

УДК 535.31: 681.7.01

Н. П. Кузнецов, доктор технических наук, профессор;
Р. А. Юртиков, старший преподаватель;
С. М. Соловьев, старший преподаватель
Ижевский государственный технический университет

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН ТЕКУЩЕЙ ПО КАНАЛУ ГИДРОЛОТКА ЖИДКОСТИ*

Предложена математическая модель определения глубины потока жидкости в любой точке гидролотка путем обработки фотографий моделируемого потока.

Ключевые слова: гидролоток, уровень, гидрогазоаналогия, цифровая фотография

При исследовании процессов, сопровождающих обтекание тел газовыми потоками, широкое применение находят методы аналогового моделирования. Наиболее выгодным с экономической точки зрения и физически обоснованным является метод моделирования газовых течений на основе гидрогазоаналогии. Этот метод позволяет смоделировать обтекание дозвуковыми и сверхзвуковыми потоками подвижные и неподвижные объекты.

Газогидравлическая аналогия основана на подобии между движением тяжелой жидкости по открытому каналу и движением газа с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями и является методом аналогового моделирования, основанном на двойном применении одних и тех же математических зависимостей. Испытания устройств на основе метода гидрогазоаналогии проводят в специальных экспериментальных устройствах – гидролотках [4].

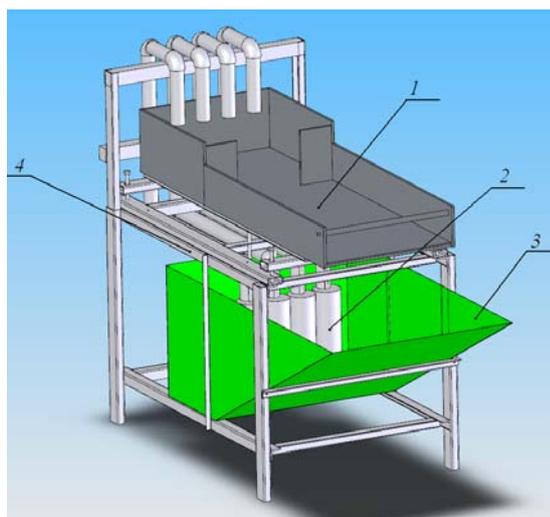


Рис. 1. Общий вид гидролотка: 1 – канал гидролотка; 2 – насосная группа;
3 – бак; 4 – металлическое основание

© Кузнецов Н. П., Юртиков Р. А., Соловьев С. М., 2010

*Статья написана в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

При моделировании обычно измеряют следующие величины: расход жидкости через гидрлоток, глубину потока в различных точках лотка и исследуемой модели, геометрические характеристики гидравлических прыжков, величину гидродинамических сил.

Для получения количественных результатов необходимо с достаточной точностью проводить измерения глубины жидкости, так как аналогом многих физических параметров газового потока является уровень свободной поверхности потока [1].

Практика предъявляет следующие требования к уровнемерам:

- 1) уровнемер должен вносить минимальное возмущение в поток;
- 2) диапазон измерений глубины жидкости 0...100 мм с точностью не хуже 0,1 мм;
- 3) измерения должны проводиться непрерывно в случае неустановившегося движения;
- 4) результаты измерений должны фиксироваться автоматически с последующей расшифровкой данных;
- 5) конструкция датчика должна быть компактной;
- 6) измерения должны проводиться в любой точке рабочей зоны гидрлотка [1].

Измерения уровня глубины жидкости проводятся с помощью контактных, псевдоконтактных и бесконтактных датчиков, некоторые конструкции которых приведены в монографии [2].

По сравнению с контактными и псевдоконтактными датчиками преимущество бесконтактных уровнемеров очевидно: отсутствие внешних возмущений, вносимых в поток, отсутствие контакта с рабочим телом. Наряду с достоинствами у этих датчиков существует ряд существенных недостатков. Бесконтактные датчики основаны на использовании жидкости как оптически прозрачной среды, с одной стороны, и (или) на отражающей способности поверхности – с другой. Только в геометрической оптике угол падения светового потока равен углу отражения, а на практике в направлении угла отражения распространяется лишь максимальный световой поток. Для избегания одновременной регистрации светового потока несколькими фотодатчиками последние должны быть расположены на значительном расстоянии друг от друга. Более того, поверхность жидкости должна быть ровной и спокойной, иначе уровнемер работать не будет. Перечисленные недостатки вносят сильные ограничения для использования данного вида датчиков.

В работе [3] для точного определения уровня жидкости в практике гидрогазоаналогии показана возможность использования для точного бесконтактного измерения глубин двухмерного потока метода фотограмметрии, но этот способ в середине XX века не нашел практического распространения из-за своей громоздкости и сложности обработки данных [4].

Методы фотограмметрии позволяют определять размеры, формы и положения объектов по их изображениям на фотоснимках. Отсюда следует, что бесконтактный уровнемер может быть разработан на основе использования фотограмметрии и может отвечать всем предъявляемым к уровнемерам требованиям.

Однако при обработке фотографий с целью определения геометрических характеристик фотографируемых объектов возникает несколько неудобств, а именно: использование достаточно сложного математического аппарата и оптические аберрации. Первая проблема решается за счет использования ЭВМ, а вторая задача решается, как правило, двумя путями: использование дорогостоящей специальной оптики или на основе определенных математических алгоритмов. На данный мо-

мент существует достаточно много различных математических способов устранения аберраций, один из них изложен в статье [5].

При использовании гидрогазоаналогии все процессы происходят внутри канала гидролотка, поэтому для реализации бесконтактного метода определения глубины потока жидкости, текущей по каналу гидролотка, необходимо установить по обе стороны канала два фотоаппарата, спроецировав их на поток таким образом, чтобы исследуемая область находилась в районе центральной области фотоснимка. Результатом синхронной фотосъемки является фотопара, к которой можно применять алгоритмы обработки фотографий, позволяющие восстанавливать геометрические характеристики фотографируемого объекта.

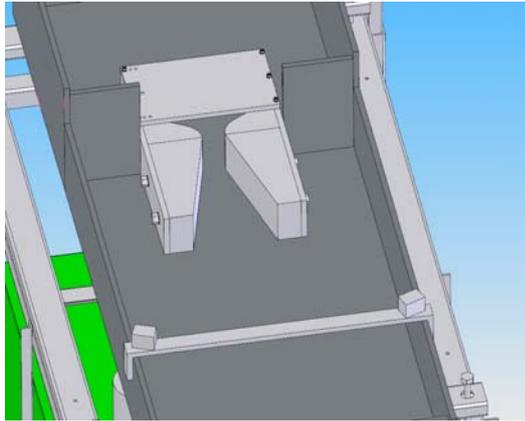


Рис. 2. Схема расположения камер на гидролотке

Перед проведением эксперимента необходимо откалибровать оба фотоаппарата, для чего на поверхность сухого гидролотка наносится калибровочная сетка с некоторым шагом, например 10 мм, как показано на рис. 3. Далее производится фотографирование поля гидролотка обеими камерами. В результате получатся два фотоснимка, как показано на рис. 4 и 5.

На рис. 4 изображена калибровочная сетка, сфотографированная камерой слева. На этот фотоснимок проецируется каждая точка калибровочной сетки основной системы координат XYZ . При этом в плоскости фотографии А1 каждая спроецированная точка основной системы координат имеет определенную координату I_k, J_k . Аналогично в плоскости фотографии Б1 каждая точка относительно системы координат XYZ будет иметь свою координату I_p, J_p . Полученные результаты сводятся в таблице.

Результаты измерений

№ п/п	I_k	J_k	I_p	J_p	$N(x,y,z)$		
					x	y	z
1	I_{k1}	J_{k1}	I_{p1}	J_{p1}	x_1	y_1	z_1
2	I_{k2}	J_{k2}	I_{p2}	J_{p2}	x_2	y_2	z_2
3	I_{k3}	J_{k3}	I_{p3}	J_{p3}	x_3	y_3	z_3
...							
S-1	I_{ks-1}	J_{ks-1}	I_{ps-1}	J_{ps-1}	x_{s-1}	y_{s-1}	z_{s-1}
s	I_{ks}	J_{ks}	I_{ps}	J_{ps}	x_s	y_s	z_s

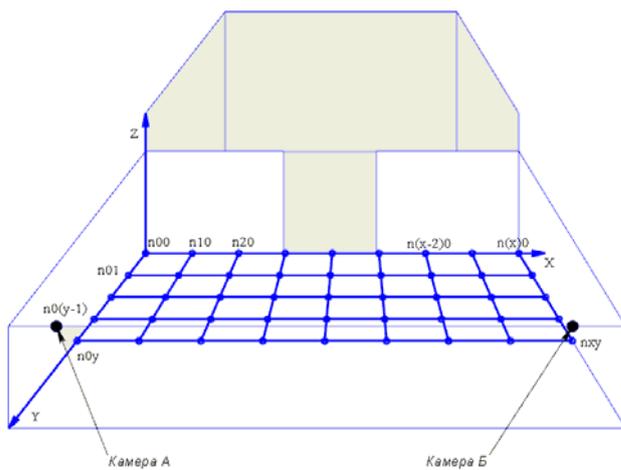


Рис. 3. Схема нанесения разметки

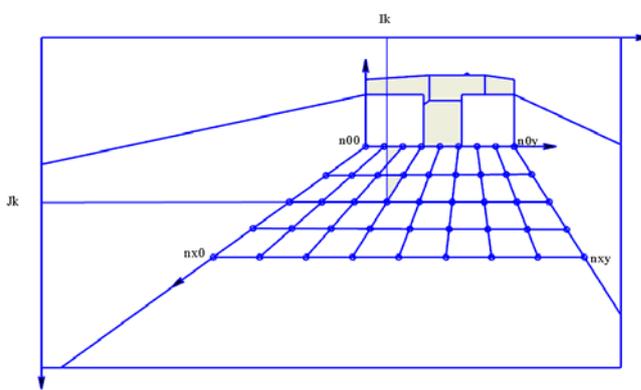


Рис. 4. Фотография А1

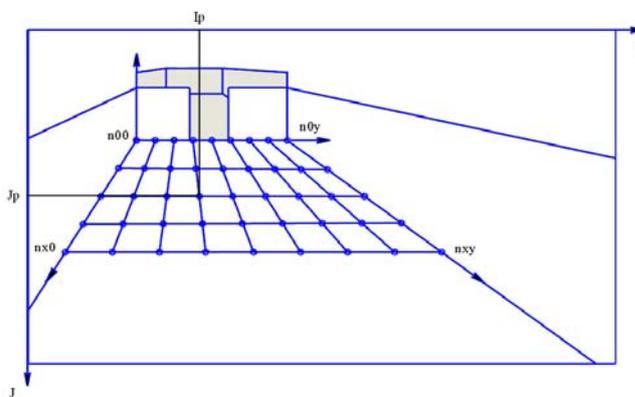


Рис. 5. Фотография Б1

Далее плоскость калибровочной сетки поднимается относительно оси Z на некоторое значение ΔZ , например 10 мм, и вновь производится фотографирование обеими камерами. Аналогично координаты проекций точек сетки определяются в плоскостях фотографий А2 и Б2 и заносятся в таблицу. Данная операция повторяется, пока не будет достигнут требуемый уровень по высоте.

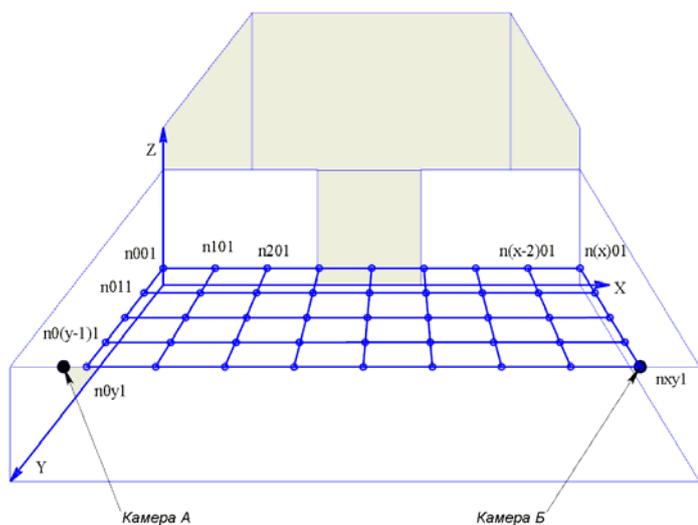


Рис. 6. Схема расположения калибровочной разметки

На основе полученной информации с помощью аппроксимирующего алгоритма «Свободный вектор», подробно описанного в [6], можно построить три функционала:

$$\begin{aligned} X &= f_1(J_k, I_k, J_p, I_p), \\ Y &= f_2(J_k, I_k, J_p, I_p), \\ Z &= f_3(J_k, I_k, J_p, I_p). \end{aligned} \quad (1)$$

На этом этапе калибровку фотоаппаратов можно считать законченной.

При проведении эксперимента исследуемая точка или семейство точек на поверхности жидкости в канале гидрлотка, где требуется определить глубину потока, подсвечиваются лазерным лучом или выделяются другим способом и фотографируются. Далее по фотоснимкам определяются координаты проекций этой точки или точек на плоскости фотографий и с помощью функционалов 1 определяются такие искомые величины, как глубина потока, координата точки относительно канала гидрлотка.

Таким образом, обходя сложные математические расчеты, связанные с методами фотограмметрии и программного устранения явления дисторсии, можно использовать в качестве уровня сдвоенные бытовые фотоаппараты.

Список литературы

1. Гребенкин В. И., Кузнецов Н. П., Черепов В. И. Силовые характеристики маршевых твердотопливных двигательных установок и двигателей специального назначения. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2003. – 356 с.
2. Моделирование при реконструкции механизма столкновения автомобиля с преградой / М. Н. Березуев, Н. П. Кузнецов, С. М. Соловьев и др. – М. ; Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2005. – 206 с.
3. Bömelburg, H. Die praktische Anwendbarkeit der Wasseranalogie in quantitativer Form auf spezielle Probleme der Gasdynamik // Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Strömungsforschung. – Göttingen : Selbstverlag, 1954. – Nr. 10. – S. 82.
4. Виноградов Р. И., Жуковский М. И., Якубов И. Р. Газогидравлическая аналогия и ее практическое приложение. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.
5. Исследование метода гидрогазоанalogии для исследования первоначального участка сверхзвуковой струи / Н. П. Кузнецов, С. М. Соловьев, В. И. Черепов и др. // Вестн. ИжГТУ. – 2005. – № 4. – С. 25–29.
6. Черепов В. И., Кузнецов Н. П., Гребенкин В. И. Идентификация силовых характеристик объектов машиностроения. – М. ; Ижевск : Регуляр. и хаот. динамика, 2002. – 200 с.

* * *

N. P. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
R. A. Yurtikov, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University
S. M. Solovjev, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University

An Estimation Method of Definition of Streaming Liquid Depth in a Flow Channel

The mathematical model for determining a streaming liquid depth in any place of a flow channel using a photographic camera is proposed. The method is based on the model flow photographs processing.

Keywords: flow channel, level gauge, fluid and gas analogy, digital photo

Получено 15.10.10

УДК 681.518.3:623.442

Е. М. Марков, старший преподаватель
 Ижевский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗУЛЬТАТОВ ДРОБОВОГО ВЫСТРЕЛА ПО МИШЕНИ

Описывается моделирование результатов дробового выстрела по мишени. Полученная модель позволяет оценивать характеристики разлета и равномерности дробовой осыпи.

Ключевые слова: моделирование, модель дробового выстрела, рассеивание дроби, распределение Рэлея, дробовая осыпь

Под дробовым выстрелом будем понимать выстрел, выполненный дробью из гладкоствольного оружия по мишени, которая расположена на заданной дальности в вертикальной плоскости, перпендикулярной к направлению стрельбы. Количество дроби в патроне в зависимости от его назначения колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен штук.