

- ке в невесомости.— В кн.: III Всесоюз. семинар по гидромеханике и теплообмену в невесомости. Тез. докл. Черноголовка, 1984. 269 с.
5. Альварес-Суарес В. А., Барачевский В. А., Манджиков В. Ф., Рязанцев Ю. С., Юречко В. Н. Метод фотохромной визуализации гидродинамических потоков. Препринт № 203. М.: ИПМ АН СССР, 1982.
 6. Барачевский В. А., Манджиков В. Ф., Рязанцев Ю. С., Строкач Ю. П., Юречко В. Н. Фотохромный метод визуализации гидродинамических потоков.— ПМТФ, 1984, № 5, с. 73—76.
 7. Барачевский В. А., Лашков Г. И., Цехомский В. А. Фотохромизм и его применение. М.: Химия, 1978. 280 с.
 8. Юречко В. Н., Рязанцев Ю. С., Барачевский В. А., Манджиков В. Ф., Хурцилава С. Г. Исследование гидродинамических характеристик потоков жидкости методом фотохромной визуализации. Препринт № 263. М.: ИПМ АН СССР, 1985.

Москва

Поступила в редакцию
22.IV.1986

УДК 532.592:519.63

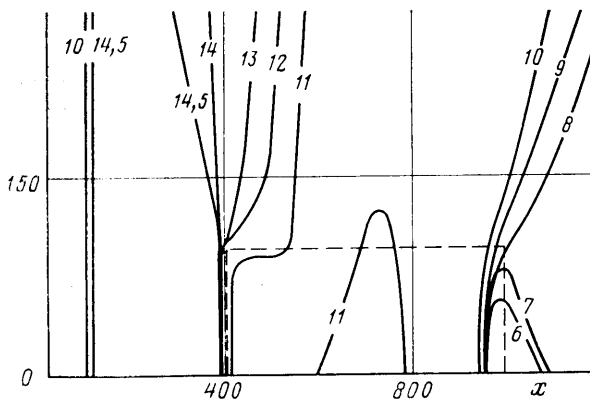
ДВУМЕРНЫЙ СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ «МЕЛКОЙ ВОДЫ» В КАНАЛЕ С ПРИДОННЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ

МАХМУДОВ А. А.

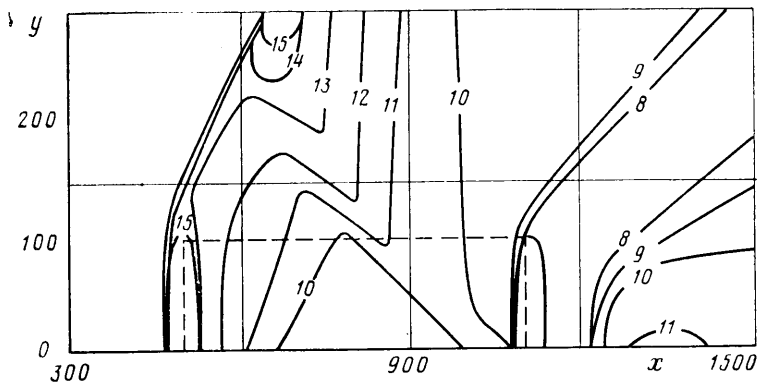
Исследования по взаимодействию потоков жидкости с препятствиями в рамках модели мелкой воды развиваются в нескольких направлениях. Наиболее широко теоретически и экспериментально изучены режимы обтекания моделей высотой много большей глубины жидкости. Это связано в первую очередь с возможностью применения газогидравлической аналогии для изучения сверхзвуковых течений газа [1]. Значительно меньше работ посвящено рассмотрению течений около препятствий в форме придонных образований. В [2] дан обзор современных экспериментальных и численных исследований по двумерному обтеканию неограниченным потоком воды конусообразных тел при умеренных числах Фруда. Практически неизученными остаются случаи обтекания придонных тел в ограниченных потоках, например в каналах. Рассмотрению некоторых задач этого круга и посвящена данная работа. Результаты численного исследования показали, что в зависимости от числа Фруда набегающего потока меняется характер взаимодействия возмущений, идущих от препятствия со стенкой канала. Это приводит к возникновению совершенно различных режимов, отличающихся друг от друга как по распределению параметров потока, так и по общим характеристикам, например расходу.

Решаемая задача определяется следующими геометрическими величинами: формой препятствия и поперечного сечения канала и их взаимным расположением. С целью уменьшения числа параметров придонное препятствие было выбрано в виде параллелепипеда с высотой h , длиной l и шириной z . Канал имел прямоугольное сечение с шириной d . Их взаимное положение показано на фиг. 1, где препятствие обозначено штриховой линией. Считалось, что в начальный момент времени в равномерном потоке жидкости (толщина слоя H_0 , продольная скорость u_0 , поперечная скорость $v_0=0$) на дне появляется препятствие. Этому соответствуют начальные условия $H(x, t)=H_0$, $u(x, t)=u_0$, $v(x, t)=0$. Как показали расчеты, течение жидкости очень быстро переходит в стационарный или квазистационарный режим, не зависящий от вида начальных данных и определяемый только числом Fr^0 во входном сечении канала. Ниже будут приведены и проанализированы эти предельные решения.

Система нестационарных двумерных уравнений «мелкой воды» решалась численным методом [3, 4]. На фиг. 1 представлено распределение высоты свободной поверхности жидкости для следующего расчетного варианта: $h=3$ см, $l=600$ см, $z=200$ см, $d=600$ см, $H_0=10$ см, $u_0=120$ см/с, $Fr=1.2$. Выход канала имеет координату $x=0$, цифрам у кривых соответствуют числовые значения высот, время с начала процесса $t=26,4$ с. Течение вышло на квазистационарный режим, характеризующийся распространением вверх по потоку прыжка высоты ($x=100$ см). Он имеет прямую форму фронта, постоянную скорость распространения, равную 11,5 см/с. Высота жидкости поднимается за ним до 14,5 см; продольная скорость падает до 78 см/с, поперечные скорости — на порядок меньше. Эти величины сохраняют свои значения по всей ширине канала вплоть до начала препятствия ($x=400$ см), где уровень жидкости понижается до начального значения 10 см. На заднем срезе препятствия ($x=1000$ см) образуется вторая волна падения уровня. Этим перепадам сопутствует ускорение жидкости в продольном направлении. Дальнейшее выравнивание потока происходит вне рассмотренной области. Во всех сечениях канала за головным прыжком расход составляет 85% от входного значения. По терминологии [2], где приведены исследования одномерных течений, такие режимы называются подкритическими.



Фиг. 1



Фиг. 2

При увеличении скорости набегающего потока наступает сверхкритический режим обтекания. Прыжок высоты присоединяется к головной части препятствия, картина течения всюду стационарна с постоянным расходом, равным начальному значению при $x=0$. На фиг. 2 изображены изолинии высот для $u_0=150$ см/с, $Fr^0=1,5$, когда реализуется сверхкритический режим. Критическое значение Fr^* , при котором происходит смена режимов, для заданной геометрии течения равно 1,3.

Значение числа Fr^* зависит от формы препятствия и расстояний от него до стенок канала. Из параметров, определяющих препятствие, наиболее существенным является площадь максимального поперечного сечения $x=const$. Протяженность его вдоль канала оказывает существенно меньшее влияние. Расчеты показывают, что замена рассмотренного выше препятствия столбом приводит к увеличению Fr^* до 2,4 (при сохранении всех остальных условий). Сближение стенок также ведет к увеличению Fr^* . В предельном случае, когда препятствие занимает всю ширину канала (одномерное течение), $Fr^*=1,8$.

Проведенные исследования показывают, что сложный процесс взаимодействия порожденных придонным препятствием волн со стенками канала при определенных условиях может привести к перестройке течения и резкому изменению пропускной способности и размываемости канала. Последние особенно важны с практической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулинский М. М., Лебедев Е. И., Якубов И. Р. Моделирование течений газа с ударными волнами. М., Машиностроение, 1984. 192 с.
2. Lamb V. R., Britter R. E. Shallow flow over an isolated obstacle.— J. Fluid. Mech., 1984, v. 147, p. 291–313.
3. Boris J. P., Book D. L. Flux-corrected transport. I. SHASTA a fluid transport algorithm that works.— J. Comput. Phys., 1973, v. 11, № 1, p. 38–69.
4. Мазмудов А. А. Применение метода SHASTA для расчета движения жидкости в приближении «мелкой воды».— В кн.: Вычислительная аэрогидромеханика. Тез. докл. школы-семинара соц. стран. Самарканд, 1985, с. 310–313.

Ташкент

Поступила в редакцию
16.VI.1986