

Доклад Дмитрия Сухарева.

Слайд 1.

Здравствуйте, меня зовут Дмитрий Сухарев. Моя работа посвящена изучению конвективного течения в поверхностном слое воды при наличии ветра.

Слайд 2.

Конвективное перемешивание и турбулентность играют большую роль во взаимодействии воздух-вода. На поверхности океанов или озер при наличии ветра часто можно наблюдать длинные полосы или валки, приблизительно совпадающие с направлением ветра, типичные картины представлены здесь на рисунках. В 1938 году Ирвинг Лэнгмюр наблюдал это явление и продемонстрировал, что эти полосы были связаны с подводными продольными встречно-вращающимися вихрями в озере. Это явление теперь носит его имя. Когда ветер начинает дуть над границей воздух-море, возникает течение и поверхностные волны. Взаимодействие ветровых волн и течений приводит к генерации циркуляции Ленгмюра, которая состоит из вращающихся в противоположные стороны вихрей, выровненных ветром (их вы можете видеть на схеме).

Слайд 3.

В настоящее время принято считать, что океанические циркуляции Ленгмюра возникают в результате взаимодействия стоковых дрейфов, генерируемых волнами с приповерхностными сдвиговыми потоками. Крейк и Лейбович впервые создали подробную гидродинамическую модель таких циркуляций. Впоследствии его стали называть механизмом Крейка-Лейбовича. В приближении Буссинеска и предположении, что импульс вихревой диффузии и тепла постоянен, уравнения Крейка-Лейбовича имеют вид представленный на слайде. Но на сегодняшний день никакие из существующих численных моделей, описывающих циркуляцию Ленгмюра, не отвечают на вопрос при какой скорости ветра и параметрах водоёма начинает наблюдаться визуально конвекция Ленгмюра в виде полос выстроенных по ветру. Это всегда отмечал и Лейбович – модель хорошо описывает циркуляции, но только при условии, что они начались, само начало циркуляций модель не предсказывает. Исследования, проводимые в нашей лаборатории, позволили предположить, что появление такого рода циркуляций связано со сложной реологией поверхности воды – при определенной скорости ветра пленка рвется и возникают циркуляции. Экспериментальной проверке этого предположения в рамках лабораторных исследований и посвящена данная работа.

Слайд 4.

Целью нашей работы было экспериментальное исследование конвективных течений, создаваемых при обдуве, в Т-образном канале с применением двух современных методов визуализации, а именно, ИК-термографии высокого разрешения и метода цифровой трассерной визуализации.

Слайд 5.

Для наших исследований мы использовали два Т-образных канала разных размеров, один из них длиной более трёх метров и шириной 15 см, находится на кафедре вод моря и суши, а другой – имел длину в три раза меньше с изменяющейся шириной от 0 до 20 см и он был сделан специально для этой работы на нашей кафедре. Обдув воды в каналах создавался при помощи вентилятора с регулируемой мощностью, скорость обдува контролировалась анемометром РСЕ-423. Скорость измерялась в течении минуты и усреднялась по времени, разброс значений скорости не превышал $\pm 0,3$ м/с. На выходе вентилятора ставился рассекатель из трубочек для создания более равномерного потока.

Вода засеивалась частицами нейтральной плавучести, в плоскости вдоль канала разворачивали лазерный лист и снимали камерой частицы в плоскости лазерного листа в режиме видео, таким образом, реализовывался метод цифровой трассерной визуализации. Полученные данные обрабатывались с помощью специальной программы, написанной Винниченко Николаем Аркадьевичем, и мы получали поля скорости и профили составляющих скорости. Поле температуры поверхности мы снимали с помощью тепловизора FLIR 7700 и нас больше всего интересовали не абсолютные значения, а структура поля температуры. Как видно из рисунка справа, структура поля температуры плёнки и свободной поверхности существенно различается. Так же благодаря наличию мелких структурных элементов мы при помощи программы для метода цифровой трассерной визуализации смогли определять скорости движения этих структур по поверхности. Пример таких измерений продемонстрирован на следующем слайде.

Слайд 6.

Здесь вы видите термические структуры поверхности при скорости обдува 4,8 м/с в разных частях канала, в разные моменты времени. Можно отметить, что в области со свободной поверхностью горизонтальные составляющие скорости преимущественно направлены вдоль скорости ветра, тогда как поверхность плёнки может двигаться в разных направлениях, и она эти направления меняет как видно из рисунков. Это связано с тем, что поверхностные силы в пленке так велики, что пленка не рвется, а, значит, она движется с нулевой поверхностной дивергенцией и есть слои, которые движутся против ветра.

Слайд 7.

Стоит отметить, что изначально вся поверхность затянута плёнкой, потом при некоторой скорости она рвётся и возникает часть поверхности свободная от плёнки, при этом над самой границы раздела устанавливается определённая скорость. На графиках показана серия измерений, которая отражает взаимосвязь скорости ветра в начале канала и скорости ветра над границей при различных ширинах канала. В течении трёх дней наблюдалась хорошая повторяемость результатов. Видно, что измерения на 15 и 20 см каналах близки между собой, а при ширине канала менее 10 см, существенную роль начинают играть стенки каналов.

Слайд 8.

На этом слайде сравниваются результаты, полученные в коротком и длинном канале. Ширина короткого канала была выставлена такая же, как и в длинном 15 см. В длинном канале плёнка начинает рваться при большей скорости ветра и расстояние, на котором расположена граница меньше, чем в коротком канале при той же скорости обдува. Возможно, это связано с тем, что общая площадь поверхности воды в длинном канале больше и накапливается на ней большее количество загрязнений.

Слайд 9.

При повторных измерениях в один и тот же день, оказалось, что скорость обдува, при которой рвётся плёнка и скорость на границе свободная поверхность - плёнка становятся меньше, по сравнению с первым измерением, а площадь свободной поверхности больше. Здесь приведены результаты первого и повторного измерения для разной ширины короткого канала. По нашим предположениям, такое изменение параметров при которых происходит смена режимов движения поверхности связано с тем, что под действием ветра поверхность воды со временем очищается, и все нерастворимые примеси сносятся в конец канала. Обычно плёнка довольно быстро восстанавливается из объёма, но, похоже, при длительном действии ветра очищается не только поверхность, но и приповерхностный слой и пленка не восстанавливается быстро диффузией. Требуется несколько часов

перерыва, чтобы вернулись первоначальные значения скорости в канале. Таким образом, проведенные измерения показали наличие определенной «памяти» приповерхностного слоя в зависимости от того, каким образом менялась скорость ветра, а не только от поля скоростей ветра в данный момент времени. Такой вывод позволяет объяснить многочисленные различия в измерениях циркуляций Ленгмюра даже для одного и того же водоема при слабоменяющемся составе воды.

Слайд 10.

Как уже говорилось, мы также измеряли поля скорости в воде вблизи поверхности с помощью метода цифровой трассерной визуализации и получали поле скорости в плоскости лазерного листа. Пример таких измерений вы можете видеть на слайде. Характерной особенностью такого поля скорости является то, что в районе границы раздела свободной поверхности и плёнки наблюдается «подныривание» под плёнку, особенно хорошо это видно на нижнем рисунке.

Слайд 11.

Дополнительно мы строили вертикальные профили скорости на различных расстояниях от границы свободная поверхность плёнка. Пример таких профилей приведён на слайде. Для таких профилей характерно, что в области свободной поверхности мы наблюдаем линейный профиль горизонтальной скорости и вблизи поверхности горизонтальная скорость имеет то же направление, что и ветер. Что касается профилей горизонтальной составляющей скорости в области плёнки, то там горизонтальная составляющая скорости вблизи поверхности часто меняет своё направление и бывает направлена как вдоль скорости ветра, так и против неё.

Слайд 12.

По результатам нашей работы мы можем сделать следующие выводы.

1. При увеличении скорости ветра, увеличивается площадь поверхности, свободной от плёнки и, таким образом, становится возможным массообмен между поверхностью и объёмом воды. В натуральных условиях это может приводить к скапливанию поверхностных загрязнений и позволяет визуализировать циркуляцию Ленгмюра. В теплофизических приложениях также необходимо учитывать наличие двух областей охлаждения при обдуве – с пленкой и без нее, что приводит к неоднородности охлаждения.
2. Измерения с помощью ИК- термографии и цифровой трассерной визуализации подтверждают гипотезу о том, что плёнка движется только в горизонтальной плоскости при наличии ветра, что приводит к сложной структуре приповерхностного течения, несмотря на то, что направление ветра задано.
3. Конвективные течения имеют различный характер при наличии свободной плёнки и без неё. При столкновении с плёнкой со стороны свободной поверхности наблюдается подныривание верхнего слоя под плёнку. На участке со свободной поверхностью характерен линейный профиль горизонтальной составляющей скорости вблизи поверхности.
4. Проведенные измерения показали наличие определенной «памяти» приповерхностного слоя. Постепенная очистка или загрязнение не только поверхности, но и приповерхностного слоя при наличии ветра приводит к достаточно долгому сохранению неоднородности приповерхностных слоев. Такой результат позволяет сделать вывод о зависимости возникновения циркуляции Ленгмюра не только от свойств воды в водоеме и силы ветра в момент возникновения циркуляций, но и от более ранних ветровых воздействий.

Спасибо за внимание.