

Моделирование течения в квадратной каверне и вихря Тейлора-Грина на физически информированных сетях радиальных базисных функций

Научный руководитель – Горбаченко Владимир Иванович

Стенькин Дмитрий Александрович

Сотрудник

Пензенский государственный университет, Политехнический институт, Факультет вычислительной техники, Пенза, Россия

E-mail: stynukin@mail.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта "Физически информированные нейронные сети для моделирования объектов с распределенными параметрами" (Регистрационный номер 126021217095-4).

Сеточные методы ориентированы преимущественно на решение прямых задач и требуют полного задания граничных условий. Построение вычислительных сеток для сложных криволинейных областей является нетривиальной и ресурсоёмкой задачей. Физически информированные нейронные сети реализуют бессеточный подход и не требуют явного построения сетки. Используют единый формализм для прямых и обратных задач, допускают работу с произвольными точками в пространстве, эффективны при сложной и изменяющейся геометрии, а также при наличии зашумленных или разреженных данных. Основным недостатком классических физически информированных нейронных сетей остаётся значительное время обучения. Физически информированные сети радиальных базисных функций [1] позволяют сократить разрыв во времени решения между нейросетевыми и традиционными численными методами. Физически информированные сети радиальных базисных функций аппроксимируют целевую функцию локально: каждая базисная функция описывает решение в окрестности своего центра. Это обеспечивает принципиальное преимущество по сравнению с полносвязными сетями, поскольку градиенты параметров оказываются локализованными, а существенные вклады в функцию потерь формируются лишь в ограниченных областях пространства. Такая структура позволяет эффективно уменьшать локальные невязки. Существенным преимуществом физически информированных сетей радиальных базисных функций является дополнительная настройка нелинейных параметров базисных функций, что позволяет оптимизатору адаптировать форму базисов (через векторы ширин) и их положение (через центры). Это особенно важно для корректного описания резких градиентов и локальных особенностей решения. Физически информированные сети радиальных базисных функций содержат один нелинейный слой с последующим линейным выходным слоем, поэтому поверхность функции потерь менее сложна, чем у глубоких нейронных сетей. Неглубокие архитектуры с локализованными базисами характеризуются меньшей эффективной длиной путей распространения градиентов и меньшим числом взаимодействующих нелинейностей между слоями, что существенно ускоряет процесс оптимизации. Вихрь Тейлора-Грина имеет аналитическое решение. При моделировании течения в квадратной каверне можно проверить способность метода корректно моделировать первичные и вторичные вихри в углах каверны. Эти задачи являются эталонными для тестирования методов в вычислительной гидродинамике.

Источники и литература

- 1) Stenkin D.A., Gorbachenko V.I. Solving Problems of Mathematical Physics on Radial Basis Function Networks // Moscow University Physics Bulletin. 2024, Vol. 79, No. 2, p. 706-711.