

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
В ПАКЕТЕ SOLIDWORKS**

Н.А. Греков, С.В. Алексеенко

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

В статье приводятся результаты моделирования гидродинамических режимов измерителя скорости течения ИСТ-1 с помощью программы SolidWorks с интегрированным в нее приложением COSMOSFloWorks.

Введение. Ускорить процесс исследования, разработки, испытания и выпуск приборов для экологических целей является актуальной задачей. Во-первых, требования к приборам меняются – их необходимо все время модифицировать и дополнять различными устройствами, которые расширяют спектр применения. Многие известные фирмы по выпуску экологических приборов оснащают свои изделия всевозможными устройствами, которые значительно ускоряют и облегчают процесс получения измерительной информации. Соотношение качества, метрологических характеристик, универсальности и цены являются основополагающими при конкурентной борьбе между производителями.

Современные CAD, CAM, CAE системы значительно ускоряют процесс выпуска приборов при значительной экономии средств на разработку и испытания.

В данной работе показаны возможности приложения COSMOSFloWorks пакета SolidWorks. На примере разработки измерителя скорости течения ИСТ-1 [1] приве-

дены результаты моделирования гидродинамических режимов прибора.

Исходя из требований технического задания, была разработана конструкция прибора ИСТ-1. Согласно техническому заданию погружная часть прибора должна работать на скорости набегающего потока до 5 м/с, при угле отклонения прибора до 30° от вектора набегающего потока, метрологические характеристики прибора должны соответствовать характеристикам классических гидрологических вертушек.

Разработка всех механических узлов прибора ИСТ-1 была выполнена с высокой точностью в системе AutoCAD [2], где были созданы трехмерные параметрически-геометрические модели всех деталей.

Полностью механический блок погружной части прибора был перенесен в программу SolidWorks [3], где, используя интегрированное приложение COSMOSFloWorks, было выполнено численное моделирование потоков как внутри, так и снаружи погружной части прибора.

Для численного моделирования в GSM используется метод конечных объемов и нестационарные уравнения Навье-Стокса (и теплоотдачи). Дискретизация уравнений осуществляется в консервативной форме, частные производные аппроксимируются со вторым порядком точности, производные по времени – по неявной схеме Эйлера первого порядка. Стационарные решения рассматриваются как предельный случай нестационарных, то есть получаются в результате установления при многократном повторении процесса решения задачи во времени.

Расчет параметров потока при переходе на временной (n+1) слой осуществляется по их известным значениям на слое (n) с помощью системы дискретных уравнений, приближающих исходную систему уравнений Навье-Стокса:

$$\frac{\vec{U}^* - \vec{U}^n}{\Delta t} + A_h(\vec{U}^n, p^n) \vec{U}^* = S^n; \quad (1)$$

$$L_n \delta p = \frac{\text{div}_h(\rho \vec{u}^*)}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t}; \quad (\rho^* = \rho(T^*, y^*)); \quad (2)$$

$$\rho u^{n+1} = \rho u^* - \Delta t \cdot \text{grad}_h \delta p; \quad (3)$$

$$p^{n+1} = p^n + \delta p; \quad (4)$$

$$\rho T^{n+1} = \rho T^*; \quad \rho k^{n+1} = \rho k^*; \quad \rho \varepsilon^{n+1} = \rho \varepsilon^*; \quad \rho \vec{y}^{n+1} = \rho \vec{y}^*; \quad (5)$$

$$\rho^{n+1} = \rho(T^{n+1}, \vec{y}^{n+1}). \quad (6)$$

Здесь индекс * присвоен промежуточным значениям параметров;

$\vec{U} = (\rho \vec{u}, \rho T, \rho k, \rho \varepsilon, \rho \vec{y})^T$ – полный набор базовых переменных, исключая давление p ;

$\vec{u} = (u_1, u_2, u_3)^T$ – вектор скорости;

$\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_M)^T$ – вектор компонент концентраций смеси жидкостей;

$\delta p = (p^{n+1} - p^n)$ – дополнительная переменная, которая называется невязкой давления (pressure correction). Все указанные параметры являются дискретными функциями, которые определяются в центрах расчетных ячеек с помощью приведённой выше системы уравнений. Дискретные операторы A_h ; div_h ; $grad_h$; $L_h = div_h grad_h$ приближают со вторым порядком точности соответствующие дифференциальные операторы исходных уравнений.

На первом шаге алгоритма решается первое уравнение системы, которое является уравнением конвективного (диффузионного) переноса. В результате мы получаем

промежуточные значения величин количества движения и окончательные значения турбулентных параметров температуры и концентрации компонентов.

Затем определяется невязка давления δp с помощью второго уравнения системы, которое является уравнением второго порядка эллиптического типа и определено таким образом, чтобы окончательное поле

значений количества движения $\rho \vec{u}^{n+1}$ удовлетворяло дискретным уравнениям сохранения. Расчет окончательных значений параметров течения производится с помощью последних четырёх уравнений системы.

На рисунке 1 показаны результаты моделирования погружной части ИСТ-1 при скорости набегающего потока 5 м/с с границами четырехгранного лотка, стенки которого расположены на расстоянии 0,15 м друг от друга.

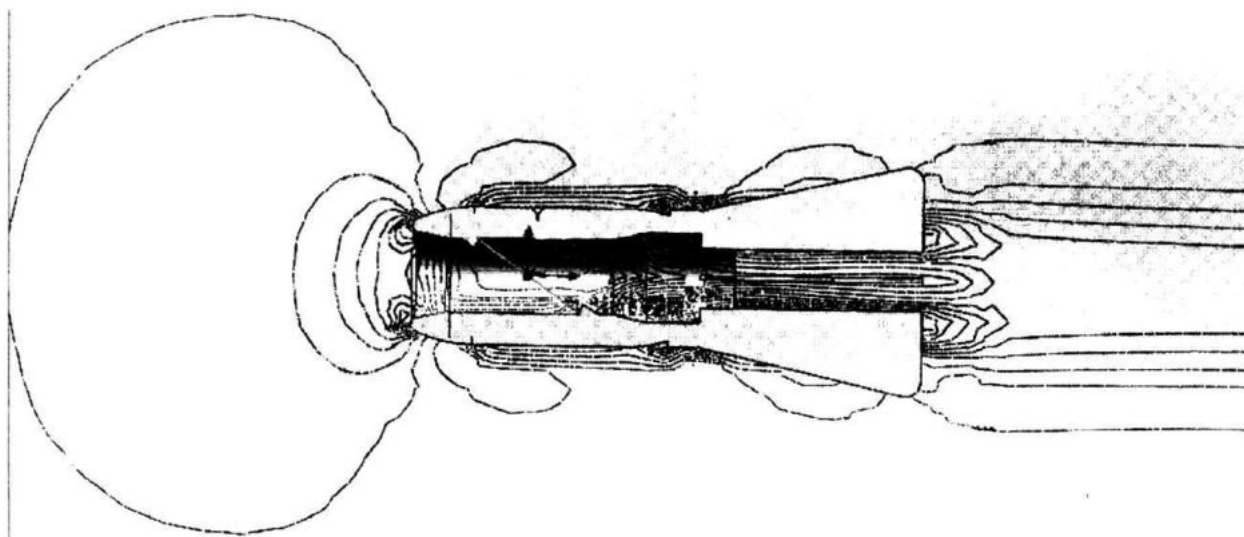


Рисунок 1 – Результаты моделирования погружной части ИСТ-1

Затем определялась средняя скорость течения \bar{V} между двумя пьезоизлучателями 1 и 2, расположенными на расстоянии L

$$V = \frac{1}{L} \int_0^L V(L) dL. \quad (7)$$

Изменяя положение прибора относительно набегающего потока в горизонтальной и вертикальной плоскости с дискретностью 5° , строилась диаграмма направленности прибора, представленная на рисунке 2.

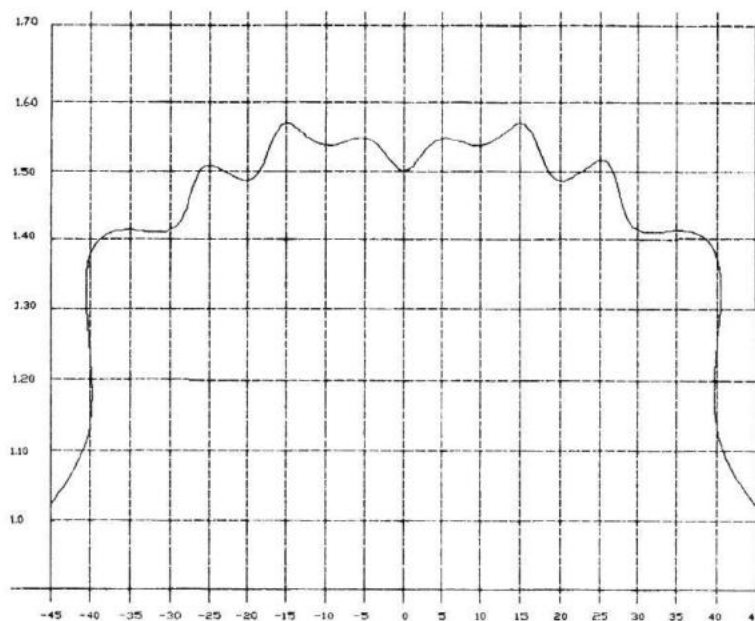


Рисунок 2 – Диаграмма направленности прибора ИСТ-1 при скорости течения 2 м/с

Аналогичные диаграммы направленности строились с дискретностью 0,1 м/с для скорости потока до 1 м/с и с дискретностью 1 м/с для скорости потока до 5 м/с. Из анализа графиков следует, что после 35° начинается резкое падение средней скорости потока между излучателями, что приводит к значительным погрешностям ИСТ-1 по скорости. Для гидродинамических вертушек резкий спад начинается после 30° . Все эти данные подтверждены в результате натурных испытаний и соответствуют ТЗ.

Неравномерность диаграммы направленности вызвана ограниченным сечением гидроротка. При увеличении сечения до 0,5 м пики на диаграмме уменьшались и для открытого бассейна не проявлялись.

Дополнительные исследования заключались в определении величины расхождения по скорости потока при градуировке ИСТ-1 на различных гидродинамических лотках.

Имеющийся в наличии в МГИ гидродинамический стенд имеет ширину и высоту лотка около 0,15 м. Размер лотка в Гидрометеослужбе Украины – 0,5 м.

В результате моделирования было определено, что расхождения по скорости в различных лотках может достигать $\approx 70\%$, что и подтвердилось в результате эксперимента на обоих лотках.

Следует отметить, что в результате моделирования был решен ряд других задач, например, определены величины расхождения по скорости при расположении ИСТ-1 на штанге или подвешенном на гибком тросе, исследована неравномерность диаграммы, направленной в горизонтальной и вертикальной плоскости в ограниченных бассейнах и др.

Литература

1. Н.А. Греков, П.В. Гайский, В.Ж. Мишуров, А.С. Бондаренко. Переносной акустический измеритель скорости течения ИСТ-1 // Системы контроля окружающей среды / Средства и мониторинг. Сб. науч. тр. НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2005. – С. 35–40.
2. www.autodesk.ru/autocad
3. www.solidworks.ru