

Решение обратной коэффициентной задачи для уравнений Сен-Венана с использованием физически-информированной нейронной сети

Стрижак С.В., Кошелев К.Б.

ИСП РАН, Москва, Россия

s.strijhak@ispras.ru

Изучение процессов в гидроканалах является актуальной задачей в связи с изучением паводков, наводнений на реках и изучением процессов мелиорации плодородных земель. Частью цифровых двойников природно-технических систем могут быть нейронные сети, которые позволяют ускорить процесс вычислений в режиме реального времени. В данной работе рассматривается возможность использования физически-информированной нейронной сети (PINN) для решения прямой и обратной задачи в области изучения гидрологических процессов в гидроканале с заданной топографией дна. Для гидроканала задается длина, $L = 1000$ метров, ширина, $B = 10$ метров. Поверхность дна задается аналитической формулой в зависимости от двух координат.

В результате формулируется краевая задача о течение воды в двухмерном канале с заданным расходом на входе и уровнем воды на выходе. Процесс движения жидкости описывается с помощью математической модели в основе которой содержится решение уравнений по теории мелкой воды (уравнений Сен-Венана). Исходные уравнения решаются с помощью конечно-разностного метода на заданной сетке. В ходе моделирования для прямой задачи определяются две компоненты скорости и уровень поверхности воды в гидроканале. Полученные исходные данные в расчетном коде Delft3D используются для обучения полносвязной нейронной сети, которая содержит входной слой для задания положения точек коллокации в расчетной области, скрытые слои с заданным количеством нейронов, выходной слой для предсказания двух компонент скорости и уровня поверхности воды. Обратная задача формулируется и решается с целью предсказания значения коэффициента шероховатости дна канала с использованием PINN. Предварительно задается приближенное значения коэффициента шероховатости. На вход нейронной сети подаются, рассчитанные значения скорости и уровня поверхности воды при разных расходах (50, 100, 200 м³/с). Вычисление в коде Delft3D искомым величин занимает около 2 минут. Дополнительно было изучено влияние гиперпараметров PINN на качество предсказания. В ходе исследования варьировалось количество точек коллокации в расчетной области, значение коэффициента для скорости обучения. Обучение модели PINN выполнялось на сервере с Nvidia GPU A100 объемом 40 ГБ. Один типичный процесс обучения для выбранной архитектуры нейронной сети занимает от 2,5 до 3,5 часов, а процесс предсказания исследуемых параметров - 5-10 секунд. По результатам предсказания PINN проведена оценка для абсолютной величины ошибки. Ошибка прогнозирования значения коэффициента шероховатости для обратной задачи не превышала 10%.