

Пространственные изменения концентраций примесей в воде при обдуве бассейна.

А.В.Уваров¹, Ю.Ю.Плаксина¹, Н.А.Винниченко¹

1- Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, физический факультет

uvarov@phys.msu.ru, yuplaksina@mail.ru.

тел. 8-495-939-26-94

В данной работе исследовались ветровые течения в бассейнах Т-образной формы при обдуве поверхности с помощью мощного вентилятора. Такие исследования позволяют моделировать теплофизические и, с известными оговорками, геофизические процессы. Интерес такой задачи для геофизики определяется наблюдением в натуральных условиях циркуляций Ленгмюра – резкого перестроения в определенный момент времени поверхности водоема, наблюдаемого как выстраивание пены и мусора на поверхности в ровные полосы. Моделирование такого явления не представляет проблем для современной вычислительной гидродинамики, но только после того, как полосы образовались. Само перестроение поверхности моделями не описывается [1], хотя момент перестроения и является основным наблюдаемым экспериментально эффектом. Исследования последних лет продемонстрировали влияние малых примесей на конвективные гидродинамические течения вблизи поверхности. Для полного перестроения течения достаточно концентрации примеси на уровне $5 \cdot 10^{-5} \text{М}$ [2] и по этой причине очевидно, что вода в любом водоеме или бассейне оказывается водным раствором с сильно измененными (с точки зрения гидродинамики) свойствами по сравнению с чистой (точнее, сверхчистой) водой. Влияние на течения сильных (конденсированных) пленок хорошо известно, но в данном случае речь идет о пленках LE/G по общепринятой классификации (растянутых и газообразных), которые очень слабо меняют коэффициент поверхностного натяжения (на величину порядка $0,1 \text{ мН/м}$).

Можно предположить, что в рассматриваемой задаче изменения в структуре поверхностных течений при ветровом воздействии приводят к разрыву пленки и изменению поверхностного слоя.

В экспериментах использовался Т-образный бассейн с каналом переменного сечения (0-20 см) длиной 114 см и глубиной 29 см (Рис.1). Скорость обдува – до 10 м/с. Современные экспериментальные методы позволили наглядно продемонстрировать эффекты изменения структуры поверхности и скоростного режима течения в объеме как в области пленки, так и в области свободной поверхности. В работе использована ИК-

термография высокого разрешения (тепловизор FLIR7700 с разрешением 640 на 512 пикселей) и цифровая трассерная визуализация (PIV) приповерхностного течения, для чего в бассейн вводились частицы нейтральной плавучести диаметром 10 мкм и в разных точках бассейна создавалась подсветка с помощью лазерного листа.

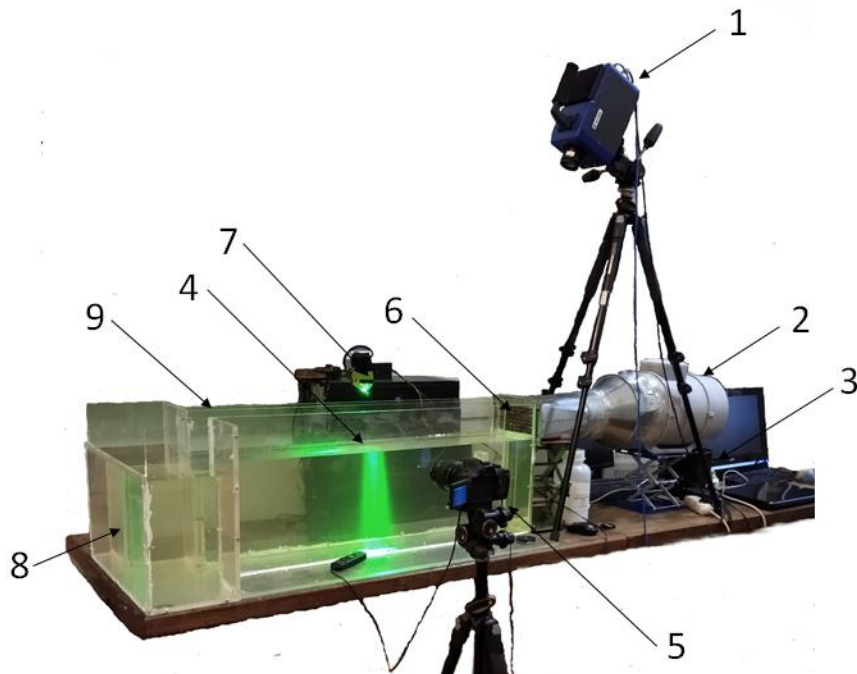


Рисунок 1. Схема установки. 1 – тепловизор, 2 – вентилятор, 3 – трансформатор, 4 – лазерный лист, 5 – камера, 6 – рассекающий элемент, 7 – лазеры с цилиндрическими линзами, 8 – Т-образный бассейн с водой, засеянной частицами нейтральной плавучести, 9 – Г-образная перегородка

Очевидно, что в достаточно узком канале нельзя проанализировать все свойства «натурного» течения, однако закономерности разрыва пленки, деления течения на два типа и изменения концентрации примесей хорошо фиксируются. В результате действия ветра вблизи вентилятора образуется участок чистой поверхности, а пленку сдувает ниже по течению. Эти две области течения очень существенно отличаются по размеру конвективных ячеек (это фиксируется ИК-термографией) и по строению пограничного слоя (это фиксируется с помощью метода PIV). Для измерения поля скорости на поверхности использовалась разновидность метода PIV – IR-

PIV, в котором в качестве частиц на поверхности используются мелкие термические структуры, которые фиксируются тепловизором в видео режиме [3] (см. рис. 2).

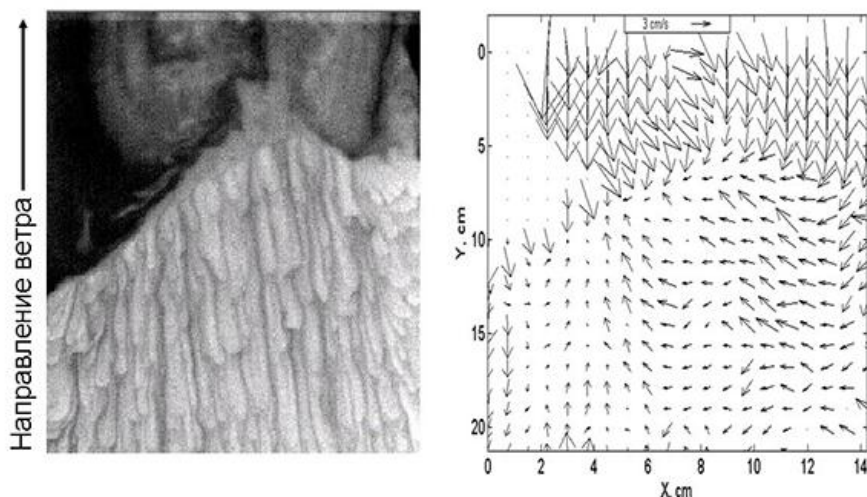


Рисунок 2. Поле температур в канале в области перехода «пленка-свободная поверхность» (чем темнее цвет, тем холоднее поверхность, разность температур между самым холодным и самым тёплым участком поверхности $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) и поле скоростей на поверхности, полученное с помощью IR-PIV. Скорость ветра в точке перехода – 4 м/с .

Важным свойством приповерхностного слоя оказывается его «ветровая память». При механическом смахивании поверхности пленка восстанавливается за несколько секунд за счет адсорбции из объема, но при длительном ветровом воздействии приповерхностный слой начинает обедняться, и пленка начинает исчезать при более низких скоростях обдува. Процесс выравнивания концентраций примесей занимает несколько часов после выключения вентилятора. Измерения скорости над границей плёнки и расстояния от начала канала до границы раздела свободной поверхности и плёнки, повторенные с интервалом в сутки несколько раз, совпадали с учётом погрешности измерения, если же измерения проводились в один и тот же день друг за другом, то концентрация веществ вблизи поверхности не успевала восстанавливаться, и мы наблюдали сдвиг границы плёнки и свободной поверхности и уменьшение скорости, при которой плёнка рвется (см. рис. 3).

Как видно из проведенного рассмотрения, малых концентраций примесей в воде оказывается достаточно, чтобы блокировать (точнее, изменить) движение поверхности даже при наличии достаточно сильного ветра. Кроме того, ярко проявляется кинетика адсорбции-десорбции примесей. Постепенная очистка приповерхностного слоя при действии ветра меняет реологию поверхности.

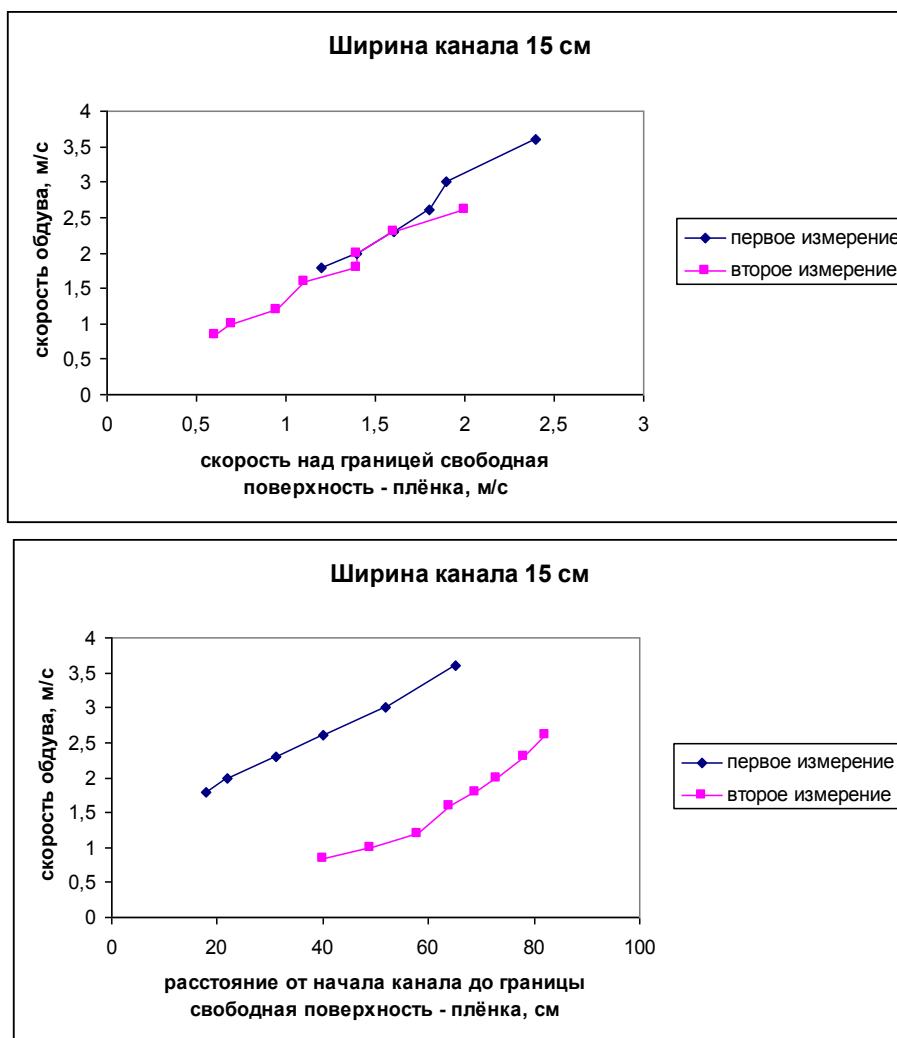


Рисунок 3. Повторные измерения скорости над границей плёнки и расстояния от начала канала до границы раздела свободной поверхности и плёнки в один и тот же день

Такая ситуация существенно усложняет моделирование в реальных условиях, поскольку требуется анализ не только реологии поверхности, но и пространственного перераспределения примесей при ветровом воздействии.

[1] S. Leibovich. The form and dynamics of Langmuir circulations // Ann. Rev. Fluid. Mech, v.15, pp. 391–427 (1983).

[2] A.V. Uvarov, N.A. Vinnichenko, Yu.Yu. Plaksina et al. Application of high-resolution ir thermography to study the surface of aqueous solutions. // Phys. Wave Phenom., v.28(2) pp. 135–138 (2020).

[3] N.A. Vinnichenko, Yu.Yu. Plaksina, K.M. Baranova et al. Mobility of free surface in different liquids and its influence on water striders locomotion // Environ. Fluid Mech., v.18(5). pp.1045–1056 (2018).