру с носа на корму, угол  $\varepsilon_v$  считается положительным при отклонении ветра вверх, а положительные значения  $\varepsilon_r$  соответствуют отклонению ветра влево, если смотреть по ветру.

Представленные на рис. 2, а—в графики, а также данные о пространственном распределении поля скорости вблизи датчиков показывают, что наиболее спокойное поле скорости наблюдается в зоне расположения датчиков на мачте гаковых огней. Здесь искажения поля ветра не превышают 8% по скорости и 8° по горизонтальному направлению. Они имеют регулярный характер, плавно изменяются в пространстве и во всем диапазоне курсового угла  $\beta$ . Поэтому здесь возможно введение систематических поправок, позволяющих на основе данных рис. 2, в вычислить невозмущенную скорость набегающего потока.

На носовой мачте и носовом выстреле искажения поля ветра можно считать регулярными, а введение поправок правомочным лишь при изменении курсового угла  $\beta$  от 0 до 120°. При дальнейшем увеличении  $\beta$  искажения резко усиливаются. В местах расположения датчиков возникают большие градиенты, распределение скоростей имеет явно выраженный вихревой характер, особенно при  $\beta=180^\circ$ . Визуальные наблюдения с помощью аэродинамического щупа подтверждают вихревой, пульсирующий характер обтекания при  $\beta>120^\circ$ . При таких курсовых углах введение каких-либо поправок становится невозможным, а при  $\beta=150^\circ, \dots, 180^\circ$  показаниями этих датчиков, видимо, вообще не стоит пользоваться. Результаты измерений параметров потока вблизи крыла верхнего мостика (высота 21,2 м) с наветренного борта судна приведены в таблице.

Вследствие срывного характера обтекания (который хорошо виден при визуализации потока), искажения модуля и направления ветра в этом месте имеют большую величину при всех курсовых углах к ветру и резко изменяются при изменении  $\beta$ . Возникающие ошибки доходят почти до 70% по скорости (ср. [9]) и до 20° — по направлению. Вертикальные скосы достигают 36°. Введение систематической поправки для измерений на мостике вряд ли возможно и целесообразно. Таким образом, крылья мостика являются плохим местом для измерения ветра на судне.

С учетом полученных результатов можно предложить следующую методику судовых измерений ветра на НИС «Академик Мстислав Келдыш». Основными датчиками следует считать измерители, установленные на мачте гаковых огней. Если необходима точность измерений не ниже 10% по скорости и 10° по направлению, к показаниям датчиков надо вводить поправки согласно рис. 2. При курсовом угле кажущегося ветра меньше 120° можно принимать во внимание показания (с учетом поправок) датчиков, установленных на носовом выстреле и носовой мачте. Измерения на крыльях мостика следует проводить лишь для грубых оценок.

В натурных условиях все датчики должны быть тарированы с учетом влияния мачт, установочных конструкций и других мелкомасштабных элементов, которые при аэродинамических испытаниях не моделировались. Следует учитывать, что имеются и другие причины ошибок — дрейф судна, качка, локальные потоки от нагретых частей судна и др.



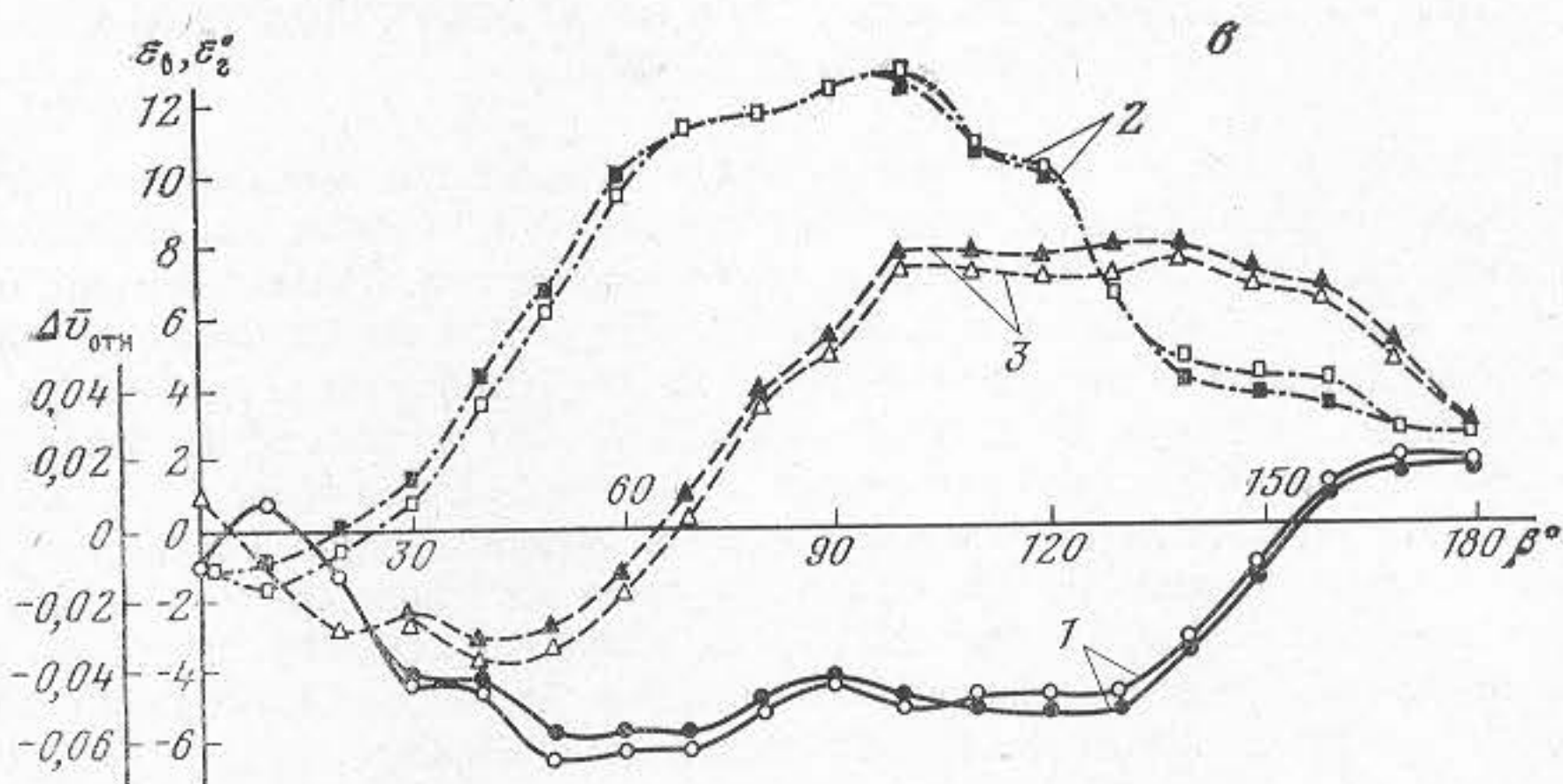
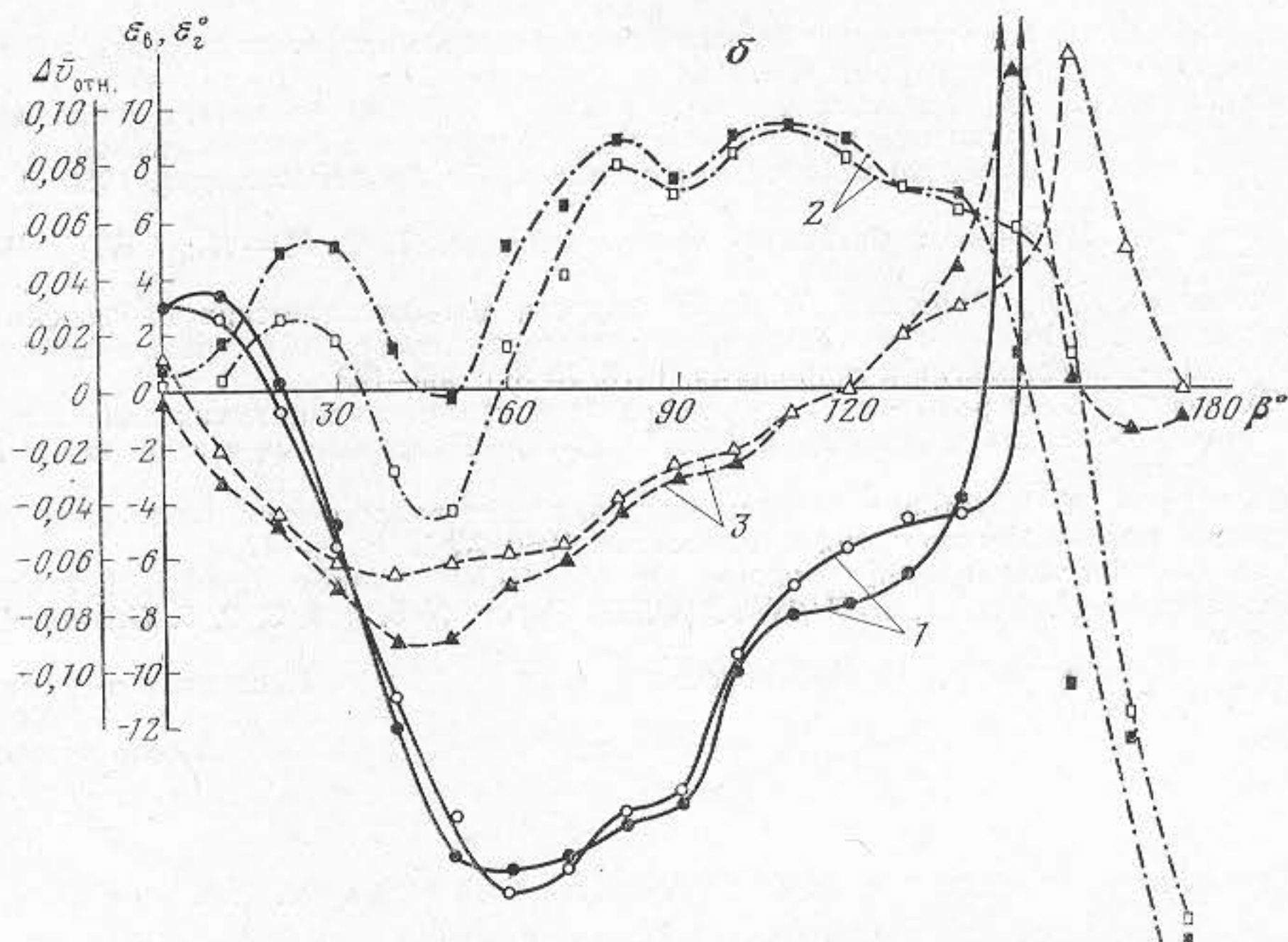
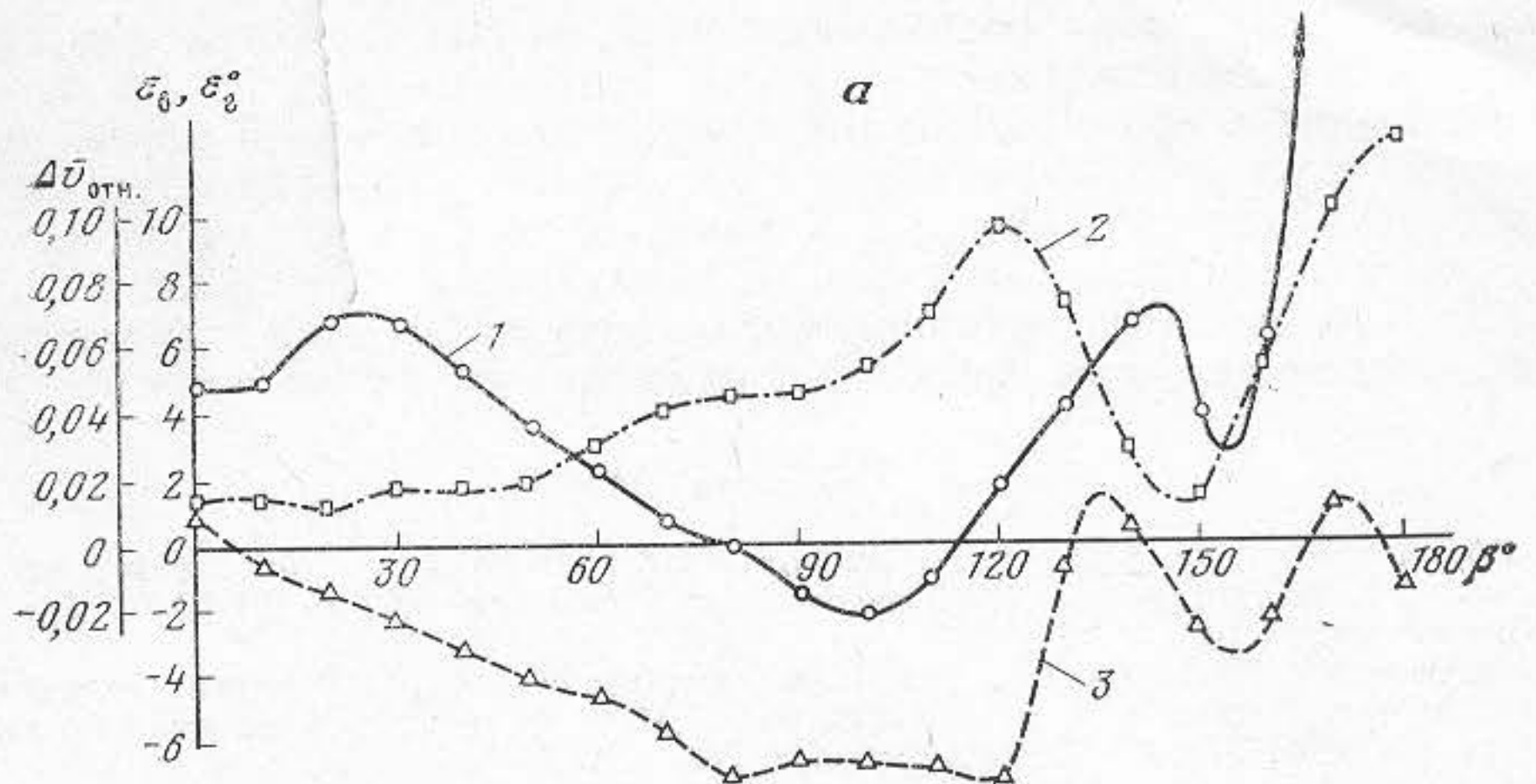


Рис. 2. Относительные искажения модуля ветра  $\Delta v_{отн} = 1 - v/v_0$  (1), вертикальные  $\epsilon_v$  (2) и горизонтальные  $\epsilon_g$  (3) углы скоса потока в зависимости от курсового угла  $\beta$  а — на конце носового выстрела; б — на топе носовой мачты; в — на топе мачты гаковых огней. Зачерненные кружки относятся к измерениям в месте установки датчика направления ветра, пустые кружки — к измерениям в месте установки датчика скорости ветра финского анеморумбографа фирмы Вайсала, которым оборудован НИС «Академик Мстислав Келдыш». На носовой стреле эти датчики установлены практически в одной точке



Поэтому результаты аэродинамических испытаний должны быть проверены в натуральных условиях.

Величины поправочных коэффициентов для кораблей другой архитектуры должны основываться на результатах продувок моделей этих кораблей. Более того, было бы желательно<sup>2</sup> определить поправки к измеряемым элементам ветра для всех научно-исследовательских судов СССР. Таблицы этих поправок могут стать такими же стандартными, паспортными данными, как и ряд других характеристик судна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Р. В. Суточный ход метеорологических параметров приводного слоя воздуха на экваторе.— Тр. междуведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с. 437—448.
2. Анцыпнович В. А., Снитковский А. И., Фалькович А. И. О порядках величин метеоэлементов на полигоне АВ в период АТЭП.— Тр. междуведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с. 139—154.
3. Волков Ю. А. Некоторые вопросы методики метеорологических наблюдений в открытом море.— Океанология, 1963, т. 3, вып. 4, с. 706—714.
4. Девнин С. И. Аэрогидродинамический расчет плохобтекаемых судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1967, с. 43—54.
5. Дорошенко В. Н., Зражевский И. М., Радикевич В. М. Результаты исследования поля воздушного потока при обдувке модели судна в аэродинамической трубе.— Тр. Всесоюзн. совещ. по морской метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1966, с. 79—108.
6. Прандтль Л., Титъенс О. Гидро- и аэромеханика. Т. 2. М.—Л.: ОНТИ, НКТП СССР, 1935. 112 с.
7. Романов Ю. А., Романова Н. А. О точности метеорологических наблюдений на судах и о возможности мезометеорологических измерений в тропической части океана.— Метеорология и гидрология, 1973, № 3, с. 99—193.
8. Светлова Т. П. О результатах сравнения судовых метеорологических данных с данными буя «Метеог» в экспедиции ТРОПЭКС-74.— Метеорология и гидрология, 1974, № 4, с. 93—97.
9. Соркина А. И. Некоторые вопросы методики метеорологических наблюдений в открытом море.— Метеорология и гидрология, 1960, № 10, с. 45—47.
10. The Boundary-Layer Subprogramme for the GARP Atlantic Tropical Experiment. Prepared by H. Hoeber, ISCU/WMO, GATE Report N 5, § 4, 3, 2, 5. Geneva, 1973. 128 p.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова  
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию  
5.XI.1981  
После доработки  
17.VIII.1982

Yu. A. ROMANOV, I. B. FEDOROVA, M. S. CHERVYAKOV, G. I. SHAPIRO

#### ON ACCURACY INCREASE IN WIND SPEED AND DIRECTION SHIPBOARD MEASUREMENTS BASED ON AERODYNAMIC TRIALS OF A SHIP'S MODEL

The accuracy of shipboard measurements of wind speed and direction necessary to solve different problems of marine meteorology is assessed. It is shown that often the real wind measurement accuracy does not meet these requirements. The aerodynamic trials of the R/V «Akademik Mstislav Keldysh's» model were carried out for the assessment of the wind field distortion caused by the ship and for the introduction of quantitative corrections to the windgauge readings. It has appeared that the readings of the windgauges mounted on the mainmast top can be corrected so that the influence of the ship's hull and structures be compensated for over the whole range of the course angles. For the windgauges mounted on the foremast top and on the bow boom corrections are possible only for the course angles of wind of less than 120°. It has turned out impossible to find any corrections for the readings of the windgauges mounted on the wings of the captain's bridge because of irregular vortex wind flows around these parts of the ship.

<sup>2</sup> Впервые это предложение было внесено В. Д. Поздыниным при обсуждении настоящей работы.