

Прогнозирование многофазного течения в пористых средах с использованием ансамбля нейронных сетей

Научный руководитель – Гришкевич Владимир Филиппович

Аристов Артем Игоревич

Аспирант

Тюменский индустриальный университет, Институт геологии и нефтегазодобычи,
Тюмень, Россия

E-mail: artizzq@gmail.com

Моделирование течения флюидов в пористых средах критически важно для нефтегазодобычи и секвестрации CO₂ [3]. Прямые численные методы (LBM) точны, но требуют огромных вычислительных ресурсов [2]. Целью работы является создание нейросетевого алгоритма для сверхбыстрого прогнозирования полей скорости и плотности флюидов, а также кривых относительной проницаемости в цифровых моделях горных пород.

Обучающая выборка включала 18 образцов песчаника (64³ вокселей), сгенерированных сетью RockGAN [1]. Бинарные изображения (пора/твердое тело) преобразованы в трёхмерные карты признаков на основе преобразований расстояния (SDTD, LSDT, LDPT), объединённые в 3-канальный тензор. Целевые параметры (поля скорости, плотности, кривые водонасыщения S_w и относительной проницаемости k_{rw} и k_{rnw}) получены прямым моделированием (LBM и PNM).

Разработан ансамбль из двух нейросетей: 3D U-Net для полей скорости/плотности и гибридной CNN-MLP для кривых проницаемости. Обучение - 150 эпох (функция потерь - MSE). На тестовых образцах (№19–21) модель показала высокую точность для поля скорости (MSE ~ 0.012–0.017) и k_{rnw} ($R^2 > 0.85$), удовлетворительно воспроизведя структуру течений. Меньшая точность для k_{rw} ($R^2 \leq 0.5$) связана со сложностью учёта капиллярных эффектов. Ключевое преимущество - скорость: прогноз для одного образца занимает менее 1 секунды на графическом процессоре (GPU), тогда как прямое моделирование требует часы вычислений.

Предложенный подход ускоряет оценку фильтрационных свойств на порядки, сохраняя приемлемую точность. В перспективе рассматривается расширение выборки и применение графовых нейронных сетей для учёта топологии порового пространства.

Источники и литература

- 1) Volkhonskiy D. et al. Generative adversarial networks for reconstruction of three-dimensional porous media from two-dimensional slices // Physical Review E. 2022. Vol. 105. No. 2. pp. 025304;
- 2) Yang C. et al. Lattice Boltzmann simulation of asymptotic longitudinal mass dispersion in reconstructed random porous media // AIChE Journal. 2018. Vol. 64. No. 7. pp. 2770-2780;
- 3) Zhang C. A critical review of breakthrough pressure for tight rocks and relevant factors // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2022. Vol. 100. pp. 104456.

Иллюстрации

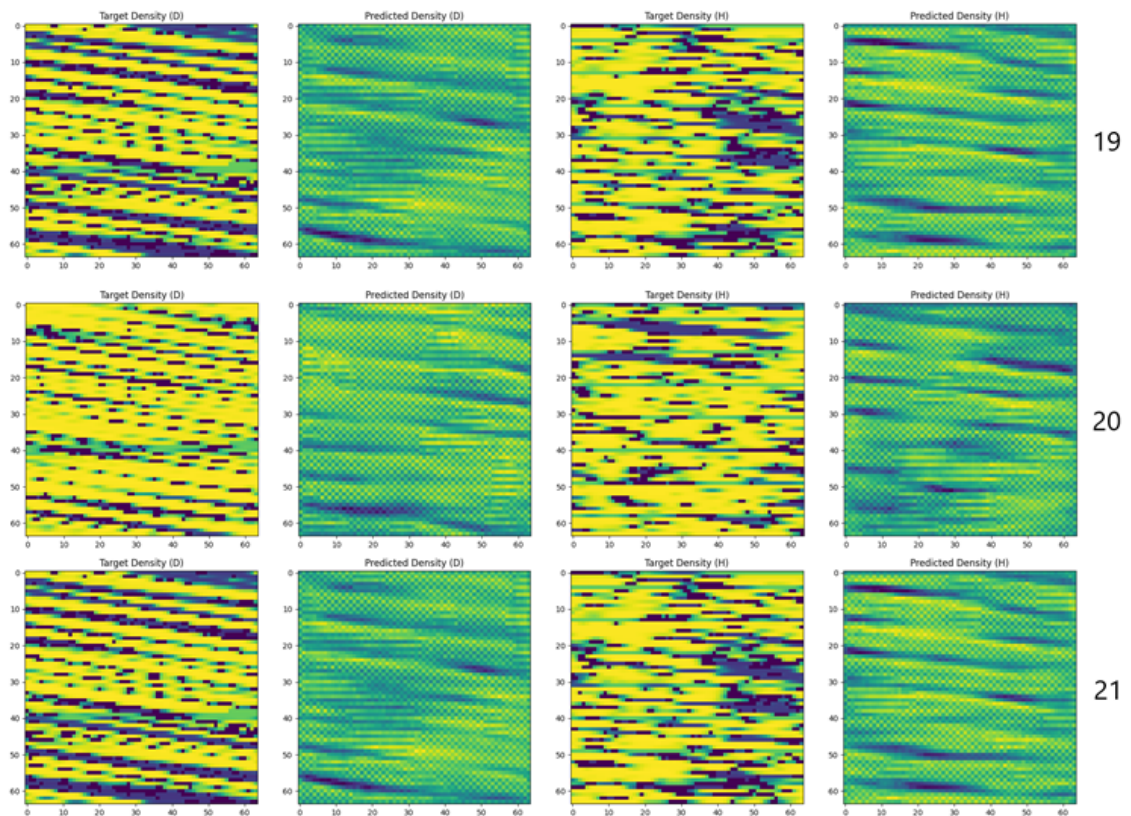
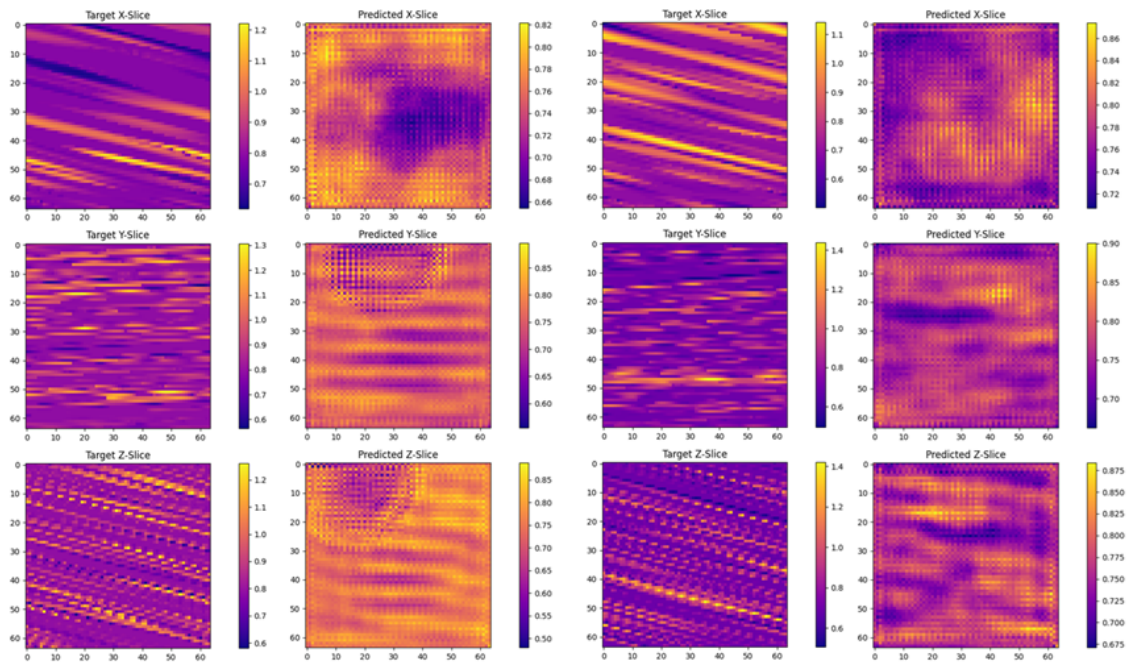
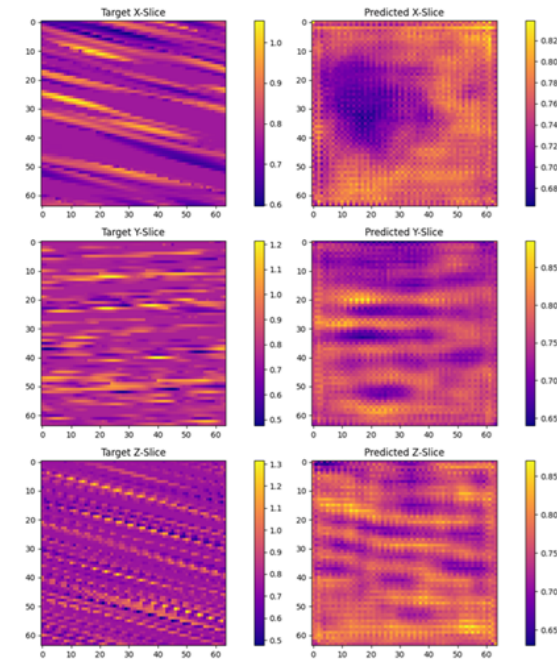


Рис. : Предсказанные и эталонные значения плотности в разрезе кубов, размеры срезов по оси X составляют 64 на 64 пикселя, цветовая шкала viridis, диапазон значений от 0.4 до 2.2 ед. LBM



19

20



21

Рис. : Предсказанные и эталонные значения скоростей жидкости в разрезе кубов, размеры срезов по осям X, Y и Z составляют 64 на 64 пикселя, цветовая шкала plasma, диапазон значений от 0 до 0.001 ед. LBM

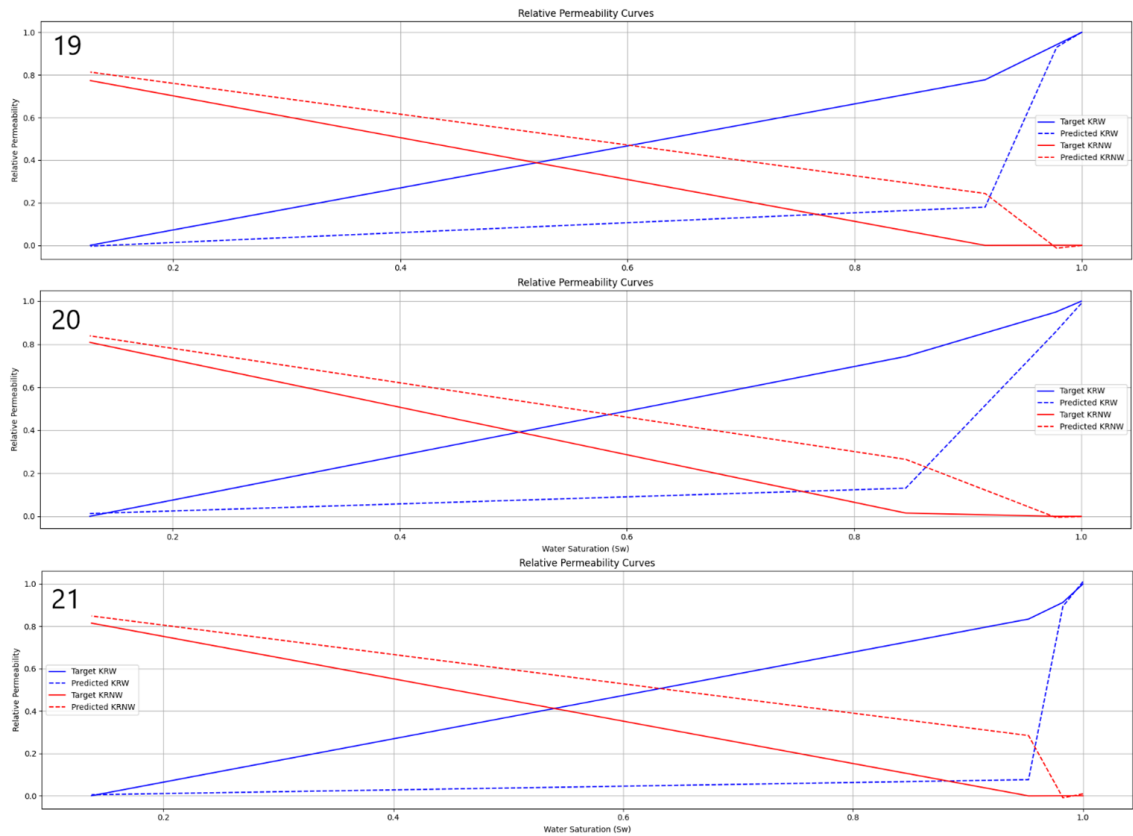


Рис. : Кривые относительной проницаемости для каждого моделируемого цифрового образца, полученные в результате прямого численного моделирования (показаны сплошными линиями) и нейросетевого моделирования (отмечены пунктиром)