

Тудоран В.А.,

Национальный университет кораблестроения

**МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЖЕСТКОГО КОНТУРА  
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ МЕТОДОМ ЭЙЛЕРА-ЛАГРАНЖА  
С УЧЕТОМ БРЫЗГОВОЙ СТРУИ**

УДК 519.624:532.5:532.22:532.3

В расчетах качки судов рассматривается задача моделирования вертикального перемещения жесткого контура, который пересекает свободную поверхность воды, с целью определения гидродинамических нагрузок. Задача плоская, решается в нелинейной постановке. Область течения ограничена свободной поверхностью жидкости, погруженной частью и осью симметрии жесткого контура, произвольной линией на расстоянии, где ее влиянием на течение вблизи контура можно пренебречь. Задача эффективно решается комплексным методом граничных элементов (КМГЭ) с использованием схемы Эйлера-Лагранжа [1]. Область течения разбивается на элементы с узловыми точками на концах элементов.

При значительных перемещениях жесткого контура в окрестности зоны стыка свободной поверхности и контура развиваются большие скорости, что приводит к образованию тонкой полоски жидкости - так называемой брызговой струи (рис. 2а). Это является причиной возникновения турбулентности и разрушения границы на свободной поверхности. При небольших углах между жестким контуром и свободной поверхностью погрешность вычислительных методов в окрестности точки пересечения свободной поверхности с контуром является причиной перехода точек струи на свободную поверхность, граница разрушается и расчет становится неустойчивым. Как видно из рис. 1 переход связан с тем, что точки струи и свободной поверхности находятся очень близко друг от друга.

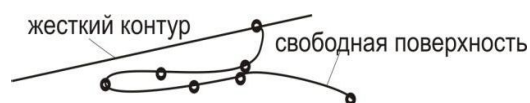


Рис.1 Положение брызговой струи и свободной поверхности при небольших углах наклона жесткого контура к горизонтали

Теория комплексного потенциала может применяться для безвихревого течения при условии целостности границы. Учитывая, что давление на контур в области брызговой струи близко к атмосферному, воздействием струи на контур и область течения можно пренебречь.

Для преодоления проблемы брызговой струи в ряде работ [2,3] используется искусственное отрезание струи. В работе [2] предлагается отрезание струи у корня в направлении нормали к жесткому контуру. Этот способ показывает хорошие результаты при больших углах наклона контура к свободной поверхности, но приводит к проблеме «прямого угла». На свободной поверхности задан потенциал, на основе которого определяется скорость течения вдоль поверхности, то есть нормальная к контуру скорость; на контуре заданна функция тока, которая тоже дает нормальную к контуру скорость. В зоне стыка могут возникать противоречия между этими скоростями. При непрямом угле пересечения контура и свободной поверхности такое противоречие смягчается за счет касательной составляющей. При вертикальном борте и невозмущенной свободной поверхности нормальная к борту скорость равна 0 и со стороны контура и со стороны свободной поверхности, поэтому в этом случае проблема не возникает.

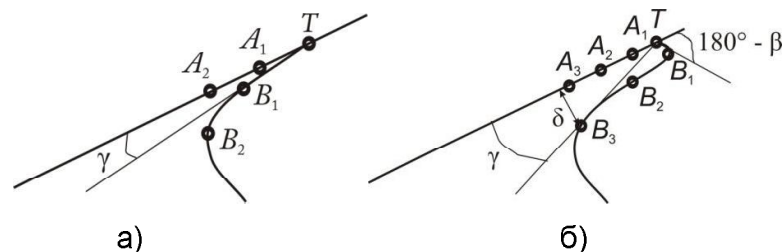


Рис.2 Типы брызговых струй

В работе [3] предложен метод отрезания с контролем угла пересечения контура и свободной поверхности. На каждом шаге значение угла пересечения контура и свободной поверхности должно быть больше порогового. Этот способ является более гибким, к тому же позволяет контролировать появление не только острых углов, образованных брызговыми струями, но и прямых. Однако авторы проблему «прямого угла» не рассматривают.

Представленные в работах [2,3] методы дают результаты при различных углах наклона контура к горизонтали. Но результаты представлены для тестовых примеров относительно клина, где угол наклона контура к горизонтали постоянный.

В реальных шпангоутных сечениях судов на различных частях угол наклона контура к горизонтали меняется и соответственно должны меняться пороговые углы.

В данной работе метод, предложенный в работе [3], совершенствуется в нескольких направлениях. Угол пересечения свободной поверхности и жесткого контура должен быть не только больше порогового, но и не попадать в окрестность значений близких к прямому углу. При проведении расчетов оказалось, что в некоторых случаях образуются «замаскированные» брызговые струи (рис. 2б). Непосредственно угол пересечения контура и свободной поверхности  $\beta$  приближается к прямому, однако тонкая полоска жидкости вдоль контура образуется за счет больших скоростей и подлежит отрезанию. Такие «замаскированные» струи определяются проверкой расстояния  $\delta$  к контуру точек свободной поверхности в зоне стыка, и зона пересечения сводится к виду  $A_iTB_3$  (рис. 2б).

Стабильность решения в зоне образования струи зависит от равномерности распределения узловых точек на свободной поверхности. В начале расчета задается распределение узловых точек свободной поверхности. С перемещением на каждом шаге по времени точки меняют положение и могут сойтись вместе или наоборот разойтись на значительное расстояние (рис. 3). Согласно КМГЭ и потенциальной теории можно определить значение потенциала в любой точке области при известных значениях границы. Таким образом, в зоне стыка определяются дополнительные точки и их скорость на предыдущем шаге. Рассчитывается их положение в текущий момент времени и остаются те точки, которые отвечают начальному распределению.

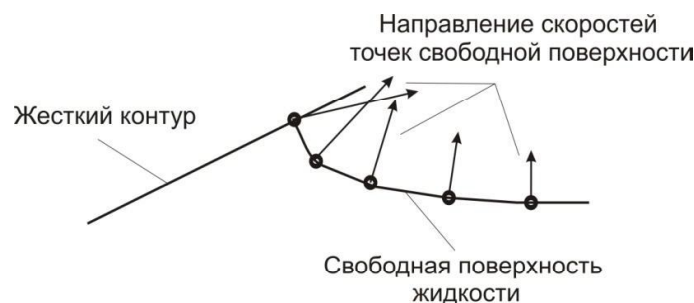


Рис.3 Изменение расположения точек на свободной поверхности  
\_\_\_\_\_ предыдущий момент времени; → направление скорости

Использование приведенного метода позволило улучшить стойкость решения в области зоны стыка свободной поверхности и жесткого контура сложной формы.

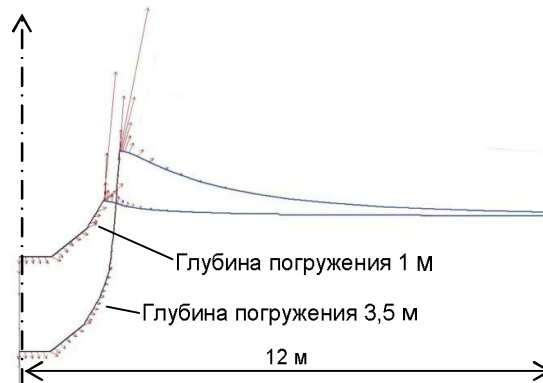


Рис.4 Распределение скоростей по контуру области течения при погружении шпангоутного сечения с разными углами наклона к горизонтали

**Список використаної літератури. 1. Суслов С.В., Опанасенко В.А.** Комплексний метод граничних елементів за найменшим квадратичним відхиленням для моделювання плоскої течії води, викликаній рухом контуру шпангоуту // Зб.наук.праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – №1 (424). – С. 48–52. **2. Zhao R., Faltinsen O., Aarsnes J. Water Entry of Arbitrary Two-Dimensional Sections with and Without Flow Separation** // Twenty-First Symposium on Naval Hydrodynamics. - 1997. - P. 408 - 423. **3. Kihara K.** Numerical Models Of Water Impact // 4<sup>th</sup> International Conference on High-Performance Marine Vehicles. – 2004.