

**0.1. Попов А.Ю. Реализация средствами библиотеки deal.II метода конечных элементов с частицами PFEM-2 для моделирования несжимаемых течений**

При решении задач вычислительной гидродинамики, в которых развитие течения во времени в основном определяется эффектами переноса, а влияние прочих эффектов (вязкие напряжения, перепад давления, внешние силы) мало или сказывается лишь на крупных масштабах использование традиционных сеточных методов может быть не слишком эффективным по причине необходимости работать с мелкими сетками и шагами по времени. Метод конечных элементов с частицами PFEM-2 (Particle Finite Element Method, 2nd generation, [1]) предлагает решение этой проблемы путем расщепления исходной задачи на две таким образом, чтобы моделировать перенос в рамках лагранжева описания среды, отслеживая движение нематериальных частиц по линиям тока, а редуцированную линейную гидродинамическую задачу (без конвективного члена) решать традиционно на сетке с использованием МКЭ. Это позволяет вести расчет на грубой сетке с большим шагом по времени. Вычислительная сложность обеих подзадач, как правило, соизмерима. Перенос частиц моделируется без учета их взаимного влияния, что позволяет разработать эффективную реализацию соответствующей процедуры, которая к тому же хорошо распараллеливается. Для решения сеточной подзадачи можно применять доступные библиотеки МКЭ.

Как и для других численных методов, еще находящихся на стадии развития, для метода PFEM-2 существуют лишь единичные программные реализации, из которых свободно доступна, по сути, всего одна — в виде модуля пакета KRATOS [2], созданного авторами метода. Несмотря на возможность ее использования, реализованные в ней алгоритмы обладают определенными недостатками, которые проявляются даже при решении простых модельных задач. В настоящей работе представлена реализация метода PFEM-2 на основе свободно распространяемой библиотеки МКЭ deal.II. Рассмотрена серия тестовых задач по моделированию двумерных течений потоком вязкой несжимаемой жидкости при низких числах Рейнольдса. Получено хорошее согласие результатов с известными в литературе данными [3] и результатами расчетов в пакете OpenFOAM методом контрольных объемов.

*Научный руководитель — к.ф.-м.н. Марчевский И.К.*

**Список литературы**

[1] IDELSONH S.R., NIGRO N.M., GIMENEZ J.M., ROSSI R., MARTI J.M. A fast and accurate method to solve the incompressible Navier-Stokes equations // Engineering Computations. 2013. Vol. 30. N. 2. P. 197–222.

[2] DADVAND P., ROSSI R., ONATE E. An object-oriented environment for developing finite element codes for multi-disciplinary applications // Archives of Computational Methods in Engineering. 2010. Vol. 17. N. 3. P. 253–297.

[3] SCHAFER M., TUREK S. Benchmark computations of laminar flow around a cylinder // Notes on Numerical Fluid Mechanics. 1996. Vol. 52. P. 547–566.