

Гидродинамический стенд

В.П.Башурин¹, И.Н.Будников², В.А.Клевцов², Л.В.Ктиторов¹, А.Лазарева¹,
Е.Е.Мешков², И.А.Новикова², Ф.Плетенев¹, Я.В.Федоренко³, Г.М.Янбаев².

¹ *ОАО ИТЦ «Система – Саров», Сатис, Нижегородская обл., Россия*

² *СарФТИ НИЯУ МИФИ, Саров, Россия*

³ *МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва, Россия*
eemeshkov@gmail.com

Разработана методика лабораторного моделирования двумерных течений воды в канале прямоугольного сечения. Поток создается в вертикально расположенной трубе прямоугольного сечения при вытекании воды через отверстие в днище трубы. В этой установке создается кратковременный (до ~ 15с) ламинарный поток воды со скоростью до ~ 18 см/с. Разработана методика регистрации скорости течения и формы потока при обтекании моделей различной формы.

Ключевые слова: гидродинамическая установка, оптическая регистрация, скорость течения, визуализация течений, маркеры, окрашенные струйки.

Гидродинамические исследовательские стенды для создания стационарных потоков обычно являются достаточно громоздкими, дорогостоящими и трудозатратными в эксплуатации сооружениями (см. напр. [1]). Разработанная нами и описанная ниже конструкция стенда свободна от таких недостатков. В этом стенде ограниченный во времени ламинарный поток воды создается в вертикально расположенной трубе при вытекании воды через отверстие в днище трубы. Такая конструкция стенда используется для исследования возможностей увеличения плотности кинетической энергии потока при помощи системы направляющих конструкций. Для проведения экспериментального моделирования работы осесимметричных кумулирующих устройств в первом варианте стенда [2] использовалась вертикально расположенная цилиндрическая стеклянная труба диаметром 18 см и высотой 1 м. При вытекании воды через сливное отверстие диаметром 4 см в трубе создавался ламинарный поток воды со скоростью до ~10 см/с и длительностью несколько секунд.

Для экспериментов с плоским ускорителем потока [3,4] был разработан второй вариант стенда с прямоугольным сечением канала измерительной секции 36х6 см² и высотой 1 м. Измерительная секция стенда выполнена в виде плоского сосуда, склеенного из оргстекла и смонтированного на металлической подставке. Передняя стенка сосуда является съемной. В этой

стенке имеется отверстие со съёмным окном. На внутренней поверхности окна может крепиться исследуемая модель. Прозрачность стенок сосуда позволяет производить видеосъёмку течения и обтекания модели.

На рис.1 приведены результаты а)расчета течения в стенде по программе STAR CCM+ и б)эксперимента. В эксперименте течение в стенде визуализируется отрезками ниток, поддерживаемыми на плаву микроплавками из пенопласта. В начальной и средней стадии течения вертикально расположенные (под действием силы тяжести) нити опускаются вместе с водой, не меняя формы. Этим подтверждается одномерный и ламинарный характер течения в верхней (большой) части стенда. Отклонения от одномерного течения возникает только в зоне сливного отверстия в ~10 см от дна.

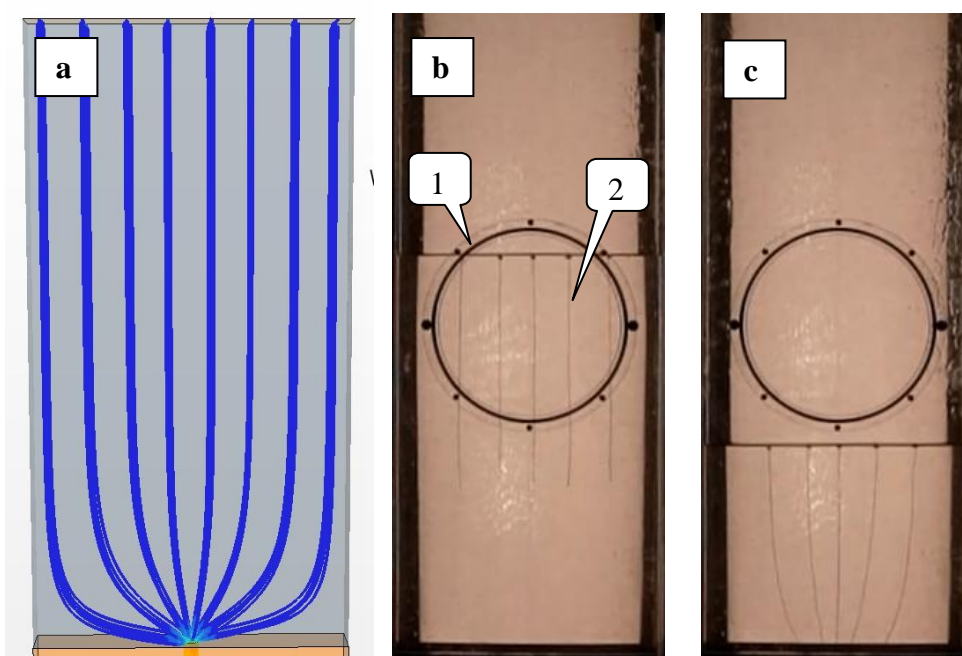


Рис.1. Линии тока в измерительной секции стенда демонстрируют одномерный и ламинарный характер течения в зоне выше 20 см над сливным отверстием. а)расчет по программе STAR CCM+, в,с)эксперимент. Течение визуализируется нитками, удерживаемыми на плаву микроплавками. Обозначения: 1– съёмное окно; 2 – нитки.

Скорость потока в области одномерного течения уменьшается со временем по мере снижения уровня воды, но в каждый момент времени эта скорость практически одна и та же во всех точках этой области в силу высокой скорости звука в воде по сравнению со скоростью течения. В установке создается кратковременный (до ~ 15с) ламинарный поток воды со скоростью до ~ 18 см/с.

Скорость течения воды в измерительной секции стенда определялась при помощи маркеров потока в виде сферических частиц (диаметром 1÷3 мм) из полистирола ($\rho=1.05 \text{ г/см}^3$). Как показывает опыт, сферические частицы из

полистирола диаметром $1 \div 3$ мм погружаются в воде с постоянной скоростью, которая зависит от диаметра частицы.

На рис. 2 приведены результаты измерений $H(t)$ уровня воды и двух частиц в зависимости от времени. Эти зависимости иллюстрируют изменение со временем уровня воды и процесс погружения частиц в воде. В покоящейся воде ($t \leq 2.7$ с) частицы полистирола погружаются с постоянными, хотя и различающимися скоростями, что связано с некоторым различием их размеров. Течение воды в измерительной секции после удаления пробки из сливного отверстия на начальном этапе ($t > 2.7$ с) носит колебательный характер (в течение около одной секунды), что отражается как на зависимости $H(t)$ уровня воды, так и положении частиц.

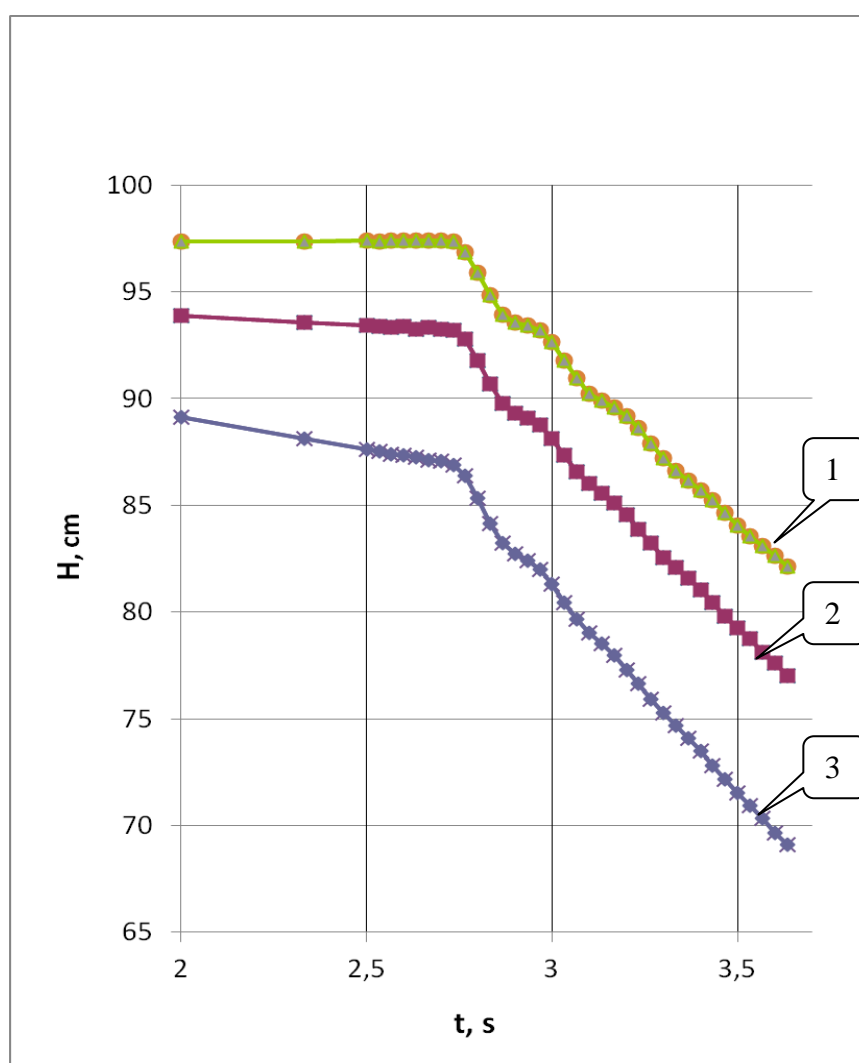


Рис.2. $H(t)$ диаграмма положения уровня воды (1) и двух частиц полистирола (2,3) (диаметром ~ 2 мм) до и после начала течения в измерительной секции. До момента времени $t=2.75$ с вода в стенде покоится.

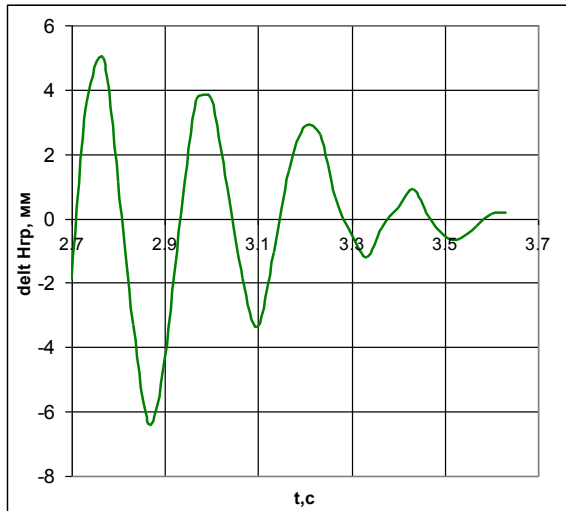


Рис. 2. Затухающие колебания уровня воды в начальной стадии истечения из измерительной секции.

течение в стенде. Оценки, основанные на сравнении зависимости $H_1(t)$ для уровня воды и $H_2(t)$, $H_3(t)$ для частиц, показывают, что разница этих величин ~ 1.5 мм.



Рис.4. Визуализация течения около плоской модели ускорителя потока при помощи набора струек, окрашенных марганцовокислым калием.

Зависимость $H_1(t)$ уровня воды в интервале времени $2,7 < t < 3,7$ с была проинтерполирована полиномом второй степени $H_{1пол}(t)$, на рис.3 приведена зависимость $H_1(t) - H_{1пол}(t)$, которая иллюстрирует затухающее колебание уровня воды (и, соответственно, скорости потока в стенде) в течение ~ 1 секунды после начала слива.

Колебательный характер течения в начальной стадии позволяет оценить точность, с которой частицы полистирола диаметром ~ 2 мм отслеживают

Был разработан и другой метод визуализации течения в стенде при помощи струек, окрашенных марганцевокислым калием. Кристаллы марганцевокислого калия, помещенные в воду, практически сразу же начинают растворяться в ней, образуя окрашенное облачко. Поскольку плотность такого раствора выше плотности воды, практически сразу же облачко начинает медленно погружаться, формируя окрашенную струйку. В наших опытах такие струйки создавались до начала течения в стенде; когда они достигали нужной длины начиналось течение в стенде. Это течение увлекает струйки, и их деформация обрисовывает картину течения около исследуемой модели плоского варианта ускорителя потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ю.Б. Базаров, Ю.Д. Богуненко, Г.А. Бондаренко, Е.Д. Вишневецкий, А.В. Кунин, А.И. Логвинов, Е.Е. Мешков, И.Н. Никитин, М.С. Попов, А.А. Рябов, Ю.К. Семенов, В.А. Стародубцев, В.П. Стаценко, С.Р. Tzanos, М.В. Dzodzo.** Турбулентное течение через связку 5x5 стержней: сравнение RANS расчетов с LDA измерениями. // Вопросы атомной науки и техники. Сер: Теор. и прикл. физика. Вып. 1-2, 2010, с.48-59.
2. **В.П. Башурин, Р.И. Каньгин, Е.Ю. Кошелева, Е.Е. Мешков, И.А. Новикова, Ф.А. Плетенев, А.А. Щепелев.** Расчетное и лабораторное моделирование кумуляции в ламинарном гидродинамическом потоке // Четырнадцатая международная школа-семинар «МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АЭРОДИНАМИКИ» Евпатория, 4-13 июня 2014г. – С.24-25.
3. **V.P. Bashurin, I.N. Budnikov, V.A. Klevtsov, L.V. Ktitorov, A.S. Lazareva, E.E. Meshkov, I.A. Novikova, F.A. Pletenev, V. Yu. Hatunkin, G.M. Yanbaev** Numerical and experimental study of the free flow speed increase in a set of guiding surface // Abstracts of Turbulent Mixing and Beyond Workshop 04-09 August 2014, Trieste, Italy, 2014, p. 60.
4. **V.P. Bashurin, N.A. Begunov, I.N. Budnikov, V.A. Klevtsov, L.V. Ktitorov, A.S. Lazareva, E.E. Meshkov, I.A. Novikova, F.A. Pletenev.** Numerical and experimental study of the unsteady flow visualization method using polystyrene markers // Abstracts of Turbulent Mixing and Beyond Workshop 04-09 August 2014, Trieste, Italy, 2014, p. 81

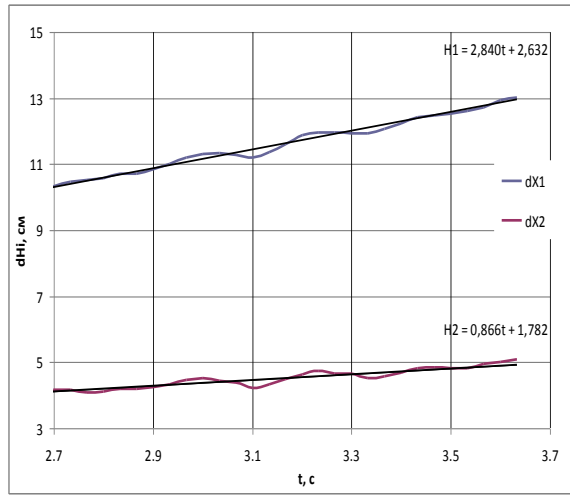


Рис. 4. Изменение положения частиц полистирола относительно уровня воды в измерительной секции.