

## Расчет вязкого дрейфового течения на склонах ветровых волн в начале разгона

О. Н. Мельникова,\* К. В. Показеев†

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, кафедра физики моря и вод суши  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

В работе предлагается методика расчета вязкого дрейфа на склонах волн в зоне их генерации. Экспериментально исследован процесс формирования цепочки вихрей на переднем склоне волны.

PACS: 92.10.hb, 92.10.Kp. УДК:532.59, 532.5.032.

Ключевые слова: вязкий дрейф, усиление ветровых волн, вихри в пограничных слоях.

В работе предлагается методика расчета вязкого дрейфа на склонах волн в зоне их генерации. Методика основана на физической модели процесса, представленной нами ранее [1]. Экспериментально было показано, что скорость ветрового вязкого дрейфа возрастает на заднем склоне волны и существенно уменьшается на переднем склоне волны. В предыдущих работах [2] экспериментально установлено, что на переднем склоне волны в расширяющемся вязком слое ветрового потока (так как скорость ветра убывает в направлении движения [3]) происходит регулярный процесс формирования цепочки вихрей. Цепочка движется вверх по потоку, оставаясь в вязком слое, затем в конце цикла выбрасывается вверх за счет модифицированной силы Жуковского. Под вихрями в зоне пониженного давления происходит деформация поверхности воды — поверхность смещается в направлении вихрей. В результате в деформированном вязком слое воздуха ламинарный поток обтекает цепочку вихрей, движущуюся навстречу потоку, причем тангенциальная скорость в нижней точке вихрей направлена навстречу течению. На заднем склоне волны, где скорость воздушного потока растет в направлении движения [3] и вязкий слой сужается, вихри не образуются, и деформации вязкого слоя не наблюдается в эксперименте. Отсутствие симметрии деформации поверхности воды на склонах волны подтверждает предложенную модель образования вихрей — другие модели, связанные, например, с изгибом поверхности воды, должны давать симметричную картину деформации. Схема течения в вязком слое воздуха на склонах волны представлена на рис. 1.

Для построения методики расчета вязкого дрейфа необходимо определить распределение скорости в вязком слое воздуха вблизи поверхности раздела для того, чтобы, используя равенство касательных напряжений в воздухе и воде, поставить граничное условие на верхней границе вязкого слоя воды. Для решения этой задачи был использован ряд упрощений — рассматривался горизонтальный вязкий слой воздуха, в котором стационарный фоновый поток с линейным вертикаль-

ным профилем скорости обтекает цепочку твердотельных вихрей равной интенсивности, вихри движутся навстречу потоку с постоянной скоростью. Считается, что поверхность воды смещается к границе твердотельного вихря под вихрем, проводится осреднение координаты поверхности воды вдоль склона.

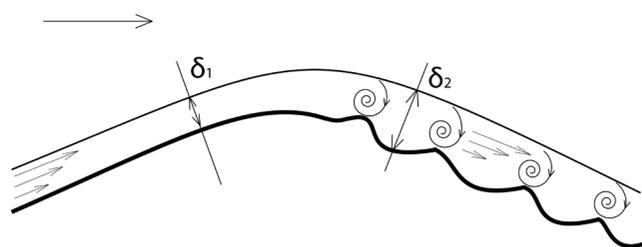


Рис. 1: Схема течения в вязком слое воздуха на склонах ветровой волны (фазовая скорость волны меньше скорости ветра)

Характеристики вязких слоев и поля скорости фонового потока находятся по экспериментальным данным для заданной скорости ветра [2]. Параметры вихрей рассчитываются из условия сохранения завихренности фонового течения в вязком слое. Осредненный период отрыва вихрей и расстояние между вихрями определяются характеристиками ветрового потока вне пограничного слоя (скорость ветра и перепад скорости на склоне волны) по полуэмпирическим соотношениям, полученным ранее [2].

Для расчета поля скорости записывался комплексный потенциал для возмущений сдвигового течения, обтекающего цепочку вихрей, перемещающейся навстречу течения с постоянной скоростью. Скорость считалась фиксированной и определялась известным решением Ламба для цепочки вихрей у поверхности раздела вода-воздух. Далее определялась комплексно сопряженная скорость возмущений. Реальная часть этой скорости определяла зависимость горизонтальной скорости от координат. С помощью полученного выражения рассчитывалась производная скорости по вертикальной координате для осредненного положения водной поверхности, что позволяло определить касательное напряжение на границе вода-воздух. Расчет велся только под центром вихря, что вносит дополнительные погрешности при увеличении расстояния между

\*E-mail: olamel@yandex.ru

†E-mail: sea@phys.msu.ru

вихрями.

На нижней границе вязкого слоя в воде скорость дрейфа считалась равной нулю, что соответствует экспериментальным данным. Упрощением задачи при расчете дрейфового течения служило предположение, что толщина слоя не меняется вдоль склона волны и течение является стационарным. Для такой постановки задачи использовалось решение Ламба о развитии дрейфового течения при постоянном ветре в слое воды конечной глубины.

Полученное решение было сопоставлено с экспериментальными данными, полученными в лаборатории кафедры физики моря и вод суши физического фа-

культета МГУ. Установка представляет собой прямой канал с прозрачными стенками длиной 3.5 м и шириной 20 см. Параметры волн и скорость дрейфа определялись по видеозаписи процесса, скорость ветра определялась анемометром. Исследован диапазон значений скорости ветра  $3-7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , длин волн 4,5–8 см, крутизны волн 0,22–0,31. Для этого диапазона параметров отклонение результатов расчета от экспериментальных данных не превышают доверительный интервал для вероятности 0,67, составляющий 10% от измеряемой величины. Это позволяет заключить, что представленная модель отражает наиболее важные особенности процесса.

[1] Мельникова О. Н. и др. Изв. РАН. Сер. физ. **76**, № 12. С. 1515. (2012).

[2] Иванова И. Н. и др. Изв. РАН. Сер. физ. **68** № 12.

С. 1759. (2004).

[3] Grare L. et al. J. Fluid. Mech. **722**. P. 5. (2013).

## Calculation of viscous Drift on Slopes of Wind Waves at the initial Fetch

O. N. Melnikova<sup>a</sup>, K. V. Pokazeev<sup>b</sup>

*Department of Physics at Sea and Land Water, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University,  
Moscow 119991, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>olamel@yandex.ru, <sup>b</sup>sea@phys.msu.ru*

This paper proposes a method of the calculation of the viscous drift on the slopes of wind waves at the initial fetch. Forming of a chain of vortices on the front slope of the waves is experimentally investigated.

PACS: 92.10.hb, 92.10.Kp.

Keywords: viscous drift, amplification of the wind waves, vortices in boundary layers.

### Сведения об авторах

1. Мельникова Ольга Николаевна — докт. физ.-мат. наук, доцент, доцент; тел.: (985) 368-51-77, e-mail: olamel@yandex.ru.
2. Показеев Константин Васильевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: (495) 939-16-77, e-mail: sea@phys.msu.ru.