

В. С. ЛАВОРКО

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ И ПРИВОДНОМ СЛОЯХ МОРЯ И АТМОСФЕРЫ

Процессы турбулентного переноса являются одним из определяющих факторов в теплообмене и формировании вертикального профиля температуры в море и атмосфере. Резкое изменение этого профиля и турбулентного переноса происходит вблизи границы раздела море—атмосфера, в связи с чем изучение турбулентности вблизи границы раздела представляет особый интерес.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований мелкомасштабной турбулентности, полученные на основе регистрации флуктуаций температуры на различных горизонтах в море и атмосфере в пределах двух-

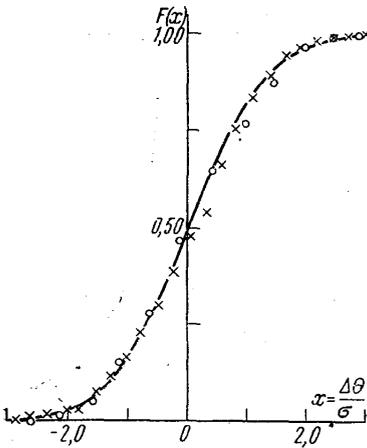


Рис. 1. Интегральная функция распределения амплитуд турбулентных флуктуаций температуры. Прямая соответствует нормальному закону;  $\circ$  — экспериментальные данные, соответствующие записи флуктуаций температуры на глубине 0,2 м в воде,  $\times$  — экспериментальные данные, соответствующие записи флуктуаций температуры на высоте 0,5 м над морем

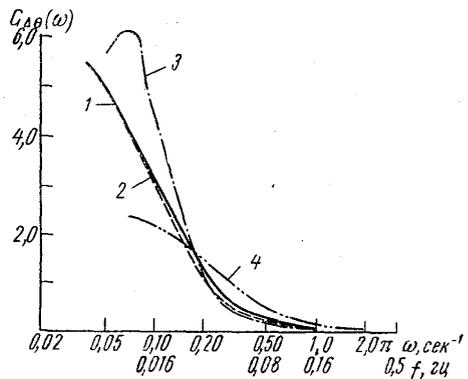


Рис. 2. Спектральные функции турбулентных флуктуаций температуры: 1 — на глубине 0,2 м в воде, 2 — на высоте 1 м над морем, 3 — на высоте 0,5 м над морем, 4 — на высоте 1,8 м над морем

метрового поверхностного слоя воды и такого же по толщине приводного слоя воздуха.

В качестве датчиков флуктуаций температуры использовались термисторы МТ-54. Известно, что отклик датчиков температуры на внешнее воздействие определяется передаточной функцией инерционного звена. Лабораторные определения частоты среза передаточной функции для МТ-54 дали значение  $\omega^2 \approx$

$\approx 20 \text{ сек}^{-1}$ , что соответствует постоянной времени  $\sim 0,3 \text{ сек}$ . При таких параметрах полосы пропускания датчика составляет 0—3 гц. Фазовые искажения в пределах этой полосы не превышают 3—4°, амплитудные — не более 5%.

Регистрация осуществлялась на электронном потенциометре ЭПП-09. Экспериментально найденная полоса пропускания потенциометра составляет 0—0,6 гц. Таким образом, инерционные характеристики измерительной системы определялись возможностями регистрирующего прибора. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что полоса пропускания измерительной системы много шире интервала основных энергонесущих частот зарегистрированных турбулентных флуктуаций температуры вблизи границы раздела море—атмосфера.

Датчики флуктуаций температуры располагались на вертикальной стойке плавающего буйа. По команде с судна специальный протяжный механизм устанавливал датчики на заданном уровне. С помощью кабеля датчики включались в схему моста постоянного тока, находящуюся в общей стойке с блоком управления и регистратором на борту судна. Чувствительность аппарата составляла 0,8°C.

Измерения с указанной аппаратурой производились в Черном море во время экспедиций на судне «Московский университет» в сентябре — октябре 1967 и 1968 гг. Для исключения влияния волнения измерения производились либо в штилевую погоду, либо при небольших скоростях ветра. Регистрация турбулентных флуктуаций температуры на каждом из выбранных горизонтов продолжалась от 15 до 30 минут.

Полученные записи подверглись статистической обработке. Выборки амплитуд турбулентных флуктуаций температуры содержали от 300 до 600 значений. В результате были построены эмпирические законы распределения амплитуд турбулентных флуктуаций температуры в воздухе и в воде, автокорреляционные и спектральные функции.

На рис. 1 сплошной кривой изображена интегральная функция распределения (для нормального закона) от безразмерного аргумента  $x = \frac{\Delta\theta}{\sigma}$ , где  $\Delta\theta$  — амплитуда

турбулентных флуктуаций температуры,  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение значений температуры. На этом же графике кружками нанесены экспериментальные данные, соответствующие записи флуктуаций температуры на глубине 0,2 м в воде, крестиками — экспериментальные данные, соответствующие записи флуктуаций температуры на высоте 0,5 м над морем.

Критерий согласия  $P(\chi^2)$  Пирсона при пятипроцентном уровне значимости показывает удовлетворительное согласие экспериментальных данных о распределении амплитуд турбулентных флуктуаций температуры с нормальным законом распределения. Аналогичный характер распределения амплитуд турбулентных флуктуаций температуры имел место и на других горизонтах в воздухе и в воде. Амплитуда турбулентных флуктуаций температуры в воде не превышает значений  $\sim 0,08^\circ\text{C}$ , амплитуда флуктуаций температуры в воздухе достигает значений  $\sim 0,8^\circ\text{C}$ . Автокорреляционные функции турбулентных флуктуаций температуры рассчитывались по известному соотношению

$$k_{\Delta\theta}\left(\frac{mT}{n}\right) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \Delta\theta(t_i) \Delta\theta(t_{i+m}),$$

где  $T$  — длительность записи,  $n$  — число значений в выборке,  $\Delta\theta(t_i)$  — амплитуда турбулентных флуктуаций температуры в момент времени  $t_i$ . Полученные значения автокорреляционных функций в большинстве случаев хорошо аппроксимируются убывающей экспоненциальной функцией типа  $k_{\Delta\theta}(\tau) = De^{-\alpha\tau}$ , в некоторых случаях — функцией типа  $k_{\Delta\theta}(\tau) = De^{-\alpha\tau} \cos \omega_0\tau$ . Последнее, как известно, говорит о возможном присутствии в спектре турбулентных флуктуаций температуры гармонической составляющей с частотой  $f = \frac{\omega_0}{2\pi}$ .

Некоторые вычисленные по автокорреляционным функциям спектральные функции

$$G_{\Delta\theta}(\omega) = \frac{1}{D} \frac{2}{\pi} \int_0^{T_1} k_{\Delta\theta}(\tau) \cos \omega\tau d\tau,$$

нормированные на величину дисперсии, приведены на рис. 2 в полулוגарифмическом масштабе. Кривая 3, соответствующая автокорреляционной функции типа  $k_{\Delta\theta}(\tau) = De^{-\alpha\tau} \cos \omega_0\tau$ , имеет максимум на частоте  $f = \frac{\omega_0}{2\pi}$  (период  $\sim 1,5$  мин). Наличие этого максимума объясняется, по-видимому, существованием на соответствующей частоте в спектре флуктуаций скорости ветра максимума. Другие спектральные функции, соответствующие экспоненциально убывающим автокорреляционным функциям, выраженных максимумов не имеют.

Из полученных экспериментальных данных видно, что для спектральных кривых, соответствующих наиболее широкому спектру турбулентных флуктуаций температуры в воздухе, на уровне спектральной плотности, равной 0,3 от ее максимального значения, верхняя частота исследуемых флуктуаций не превышает 0,3 гц. Соответствующая характеристика спектральных кривых, вычисленных для случая наиболее широкого спектра турбулентных флуктуаций температуры в воде 0,1 гц.

Поступила в редакцию  
20.1 1969 г.

Кафедра  
физики моря и вод суши