

Анализ типа распределения характеристик акустической эмиссии

Балагурин П.С., pavelbalag@mail.ru, Макарихин П.А.,
makarikhin.p.a@gmail.com

Аннотация

Выделить акустические сигналы, испускаемые дефектами в каком-либо объекте, из общего массива данных можно с помощью кластеризации. Одним из способов кластеризации сигналов акустической эмиссии (АЭ) является кластеризация с помощью показателей корреляции. Применение некоторых из них возможно только в случае, когда значения исследуемых величин имеют определенный тип распределения. Для выбора показателей корреляции проведена проверка распределений значений характеристик акустических волн на нормальность с помощью вычисления асимметрии и эксцесса. В результате определено, что исследуемые характеристики не распределены нормально и в дальнейшем следует использовать показатели корреляции, для которых не важен тип распределения величин.

Введение

Средства неразрушающего контроля (НК), чувствительные к малозначительным развивающимся дефектам, используются в безопасной эксплуатации конструкций. В связи с этим задача выявления растущих трещин, в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной. Хорошо себя зарекомендовал интегральный метод обследования на основе явления АЭ. Достаточно быстрое протекание процессов изменения структуры в ограниченном объеме материала (пластическая деформация, разрушение, образование и рост трещин, движение дислокаций, фазовые превращения, трение и т.д.) излучает акустические волны. Данное явление называется АЭ материала. Оно применяется в НК для обнаружения активно развивающихся под нагрузкой дефектов. Одним из главных его достоинств является прямая связь информативных параметров сигналов АЭ с процессами разрушения, не свойственная традиционным методам. Это позволяет получать непосредственную информацию о стадии развития и скорости роста дефекта [1].

Поскольку наиболее содержательной задачей АЭ контроля является регистрация АЭ-событий, связанных с образованием и ростом трещин в объекте (место и время образования, оценка размера, эволюция), требуется иден-

тификация этих событий в общем массиве данных и выделение сигналов от трещин на фоне шумов.

Целью настоящей работы является анализ входных данных, а именно определение типа распределения их значений для дальнейшей кластеризации сигналов с использованием соответствующих показателей кластеризации.

Анализируемые характеристики

В качестве входных данных выбраны четыре наиболее информативные характеристики АЭ сигналов:

1. Средняя частота сигнала – отношение числа осцилляций к длительности сигнала Counts/D .
2. Величина, характеризующая крутизну нарастания переднего фронта сигнала, вычисляемая как отношение времени нарастания сигнала к амплитуде сигнала в микровольтах $R / \text{Lin.Amplitude}$.
3. Амплитуда.
4. Отношение времени нарастания сигнала к длительности сигнала R / D .

В ранних исследованиях был проведен анализ качества разделения данных в критериальных пространствах, образованных различными наборами АЭ параметров. Наилучшее разделение продемонстрировал вышеперечисленный набор параметров.

Рассматриваемые показатели корреляции

В наших исследованиях планируется классифицировать АЭ-сигналы с помощью коэффициентов/критериев корреляции. Коэффициент/критерий корреляции – это инструмент, с помощью которого можно проверить гипотезу о зависимости двух явлений и измерить схожесть динамики изменения одной и той же характеристики этих явлений [2]. Показатели корреляции делятся на две группы: 1) для использования которых требуется, чтобы исследуемые значения переменных были распределены нормально; 2) не имеет значения распределение переменных. К первой группе относятся коэффициент Пирсона, Стьюдента. Ко второй группе относятся критерий Уилкоксона, коэффициент Спирмена, Кендалла, Колмогорова, Фехнера. Коэффициент

Пирсона позволяет количественно вычислить отклонения от среднего значения [2], а t-критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий средних величин [3]. Коэффициент Фехнера проверяет факт отклонения значений переменных от среднего значения [4]. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена используется для выявления и оценки тесноты связи между двумя рядами сопоставляемых количественных показателей по совпадению рангов, а коэффициент ранговой корреляции Кендалла – по разности вероятностей совпадения и инверсии в рангах [2]. Т-критерий Уилкоксона используется для оценки различий между двумя рядами измерений, выполненных для одной и той же совокупности исследуемых, но в разных условиях или в разное время. Данный тест способен выявить направленность и выраженность изменений – то есть являются ли показатели больше сдвинутыми в одном направлении, чем в другом [3].

Описание экспериментов

Значения данных характеристик получены из двух исследований: механическая калибровка внутри бетонного массива и гидравлические испытания вплоть до разрушения труб из стали с нанесенными искусственными дефектами, выполненных сваркой токами высокой частоты [5]. Имитатором АЭ-сигналов служит щелчок толщеномером по волноводу. Это является подобием источника Су-Нильсена, часто использующегося в АЭ [6]. В нашем случае каждая из двух калибровочных серий состояла из 10-11 сигналов.

Метод проверки на нормальность

Предположение о законе распределения можно проверить с помощью коэффициентов асимметрии A_s и эксцесса E_x . В теории, при нормальности распределения эти показатели равны нулю. На практике такое равенство не наблюдается. Выборочные показатели A_s и E_x определяются по формулам:

$$A_s = \sum \frac{(x_i - M_x)^3}{n * \sigma^3}$$

$$E_x = \sum \frac{(x_i - M_x)^4}{n * \sigma^4} - 3$$

Если их значения не превышают критических, то распределение можно считать нормальным [7]. В эксперименте с механической калибровкой объем выборки равен 148. Критические значения для асимметрии и эксцесса при

уровне значимости 0.99 равны 0.464 и 0.846 соответственно. В эксперименте с гидравлическим испытанием объем выборки равен 11243. Критические значения – 0.18 и 0.82. Значения асимметрии и эксцесса для исследуемых характеристик превышают критические значения. Из этого следует, что значения данных характеристик не распределены нормально.

Анализ графиков

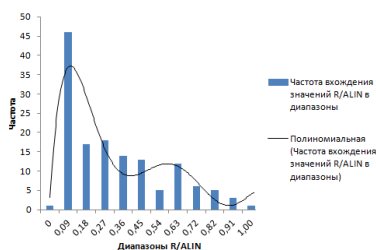


Рис. 1: Распределение значений характеристики $R/ALIN$ - отношение времени нарастания сигнала к амплитуде сигнала (механическая калибровка)

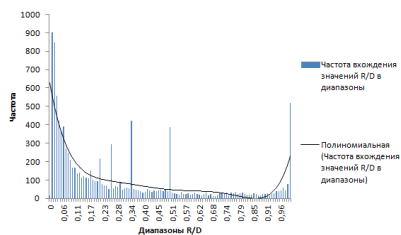


Рис. 2: Распределение значений характеристики R/D - отношение времени нарастания сигнала к длительности сигнала (гидравлические испытания)

Для каждой исследуемой характеристики АЭ-сигналов был построен график ее распределения. В результате получилось, что графики распределения амплитуды и отношения времени нарастания сигнала к амплитуде сигнала $R/ALIN$ в эксперименте с гидравлическим испытанием похожи на показательное распределение. Графики распределения значений отношения времени нарастания сигнала к длительности сигнала R/D и $R/ALIN$ 1 в опыте с механической калибровкой и отношения числа осцилляций к длительности сигнала $CNTS/D$ и R/D 2 в эксперименте с гидравлическим испытанием точно не похожи на нормальное распределение. Графики распределения значений амплитуды и $CNTS/D$ в опыте с механической калибровкой похожи на нормальное, но не являются симметричными.

Выводы

На основе экспериментов удалось установить, что и для исходных характеристик АЭ (амплитуда), и для составных ($CNTS/D$, $R/ALIN$, R/D) не под-

тверждается гипотеза, что они подчиняются нормальному распределению. Нормальное распределение реализуется во всех тех случаях, когда величина эффекта определяется суммарным воздействием некоторого числа сравнимых по величине и слабо зависимых факторов с конечными значениями второго момента распределения (дисперсии). Если оцениваемый эффект обусловлен воздействием взаимозависимых факторов, то результирующее распределение может отличаться от нормального. Аппроксимация эмпирических данных нормальным законом, в случае если данные не соответствуют этому закону, приводит к получению искаженных и малоинформативных оценок [8]. Значения исследуемых характеристик являются взаимозависимыми. Следовательно, для дальнейшего исследования необходимо использовать те показатели корреляции, для которых не важен вид распределения значений характеристик (Фехнера, Колмогорова, Уилкоксона).

Литература

- [1] С. А. Бехер, А. Л. Бобров. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии. — Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. — 145 с.
- [2] Харченко М.А. Корреляционный анализ. — Воронеж: ВГУ, 2008. — 31 с.
- [3] Титкова Л.С. Математические методы в психологии. - Владивосток 2002. - 140 с.
- [4] Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. - М.: Финансы и статистика, 1983. — 304 с.
- [5] Е.Ю. Нефедьев, В.П. Гомера, М.С. Сайкова, А.Д. Смирнов Определение степени опасности трещиноподобных дефектов в стали 17Г1с методом акустической эмиссии // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 6-й международной научно-практической конференции. - 2017. - 387-401 с.
- [6] Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков. Реализация источника Су-Нильсена для проверки работоспособности акустико-эмиссионной аппаратуры // Вестник ЮУрГУ. Серия "Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника". - 2014 - С. 41-42.
- [7] Шпаков П.С., Попов В.Н. Статистическая обработка экспериментальных данных. - М.: МГГУ, 2003. - 268 с.

- [8] М.В. Родкин. Анализ типов распределений как источник системной информации о природных процессах // Электронный научный журнал "Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика". - 2011. - 4 с.