

Использование машинного обучения для прогнозирования деформаций в конструкциях

*Врублевская Вероника Андреевна, Шевелёв Артём Леонидович,
студенты 2-го курса кафедры «Математические методы в строительстве»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Вербицкая О.Л., канд. техн. наук, доцент)*

На сегодняшний день прогнозирование механических свойств материалов является одной из главных задач в инженерии. Особенно делается упор на строительство и транспортное машиностроение. Точное предсказание деформаций в конструкциях с помощью машинного обучения обеспечивает безопасность, надежность и долговечность большого количества объектов, а также позволяет автоматизировать процесс мониторинга состояния конструкций. В традиционной практике широко применяются численные методы: метод конечных элементов (МКЭ), CFD-моделирование, цифровые двойники и др. Объединение этих подходов с алгоритмами машинного обучения открывает новые возможности и позволяет:

1. Предотвращать аварии и разрушения;
2. Продлевать срок службы конструкций и материалов;
3. Снижать затраты на ремонт и обслуживание;
4. Повышать безопасность;
5. Оптимизировать проектирование.

Для создания надёжной модели прогнозирования деформаций критически важно собрать и качественно обработать данные. Источники информации для обучения модели можно разделить на три группы:

1. Экспериментальные испытания — лабораторные и полевые замеры: статические и динамические тесты, испытания на усталость и др.

2. Численное моделирование включает в себя **метод конечных элементов** (МКЭ) – разбиение сложной геометрии на малые элементы и решение локальных уравнений прочности, теплопередачи и динамики. После расчета по методу МКЭ можно оценить деформации грунта и конструкций. И с этим может помочь такая наука, как **computational fluid dynamics** (CFD) — это вычислительная наука, созданная для моделирования потоков жидкости и газа на основе фундаментального сохранения уравнения массы, импульса и энергии. На данный момент жидкости окружают нас и поддерживают наше существование различными способами. Колебания голосовых связок создают волны давления в

воздухе, которые позволяют говорить и слышать произнесенные слова. Если бы не жидкости, самолет не создавал бы никакой подъемной силы. С помощью CFD мы можем анализировать, понимать и прогнозировать жидкости, которые составляют почти каждую деталь нашего мира;

3. Реальные эксплуатационные данные

Системы мониторинга собирают данные с работающих систем мониторинга таких как *IoT-датчики* — сеть физических устройств, оснащенных датчиками и подключенных к интернету для сбора и передачи данных. С помощью IoT после передачи данных возможно создание цифрового двойника на компьютере или проще говоря 3D-модель, которую мы сможем проанализировать в различных условиях.

Для прогнозирования деформаций также используются алгоритмы:

1. **Линейная регрессия** — простая модель, которая подходит, если между нагрузкой и деформацией есть прямая зависимость. Этот алгоритм машинного обучения, который моделирует зависимость между входными параметрами (факторами, влияющими на деформацию) и выходной переменной (величиной деформации). Данный принцип используется для предсказания механических изменений в конструкциях, анализируя исторические данные о нагрузках и среде. Например, для предсказания деформаций мостов можно использовать статические нагрузки (вес автомобилей, грузов), динамические нагрузки (ветровая нагрузка, вибрации), температуру и влажность (расширение и сжатие материалов), возраст конструкции (усталость материалов).

2. **Дерево решений** — это алгоритм машинного обучения, который представляет процесс принятия решений в виде древовидной структуры. Каждый узел дерева является проверкой условия (например, «температура > 20°C?»), ветви — это возможные варианты ответа (да/нет), а листья — конечные решения (классы или числовые значения).

3. **Random Forest** — это ансамблевый метод, который строит множество деревьев решений и объединяет их предсказания для улучшения точности. В отличие от одного дерева решений, случайный лес делает выборку данных и признаков случайным образом, что уменьшает переобучение.

По завершении обучения модель проверяют на тестовых данных, рассчитывая показатели её точности и надёжности. В качестве основных методов оценки применяются:

1. **Среднеквадратичная ошибка (MSE, Mean Squared Error)** — усреднённое значение квадратов отклонений предсказанных результатов от фактических, позволяющее понять средний масштаб ошибок модели.

2. **Кросс-валидация** – разбивка исходного набора данных на несколько фолдов, поочерёдная тренировка на части фолдов и проверка на оставшихся, что обеспечивает объективную оценку обобщающей способности модели.

Когда модель успешно обучена и протестирована, её внедряют в систему мониторинга:

1. Прогнозирование деформаций в режиме реального времени (мосты, здания, трубы);
2. Диагностика и выявление аномалий (раннее обнаружение трещин);
3. Интеграция с цифровыми двойниками (виртуальные модели объектов для предсказания износа).

Машинное обучение становится незаменимым инструментом в прогнозировании деформаций материалов и конструкций в наше время. Поскольку оно способно проанализировать огромные объемы данных и выявить сложные взаимопереходы. Алгоритмы машинного обучения могут существенно повышать точность предсказаний по сравнению с традиционными способами. Это особенно актуально в таких критически важных промышленных отраслях, как строительство, машиностроение, авиационно-космическая и энергетическая промышленность, где устойчивость материалов и конструкций является решающим моментом.

Литература:

1. Income-project Расчет строительных конструкций методом конечных элементов — URL: <https://income-project.ru/stat/raschet-stroitelnyx-konstrukcij-metodom-konechnyx-elementov/>
2. Ana Ramos, António Gomes Correia, Nielsen, Rui Calçada Machine Learning Models for Predicting Permanent Deformation in Railway Tracks — URL: <https://za4etka.info/news/oformlenie-spiska-elektronnoj-literatury>
3. Bao Qin, Zheng Zhong A Physics-Guided Machine Learning Model for Predicting Viscoelasticity of Solids at Large Deformation — URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/22/3222>