

В. Г. В ы с к р е б ц о в (Москва, ГУ(МАМИ)). **О значении пакетов вычислительных программ в задачах гидромеханики.**

Тот факт, что уравнения, описывающие движения жидкостей и газов (в более общей постановке — сплошных сред) не имеют аналитического решения, послужило мощным толчком для развития численных методов анализа, и особенно — с начала 50-х годов в связи с развитием электронных вычислительных машин. Многим тогда казалось, что с появлением ЭВМ появилась возможность использования так сказать настольной лаборатории, в которой можно ставить численные эксперименты для изучения особенностей движения жидкостей и газов.

Однако сопоставление результатов таких «экспериментов» с реальными течениями показало значительное расхождение между ними (как качественное, так и количественное) [1]. Причинами такого положения можно указать как минимум две. Это, во-первых, существование так называемой «сеточной вязкости», обусловленной неизбежным округлением промежуточных результатов при проведении вычислений и, во-вторых, тем фактом, что используемые при применении численных методов уравнения (по сути — математические модели) недостаточно точно отражают поведение реальных жидкостей и газов. Это ожидаемо и вот как это выражено в высказывании одного из великих ученых прошлого — П.-С. Лапласа: «То, что мы знаем — ограничено, а то, чего мы не знаем, — бесконечно». Т. е. указанная особенность свойств сплошной среды естественна, так как в принципе невозможно выразить точно бесконечное через конечное, а все свойства сплошной среды — точно выразить в одном векторном уравнении Навье–Стокса.

Сказанное оказывается верным и в случае использования для расчетов эмпирических постоянных коэффициентов. Например, при расчете потерь напора в гидравлических сетях используется зависимость потери напора от диаметра трубопровода и элементов его (таких, как клапана, задвижки и т. п.) в виде суммы потерь напора на каждом из составляющих элементов трубопровода. Причем потеря напора на каждом элементе считается пропорциональной квадрату расхода и постоянному для данного элемента эмпирического коэффициента [2, 3].

Однако положение осложняется тем, что опыты показывают, что сумма потерь на нескольких элементах гидротрубопровода оказывается зависящей от порядка их следования. Таким образом правило арифметики, гласящее, что «сумма слагаемых не зависит от их перестановки» оказывается в гидромеханике не верным. Кроме того вследствие того, что поскольку в силу исторических причин значения опытных коэффициентов сопротивления определялись при испытаниях трубопроводов на воде, считается, что эти значения коэффициентов не зависят от вязкости перекачиваемой по трубопроводу жидкости [3]. Но в случаях, когда вязкость перекачиваемой жидкости многократно отличается от вязкости воды, что характерно, например, для нефтепродуктов, результат расчетов заметно отличается от замеряемого опытным путем.

Существенным уточнением может служить расчетная зависимость, в которой учитывается влияние вязкости [4]. Эта зависимость основана на основании результатов опытов, при которых использовались водоспиртовые смеси, имевшие динамическую вязкость в пределах от единицы до десятка сантистокс [4, 5]. В такой зависимости

уже два члена, и она может быть представлена в виде:

$$\Delta P = \xi \gamma Q^2 + \xi_2 \mu Q. \quad (1)$$

Здесь: ΔP — величина потери напора на участке трубопровода, Q — величина расхода жидкости, ξ — общее значение коэффициента местного сопротивления, равного сумме всех местных сопротивлений, учитывающий плотность жидкости, γ — удельный вес жидкости, ξ_2 — второй общий коэффициент местного сопротивления, значение которого равно сумме всех местных сопротивлений и учитывающий вязкость жидкости, μ — кинематическая вязкость жидкости.

Указанная зависимость (1) может быть представлена в иной форме:

$$\Delta P / (\mu \gamma) = \xi \gamma / (\mu Q) + \xi_2. \quad (2)$$

Если принять за переменные $Y = \Delta P / (\mu \gamma)$ и $X = \gamma / (\mu Q)$, то зависимость (2) будет представлять собой пропорцию, которая графически выражается прямой линией. Опытные точки, как оказалось, лежат вдоль прямой, отклоняясь от теоретической прямой $Y = \xi X + \xi_2$ в пределах долей процента, т. е. в пределах погрешности опытов.

Если принять, что коэффициент ξ_2 равен нулю, то получим из (1) обычную формулу для местного сопротивления [3].

Можно отметить, что двучленную формулу вида (1) использовал еще И. Ньютон для значения величины силы сопротивления судна в зависимости от скорости его движения. Ее недостаток в том, что если для определения коэффициента местных сопротивлений, учитывающих плотность жидкости, накоплена достаточно большая база данных [3], то для значений второго коэффициента ξ_2 , учитывающего влияние вязкости, опытные данные практически отсутствуют. А между тем величина второго слагаемого может быть больше первого, (при перекачивании, например дизельного топлива, вязкость которого при нормальной температуре многократно больше воды).

Другими словами уточнение известных формул гидравлики требует проведения значительного дополнительного объема экспериментальной работы для определения коэффициентов сопротивления ξ_2 .

Теперь рассмотрим особенности гидравлических расчетов с другой стороны. А именно, расчеты теоретического определения значений коэффициентов сопротивлений ξ и ξ_2 . В основе этих расчетов лежит применение численных методов анализа [6] и, в последнее время (10–20 лет) вместо составления программ на каком либо алгоритмическом языке (например, Фортран или Паскаль) самим вычислителем широкое распространение получили готовые пакеты вычислительных программ для решения задач в области гидродинамики, теплообмена, прочности, электродинамики и т.п. Среди них наиболее часто упоминаются такие, как MSC/NASTRAN, CFX, FLUENT, STAR-CD, LS-DYNA, ANSYS Fluent, ABAQUS, Flow Vision, MSC/MARC, MAGMASOFT, Solid Works, Para View, Open Foam и др. В этих программах используются как метод сеток, так и метод конечных элементов.

Однако при сравнении теоретически полученных результатов (траекторий течений, значений потерь давления и др.) выявляется существенное различие, как количественное, так и качественное, между теоретическими и опытными результатами [1, 6, 7].

В качестве одной из причин этого можно указать на неполноту уравнений Навье–Стокса в том смысле, что там не учитывается ряд наблюдаемых в действительности явлений, например, закручивание линий тока и соответственно вращательное движение частиц жидкости [8].

Такое положение давно известно, так как при выводе уравнений Стокса используется несколько допущений, справедливость которых не доказана и сама должна быть проверена соответствием следствий из этих допущений путем сравнения теоретических и опытных данных [1]. Можно отметить, что количество пакетов вычислитель-

ных программ непрерывно увеличивается, по-видимому, потому, что ни одна из них не дает удовлетворительного приближения к действительности.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что повышение точности расчетов гидросистем, в которых в качестве рабочей жидкости используется не вода, а нефтепродукты или газы, лежит не на разработке новых пакетов программ численных методов, а проведение достаточно объемных опытных работ с целью не только определения влияния вязкости жидкости, но и влияния других ее свойств на параметры работы гидросистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выскребцов В. Г.* Гидромеханика в новом изложении, «Спутник +». М.: 2001.
2. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973.
3. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям./ Под ред. М. О. Штейнберга. М.: «Машиностроение», 1992.
4. *Бобровников Г. Н., Выскребцов В. Г., Родин Е. М.* Величина потери напора в объемных счетчиках жидкости с овальными шестернями. — Приборостроение, 1964, № 2.
5. *Выскребцов В. Г.* Теоретические и экспериментальные исследования счетчика жидкости с овальными шестернями: Автореферат дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. М.: МВТУ, 1967.
6. *Выскребцов В. Г.* Численные методы решения задачи о течении жидкости в полости лабиринтного уплотнения. — Машиностроитель, 2000, № 1, «Выраж-Центр».
7. *Лебедева Е. Г., Елисеева С. И.* Результаты решения стандартной задачи гидромеханики при помощи программы COSMOSFloWorks 2007 SPO. Севмашвтуз, Северодвинск, 2015. Электронная библиотека Library.ru.
8. *Выскребцов В. Г.* Наблюдение новых явлений в картине течений вязкой жидкости. — Изв. МГТУ «МАМИ», 2011, № 1(1).