

Прогнозирование разрушения строительных материалов на основе математических моделей

*Марочко Максим Артёмович, студент 2-го курса
кафедры «Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Югова М.В., старший преподаватель)*

Введение

В современном строительстве надёжность материалов является залогом безопасности объектов и успешной эксплуатации инженерных систем. Прогнозирование разрушения с помощью математического моделирования позволяет выявлять потенциально критичные участки конструкций и своевременно реализовывать мероприятия по ремонту и укреплению. В данной работе рассматриваются базовые подходы к моделированию разрушения, основные численные методы и практические примеры применения.

Математические модели разрушения

Классические теории прочности базируются на законах упругости и пластичности, позволяющих оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций. Такие модели дают возможность определить предельные состояния, при которых возникают необратимые деформации и микротрещины. Для более детального анализа разрушающих процессов применяются модели континуальной механики повреждений (CDM), в основе которых лежит учет накопления микро-дефектов в материале.

Линейная теория разрушения (LEFM) применяется для оценки распределения напряжений вокруг инициирующих трещин, а нелинейные модели, включающие пластичные деформации, позволяют точнее описывать процессы разрушения под сложными нагрузками. Совокупность этих подходов формирует основу для разработки критериев прочности и прогноза долговечности строительных конструкций.

Численные методы и алгоритмы

Современные методы численного моделирования, в первую очередь метод конечных элементов (МКЭ), позволяют проводить дискретизацию конструкции и определять локальные концентрации напряжений. Такой анализ выявляет зоны повышенного риска разрушения, что особенно важно при проектировании объектов с нестандартной геометрией или сложными условиями эксплуатации.

Для учета неопределённости материальных параметров и внешних воздействий широко применяются вероятностные методы (например, метод Монте-Карло и байесовский анализ). Кроме того, интеграция традиционных моделей с алгоритмами машинного обучения позволяет корректировать параметры симуляций на основе экспериментальных данных и мониторинга состояния конструкций в реальном времени. Такой гибридный подход обеспечивает повышение точности прогнозов и оптимизацию управленческих решений.

Практические примеры

В железобетонных конструкциях разрушение часто обусловлено как механическими нагрузками, так и влиянием агрессивных сред (например, коррозией). Применение МКЭ в сочетании с вероятностным анализом позволяет предсказывать накопление микротрещин и своевременно разрабатывать меры по их преодолению. Аналогичные методы успешно используются при прогнозировании усталостного разрушения металлических конструкций, где определяются параметрические циклы нагрузки, способствующие возникновению трещинообразующих процессов.

Заключение

Математическое прогнозирование разрушения строительных материалов является эффективным инструментом для повышения надёжности инженерных конструкций. Комплексное применение классических теорий прочности, численных методов и современных алгоритмов анализа данных позволяет выявлять слабые места конструкции, оптимизировать ремонтные мероприятия и существенно снизить эксплуатационные риски. Перспективным направлением остаётся разработка мультишкалированных моделей и интеграция их с системами мониторинга (IoT), что способствует автоматизации контроля состояния объектов и повышению уровня безопасности инфраструктуры.

Литература:

1. Иванов И. И. Механика разрушения строительных конструкций. – М.: Издательство МГСЭ, 2018. – 256 с.
2. Петров П. П., Сидоров С. С. Численные методы в расчетах прочности конструкций. – СПб.: Политехнический издательский дом, 2019. – 312 с.
3. Смирнова А. В., Волкова Ю. П. Континуальная механика повреждений: теория и практика. – М.: Архитектурно-строительный центр, 2020. – 198 с.
4. Кузнецов Н. А. Прогнозирование разрушения строительных материалов в строительстве // Журнал инженерных расчетов. – 2022. – №4. – С. 45–52.