

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.467.7:551.8

ПРОФИЛИ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ХОЛОДНОЙ ПЛЕНКЕ У СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОТОКА ВОДЫ

О. Н. Мельникова, Г. Г. Хунджуа

(кафедра физики моря и вод суши)

Известно, что в результате тепло- и массообмена между океаном и атмосферой в миллиметровых приповерхностных слоях воды наблюдаются огромные вертикальные градиенты температуры. Это так называемая холодная пленка океана. Путем прямых регистраций профиля температуры в условиях открытого моря малоинерционным термозондом было установлено, что на начальном участке холодной пленки в слое толщины 0,1—0,2 мм температура по глубине меняется линейно, а ниже наблюдается квазиоднородное распределение [1, 2].

В то же время сведений о динамической структуре холодной пленки, которые необходимы для понимания механизма подвода тепла к поверхности океана и режимов движения вблизи поверхности контакта вода—воздух, нет даже для лабораторных условий, что обусловлено отсутствием необходимой методики и аппаратуры.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение в лабораторных условиях профилей скорости и температуры в верхнем миллиметровом слое у свободной поверхности плоскопараллельного потока воды. Для решения поставленной задачи была разработана специальная методика, основанная на том, что в стационарном турбулентном потоке математическое ожидание записанных пульсаций скорости представляет собой величину средней скорости течения. Последовательная регистрация модуля скорости течения на соседних горизонтах позволяет после осреднения построить вертикальный профиль скорости. Измерителем скорости течения может служить термогидрометр с нитью диаметром 10—20 мкм, расположенной в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения потока.

Действительно, в том случае, когда нить термогидрометра направлена вдоль горизонтальной поперечной координаты, модуль мгновенной скорости потока c , регистрируемый термогидрометром, определяется из выражения $c^2 = (\bar{U} + u')^2 + (\bar{W} + w')^2$, где \bar{U} , u' — среднее и пульсационные значения продольной составляющей вектора мгновенной скорости, а \bar{W} , w' — соответствующие вертикальные компоненты. Поскольку по определению $\bar{u}' = \bar{w}' = 0$, осредненное значение будет $\bar{c}^2 = \bar{u}^2 + \bar{u}'^2 + \bar{W}^2 + \bar{w}'^2$.

Из экспериментальных данных известно, что в прямых турбулентных потоках осредненное движение в направлении, перпендикулярном оси канала, наблюдается только в углах каналов некруглого сечения, причем скорость такого движения составляет несколько процентов от величины продольной составляющей поля скорости [3, 4], т. е. $\bar{W} \ll \bar{U}$. Известно также, что пульсации скорости малы по сравнению с величиной средней скорости потока, причем по общепринятым оценкам среднее значение квадрата пульсации $\bar{u}'^2 < 0,01\bar{U}^2$. Таким образом,

при точности измерений скорости потока в несколько процентов можно считать, что $\bar{v}^2 \approx U^2$.

В настоящей работе измерения скорости потока проводились с помощью термогидрометра постоянного тока, в котором чувствительным элементом служила платиновая нить длиной 5 мм и диаметром 25 мкм. В качестве регистрирующего прибора использовался цифровой вольтметр В7-27, работающий в режиме измерения тока. При скоростях потока 5—15 см/с и токе накала 0,8 А чувствительность аппаратуры позволяла разрешить скорости, различающиеся на 0,5 см/с. Основное требование, которое учитывалось при разработке аппаратуры, соответствующей указанной методике, — локализация нити термогидрометра на данном горизонте.

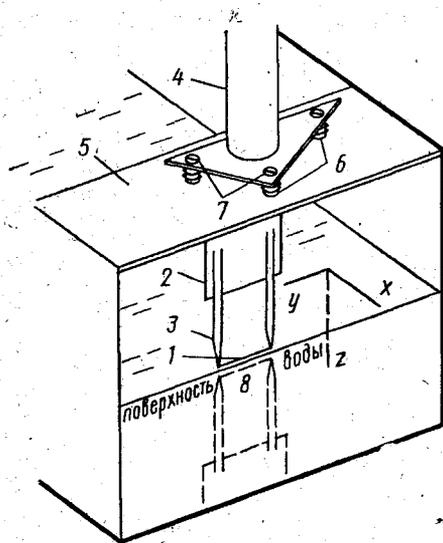


Рис. 1

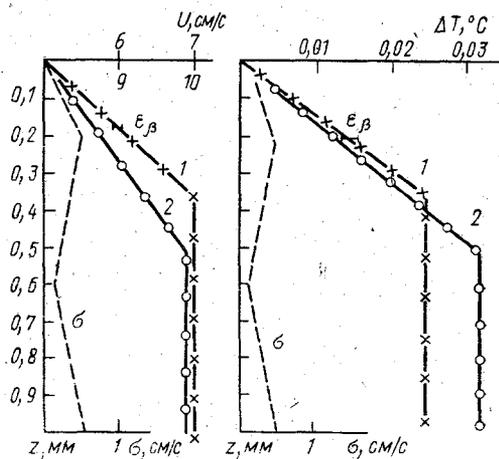


Рис. 2

На рис. 1 показана схема установки. Здесь 1 — измерительная нить термогидрометра, смонтированная на специальной вилке 2 с двумя заостренными штырями 3, изготовленными из марганца. Вилка крепилась к мерной игле 4, обеспечивающей перемещение термогидрометра по вертикали с шагом 0,1 мм. Игла устанавливалась на горизонтальной плите 5, лежащей на бортах лотка. Для того чтобы обеспечить регулировку положения измерительной нити относительно поверхности потока, игла с укрепленным на нем чувствительным элементом термогидрометра помещалась на трех пружинах 6, сжимаемых винтами точной коррекции 7. Параллельность нити термогидрометра и поверхности потока контролировалась визуально и считалась достаточной, если нить и ее изображение в воде 8 совмещались.

Регистрация профиля температуры в потоке осуществлялась также по осредненным величинам, полученным на дискретных горизонтах. Датчиком мгновенного значения температуры служила дифференциальная медно-константановая термопара, сваренная встык. Спай термопары помещался в сосуд Дьюара.

Сигнал, поступающий с измерительного спаив термопары, после предварительного усиления (описание усилителя приведено в работе

[5]) регистрировался цифровым вольтметром В7-27. Чувствительность аппаратуры позволяла определять температуру с точностью $0,002^{\circ}\text{C}$.

Измерения скорости потока и его температуры по глубине в поверхностной пленке проводились синхронно.

Сигнал от датчиков подавался по кабелю к регистрирующей аппаратуре, установленной вблизи лотка. Частота записи сигнала и время измерений на одном горизонте определялись после проведения спектрального анализа регистрируемых пульсаций скорости и температуры. Был принят интервал отсчета $0,5$ с, время записи на горизонте $1,5$ мин (при этом регистрировалось 15 периодов основных энергонесущих колебаний).

Профили скорости и температуры измерялись в плоскопараллельном потоке, смоделированном в лотке длиной 20 м, шириной 40 см и глубиной 20 см. Стабилизация скорости потока осуществлялась с помощью специального устройства плавной подачи воды в лоток, предусмотренной в конструкции лотка, и дополнительных поплавков, установленных на входе воды в лоток.

Для обеспечения стационарности внешних параметров потока — температуры воздуха и его влажности — были исследованы зависимости этих величин в лаборатории от времени с начала эксперимента и определены интервалы времени, в которых параметры не менялись. Профили скорости и температуры потока измерялись только в эти промежутки времени.

Измерения проводились при различных значениях скорости потока, температуры и влажности. Скорость потока в лотке измерялась с помощью регулировки расхода воды. Так как система регулировки влажности и температуры воздуха в лаборатории не предусмотрена, то необходимый интервал значений относительной влажности и температуры воздуха получен в различные периоды отопительного режима в течение года.

В ходе эксперимента проведено 30 серий регистраций профилей скорости и температуры в поверхностном слое потока, которые показали существование холодной пленки на поверхности воды с линейным распределением скорости и температуры потока по глубине.

Характерные профили скорости и температуры потока, показанные на рис. 2, получены при температуре воздуха $T_a = 15^{\circ}\text{C}$, относительной влажности 54% , температуре воды на оси канала $T_w = 15^{\circ}\text{C}$ и скорости потока на оси 10 см/с (кривая 1) и 7 см/с (кривая 2). На рис. 2 даны относительные величины температуры воды потока, отсчитанные от величины температуры воды на поверхности потока.

Наблюдаемый на рис. 2 резкий переход от линейной части профилей температуры и скорости к однородной обусловлен фиксированным шагом перемещения датчиков по глубине.

Пунктиром на рис. 2 показана зависимость дисперсии величин температуры и скорости потока от глубины $\sigma(z)$. Доверительный интервал полученных измерений считается по формуле $\epsilon_{\beta} = \sqrt{2/(n-1)} t_{\beta} \sigma$, где n — число измерений, t_{β} — коэффициент Стьюдента, $t_{\beta} = 1$ для доверительной вероятности $\beta = 0,67$. На рис. 2 доверительный интервал показан в области максимальной дисперсии в виде отрезка.

В результате проведения серии экспериментов были получены (рис. 3) зависимости толщины ламинарного подслоя холодной пленки (кривая 1), градиентов температуры (кривая 2) и скорости в нем (кривая 3) от скорости потока при $T_w = 15^{\circ}\text{C}$, $T_a = 15^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 54% . Исследование показало, что толщина ламинарного подслоя холодной пленки и градиент скорости потока в ней

зависят только от скорости потока на оси канала, а градиент температуры определяется динамическими и температурными характеристиками потока и воздуха.

На основе 30 серий наблюдений при 15 различных сочетаниях значений температуры и влажности воздуха, температуры воды потока на его оси, а также скорости потока и результатов анализа проведенных наблюдений получены следующие основные выводы:

— при всех значениях перечисленных параметров в поверхностной части холодной пленки обнаружен подслоя с практически линейным распределением скорости и температуры по глубине потока, соответствующим ламинарному характеру движения;

— толщины участков пленки с линейным распределением температуры и скорости потока по глубине совпадают;

— толщина ламинарного подслоя холодной пленки уменьшается при увеличении скорости потока;

— градиенты скорости и температуры в ламинарном подслое холодной пленки возрастают при увеличении скорости потока;

— толщина ламинарного подслоя пленки и градиент скорости потока в этой области не зависят от температуры воды и воздуха и определяются только средней скоростью.

Таким образом, впервые с помощью новой методики удалось определить профиль скорости потока в холодной пленке в лабораторных условиях, а также исследовать изменение профиля скорости при различных значениях скорости потока на оси канала, температуры воды потока, температуры и влажности воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хунджуа Г. Г., Андреев Е. Г. ДАН СССР, 1973, 208, с. 841. [2] Шигаев В. В., Дружилли С. Н., Лебедев В. Л. Метеорология и гидрология, 1982, № 5, с. 75. [3] Brunderett E., Baines W. D. J. Fluid Mech., 1964, 19, p. 375. [4] Gessner F. B., Jones J. B. Ibid., 1965, 23, p. 689. [5] Ляховин В. В. Электронная промышленность, 1979, № 5, с. 26.

Поступила в редакцию
21.05.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1986, Т. 27, № 4

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 548.537:611.46

НАМАГНИЧЕННОСТЬ И МАГНИТОСТРИКЦИЯ ШПИНЕЛЕЙ $\text{NiFe}_{2-x}\text{Sc}_x\text{O}_4$

К. П. Белов, Н. В. Волкова, Наваль Субхи Бехиам (Ирак), Г. Я. Агеева

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

В данной работе изучались температурные зависимости удельной намагниченности σ_s и констант магнитострикции λ_{111} и λ_{100} трех монокристаллов системы $\text{NiFe}_{2-x}\text{Sc}_x\text{O}_4$ ($x=0,05; 0,12; 0,3$).

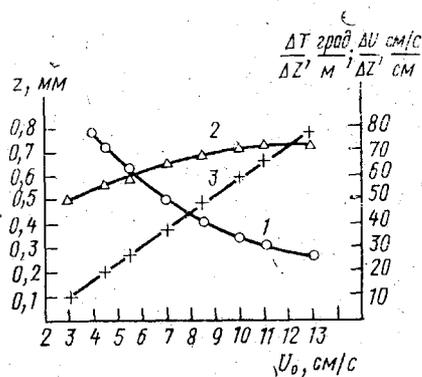


Рис. 3