

О задаче идентификации параметров внутреннего слоя трехслойной упругой полосы

Научный руководитель – Бобылев Александр Александрович

Щербakov Михаил Евгеньевич

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра теории упругости, Москва, Россия
E-mail: shcherbakov.o.e@gmail.com

Рассматривается задача идентификации параметров внутреннего слоя трехслойной упругой полосы на основе результатов моделирования процесса индентирования полосы жестким штампом с микровыступами. Постановка контактной задачи, параметры штампа и параметры внешней нагрузки приведены в [1].

В процессе вдавливания индентора, на каждом микровыступе определяются относительная площадь фактического контакта, максимальное контактное напряжение и контактное усилие [1]. Задача идентификации состоит в нахождении трёх параметров среднего слоя полосы (модуля Юнга, положения нижней и верхней границ) по перечисленным выше характеристикам контактного взаимодействия на микровыступах. Другие два слоя полосы идентичны по своим механическим свойствам, которые считаются известными.

Для решения задачи применяется аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС). Обучающий, проверочный и тестовый наборы строятся путём решения прямой задачи, в ходе которого вычисляются характеристики контактного взаимодействия на микровыступах для заданных параметров внутреннего слоя. Алгоритмы решения прямой задачи разработаны в [1, 2].

Набор параметров внутреннего слоя генерируется при помощи известного статистического метода LHS (Latin Hypercube Sampling). Таким образом получается база данных из 20000 обучающих, 4000 проверочных и 1000 тестовых образцов.

В настоящей работе для решения задачи идентификации предложен каскад из трёх полносвязных ИНС с предварительной нормализацией данных. На входы первой сети, имеющей 3 внутренних слоя, подается вектор контактных характеристик на микровыступах штампа, а на выходе получается положение верхней границы среднего слоя. Затем полученное значение вместе с тем же вектором контактных характеристик подается на входы второй сети (3 внутренних слоя), выходом которой является искомое значение модуля Юнга. Входами третьей сети (4 внутренних слоя) являются исходный вектор контактных характеристик и два полученных выше значения, а выходом является положение нижней границы слоя.

В качестве функции потерь, функции активации и оптимизатора используются MSE, RELu и Adam соответственно. Оценка модели производится при помощи метрики MAPE. Каждая сеть каскада обучается 8000 эпох с постепенным уменьшением шага обучения от 0.001 до 0.00001. Оптимальные гиперпараметры подбираются с использованием проверочного набора.

В результате применения выбранного подхода получаются следующие относительные погрешности для тестового набора: 0.27% для положения верхней границы, 1.01% для положения нижней границы и 0.93% для модуля Юнга среднего слоя полосы.

Источники и литература

- 1) Бобылев А. А. Алгоритм решения задач дискретного контакта для упругой полосы // Прикладная математика и механика. 2022, том 86, № 3. С. 404-423.
- 2) Бобылев А. А. Численное построение трансформанты ядра интегрального представления оператора Пуанкаре-Стеклова для упругой полосы // Дифференциальные уравнения. 2023, том 59, № 1. С. 115-129.