

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРАКТИКЕ ПРИКЛАДНЫХ РАСЧЕТОВ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖРД

Бельчиков Д.А.¹, Пешков Р.А.¹, Куплевацкий Д.В.¹, Третьяков П.А.¹
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск @belchikovda@ssau.ru

Ключевые слова: искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, ракетный двигатель, моделирование внутрикамерных процессов.

Конкурентоспособность современного наукоемкого производства в значительной мере определяется соотношением средств и результатов, затрачиваемых и получаемых в процессе организации специализированных НИОКР.

Не смотря на видимую трансформацию постсоветской ракетно-космической отрасли, основные усилия в которой в течении последних десятилетий, в основном, затрачивались на сопровождение ранее разработанных изделий, Госкорпорация Роскосмос и относящиеся к ней предприятия Объединенной двигателестроительной компании регулярно занимают лидирующие позиции по объему инвестиций в НИОКР [1].

В этих условиях вполне естественным становится предположение о достаточно широком характере проводимых исследований, направленных в том числе на совершенствование серийной техники и, в частности, ракетных двигателей. Номенклатура и объем проводимых работ при этом должны обуславливать соответствующую широкую вовлеченность в процесс специалистов различной специализации, уровня технической подготовки и профильных компетенций. А требования активно реализуемой политики цифровой трансформации — предполагать повсеместный переход от изготовления натуральных образцов и проведения физического эксперимента к формированию цифровых моделей и численному эксперименту [2].

Относительно низкий уровень развития прикладных инженерных навыков в области математического моделирования, связанный, помимо прочего, с общим недостаточным уровнем цифровизации отечественного машиностроения [3] и традиционным для отрасли подходом к доводке изделий в основном по результатам огневых испытаний [4]: способствует возникновению ситуации, при которой оперативный и количественно верный анализ тех или иных технических и конструктивных решений, принимаемых специалистами на местах требует регулярного обращения либо к специальным структурам, занятым расчетными исследованиями в составе предприятий и (или) НИИ, либо к небольшому числу коллег, обладающих необходимым опытом и вычислительными мощностями. Естественно, что оба эти подхода негативно сказываются на времени принятия решений и общем затягивании времени выполнения работ по НИОКР.

Возможным решением описанной проблемы является создание и внедрение в практику использования рядовыми сотрудниками конструкторских и проектных отделов специализированных инструментов, направленных на быстрое получение промежуточных результатов: например, характеризующих рабочий процесс в камере сгорания или процесс течения продуктов сгорания по соплу. Или комплексных результатов — отражающих тепловое или напряженно-деформированное состояние отдельных узлов камеры, двигателя в целом.

При этом для сохранения качества получаемых результатов, указанный инструмент должен являться методологическим и логическим развитием пакетов прикладных программ, методическая основа которых сложилась еще в 60—90 гг. прошлого века и базировалась на значительно упрощенных соотношениях, описывающих реальные процессы в двигательных установках.

Одним из возможных способов реализации такого рода инструмента может являться искусственная нейронная сеть. При этом ввиду повышенных требований к качеству

и физической адекватности получаемых результатов указанная сеть должна реализовывать алгоритм формирования ошибки не только по качеству аппроксимации обучающего набора собственно данных (распределенных параметров), но и по качественному и количественному выполнению законов сохранения, описываемых принятыми в расчетной практике физическими моделями. Нейросетью такого типа, на текущем этапе нашедшей широкое распространение в академической среде, является физически информированная нейронная сеть (PINN).

Так, рядом авторов только за последние несколько лет было опубликовано множество работ, показывающих достаточно хорошую сходимость результатов решения традиционных для теории ракетных двигателей задач сверхзвукового течения [5] и теплообмена [6], в том числе в условиях существования пузырькового кипения [7].

В качестве примера возможностей и точности получаемых результатов на рис. 1 приведено сравнение распределенных и интегральных параметров по поверхности шара в набегающем потоке вязкого газа, содержащего частицы, полученных при использовании PINN и PR-DNS подхода к моделированию.

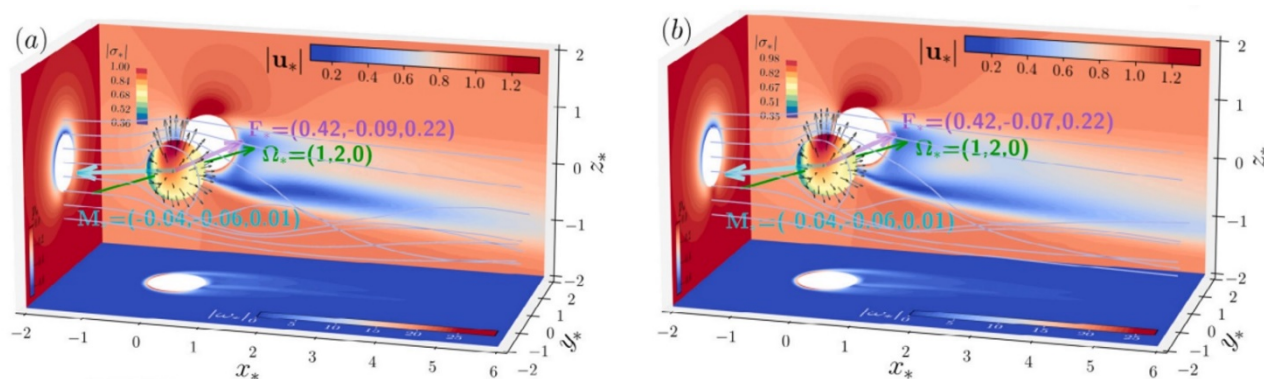


Рис.1 – Сопоставление получаемых результатов [8]:
слева — RP-DNS модель; справа — PINN

Одновременно, ключевым преимуществом внедрения инструмента на основе именно нейронных сетей является возможность его постоянного совершенствования за счет привлечения данных, получаемых предприятиями различной направленности, что особенно перспективно в условиях формирования единого информационного пространства предприятий Роскосмоса [9].

Список литературы

1. Промышленность, авиация и космос — лидеры по заказу научных разработок // РБК Компании: [электрон. портал]. — 2023. URL: <https://companies.rbc.ru/news/d13dab8f-f957-491a-aa7b-a88b00fc97/promyshlennost-aviatsiya-i-kosmos---lideryi-po-zakazu-nauchnyih-razrabotok/> (дата обращения: 15.05.2025).
2. Перспективы цифровой трансформации российского машиностроения // В.В. Коровкин, Г.В. Кузнецова // Ars Administrandi (Искусство управления). — 2020. — Т. 12, № 2. — С. 291—313.
3. Цифра завоевывает машиностроение / М. Яшина // Энергетика и промышленность России: [электрон. журнал]. — 2024. — № 15—16 (491—492). URL: <https://www.eprussia.ru/epr/491-492/4324653.htm> (дата обращения: 15.05.2025).
4. Разработка технологии испытаний криогенных ракетных двигателей с имитацией воздействующих факторов : специальность 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Галеев Антон Валерьевич ; ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». — Москва, 2018. — 126 с.

5. Physics-informed neural networks enhanced planar laser-induced fluorescence technique: Reconstructing flow fields of supersonic gas flow into the low-pressure region / Tingxuan Fan, Tianliang Zhao, Tingting Liu, [and other] // Optics and Lasers in Engineering. — 2025. No. 188.
6. Hybrid-PINNs approach for predicting high-fidelity flow and heat transfer in printed circuit heat exchangers of sodium-cooled fast reactors / Yang Li, Rongdong Wang, Detao Wan, [and other] // Energy. — 2025. — No. 330.
7. Physics-informed neural networks for two-phase film boiling heat transfer / Darioush Jalili, Yasser Mahmoudi // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2025. — No. 241.
8. Parameterized physics-informed neural networks (P-PINNs) solution of uniform flow over an arbitrarily spinning spherical particle / Kai Liu, Kun Luo, Yuzhou Cheng, [and other] // International Journal of Multiphase Flow. — 2024. — No. 180.
9. Роскосмос вложил в PLM-среду 2,7 млрд. руб. // COMNEWS : Новости цифровой трансформации, телекоммуникации, вещания и ИТ : [электрон. журнал]. — 2024. — URL: <https://www.comnews.ru/content/234770/2024-08-16/2024-w33/1007/roskosmos-vlozhil-plm-sredu-27-mlrd-rub> (дата обращения: 15.05.2025).