

Расчет турбулентного течения жидкого металла

С.Ю. Маламанов¹

¹Санкт-Петербургский Государственный Университет

В работе рассматривается течение ртути в прямолинейном канале квадратного сечения с расположенными по бокам канала турбулизаторами, представляющими собой половинки цилиндров, при наличии вертикального однородного магнитного поля – рис.1. Интерес к подобной задаче вызван в первую очередь проблемами атомной энергетики, где вопросам теплообмена и повышению энергетической эффективности теплообменных аппаратов уделяется громадное значение. Интенсификация конвективного теплообмена достигается как применением турбулизаторов, так и использованием в качестве теплоносителей жидких металлов таких как натрий, калий, литий, свинец, висмут и ртуть. Последняя выделяется тем, что в обычных условиях остаётся жидкой и необычайно «подвижной», кроме того, обладает очень высокой электропроводностью. Коэффициент электропроводности $\sigma \sim 10^6 \text{ См/м}$. В этой связи проводится расчет характеристик турбулентного потока (скорости) с помощью трех моделей турбулентности. Первой является хорошо известная «k - ε» модель, второй – «k - ω» (где ω – удельная скорость диссипации), а третья - это модель переноса компонентов тензора напряжений Рейнольдса («SSG» – модель).

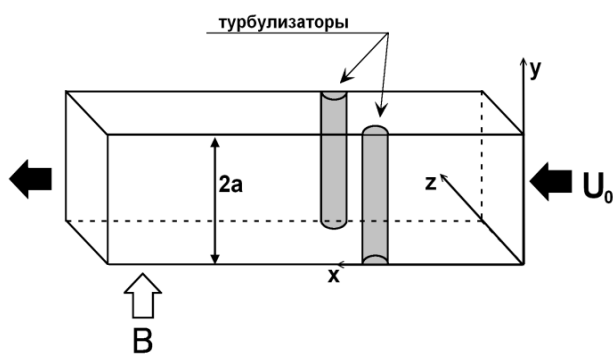


Рис.1. Схема течения

Использование трех указанных моделей позволит произвести сравнительный анализ того, как они воспроизводят наблюдаемые в реальном эксперименте величины. Из постановки задачи следует, что при заданных скорости потока на входе в канал U_0 и индукции магнитного поля B , течение зависит как от числа Рейнольдса, так и от числа Гартмана. Первоначально было рассчитано течение при числе Рейнольдса - $Re = 5.9 \cdot 10^4$, и числе Гартмана - $Ha = 440$, с помощью трех указанных моделей

турбулентности. Наиболее точно воспроизводит экспериментально наблюдаемые результаты модель «k-ω». Результаты расчетов показаны на рис. 2

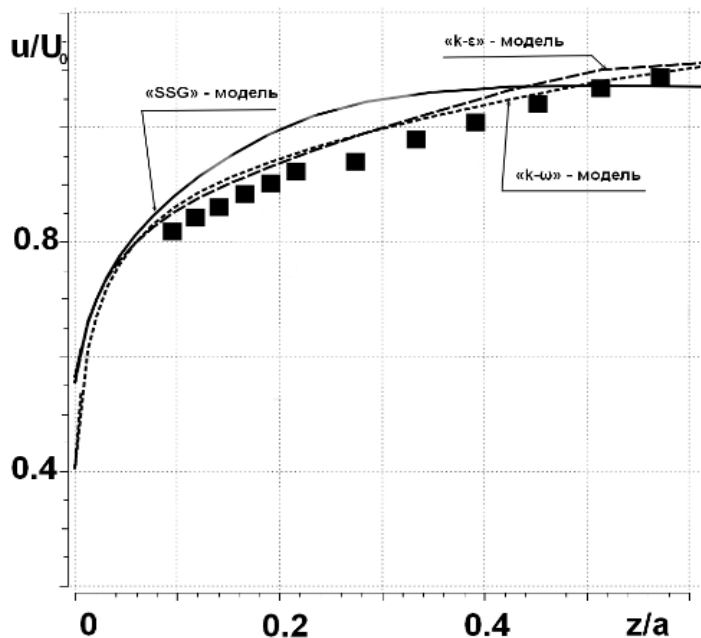


Рис.2. Сравнение безразмерных профилей скорости вблизи боковой поверхности при использовании различных моделей турбулентности на фоне экспериментальных данных. Линии – результаты моделирования, экспериментальные величины [1] показаны квадратами.

Отличие рассчитанных значений скорости от экспериментально наблюдаемых, по-видимому, можно объяснить различием турбулентных масштабов. Один масштаб – геометрический – это характерный размер обтекаемого турбулизатора, второй масштаб, характеризующий магнитное поле, – силовой. Величина последнего «ответственна» за то, какие эффекты, вызывающие изменение магнитного поля, будут преобладать – индукционные или диссипативные. В моделях, реализованных в ANSYS.CFX (применялся именно этот комплекс) это различие масштабов не учитывается. При расчетах использовались штатные установки расчетного комплекса, ничего «своего», связанного со спецификой данной задачи не добавлялось. Одним из аргументов, в пользу высказанного предположения, может служить рассмотрение точно такого же течения, но без турбулизаторов. Результаты соответствующих расчетов представлены на графике рисунка 3.

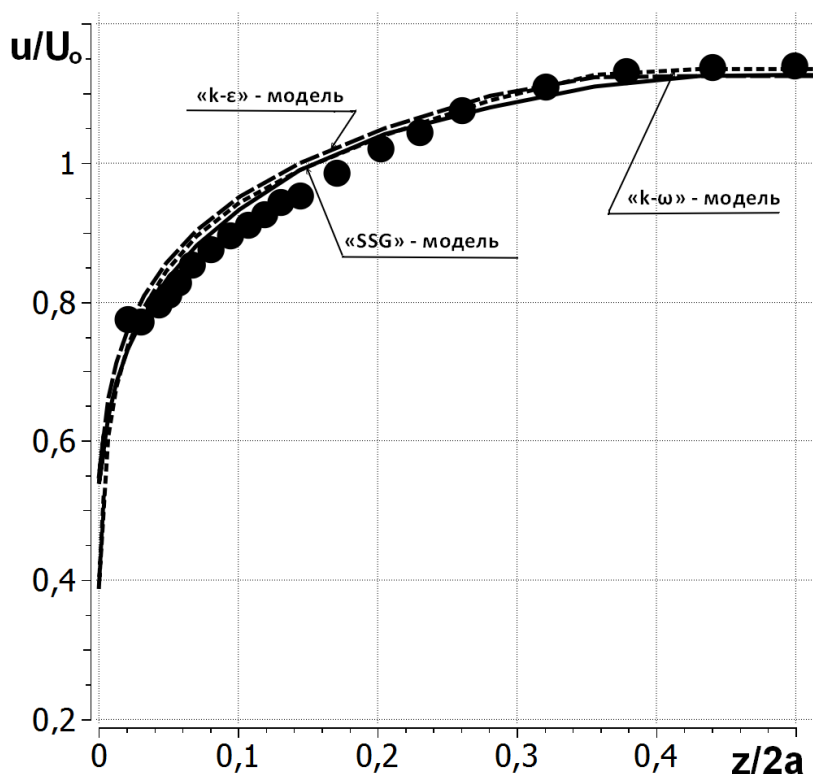


Рис.3. Сравнение безразмерных профилей скорости при течении в канале без турбулизаторов с использованием различных моделей турбулентности на фоне экспериментальных данных. Линии – результаты моделирования, экспериментальные величины [1] показаны кружками.

Из рассмотрения рисунка следует, что в более «простых» условиях расчет достаточно хорошо воспроизводит распределение скорости поперек канала. Такой результат лишней раз подтверждает некий «консерватизм», свойственный турбулентности, который неплохо отслеживается даже при моделировании такого сложного физического явления как турбулентное движение проводящего металла в магнитном поле.

Литература

1. Takahashi M. Recent Research Activities on Liquid Metal MHD Phenomena in Japan. APEX-6/FHPD Workshop. February 16-19. 1999.