

УДК 539.3

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛОК

Ласточкин П.В., аспирант, I год обучения

Научный руководитель: Кожевников А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск

Среди множества подходов к поиску повреждений в конструкциях и сооружениях отдельной группой выступают подходы, основанные на различных видах модального анализа. Применяются как масштабные испытания на основе методов возбуждения монофазных колебаний [1 – 2], так и выявление дефектов подходами операционного модального анализа (без специального внешнего воздействия) [3]. Однако, перед переходом к разработке способов контроля технического состояния реальных объектов и решению задачи идентификации дефектов сооружений, необходимо оценить уровень влияния выбранных классов повреждений на отслеживаемые характеристики – частоты собственных колебаний конструкций.

В литературе представлены результаты экспериментального определения зависимости между местоположением и уровнем пропила консольно-защемленной балки [4]. Однако авторы не приводят конкретных размеров экспериментальных образцов, поэтому не удастся сопоставить численные расчеты с их результатами. Поэтому рассмотрена другая расчетная схема: левый конец балки является консольно-защемленным, правый конец опирается на подвижную шарнирную опору. Материал балки сталь, поперечное сечение – квадрат со сторонами 20 мм.

При разработке подхода к поиску дефектов важно понимать какими были частоты и формы собственных колебаний для неповрежденной балки. Расчет частот для исходной балки выполнялся по аналитическим формулам из справочника [5]. Определение частот для балки с локальными повреждениями аналитическими методами достаточно затруднительно, поэтому применялся конечно-элементный расчет в среде SolidWorks. Выбор этой программы обусловлен оперативностью получения результата для конструкций с изменяемой от расчета к расчету геометрией.

Частоты балки в исходном состоянии представлены в таблице 1. Максимальное различие между аналитическим и численным результатами не превышает 1% для четырех первых балочных частот собственных колебаний.

Полученные значения частот собственных колебаний позволяют заключить о возможности применения расчетной конечно-элементной модели для оценки влияния локальных повреждений на спектр частот собственных колебаний. В качестве локального дефекта рассмотрим равномерное уменьшение

поперечного сечения в середине балки от первоначального (20 x 20 мм) до минимального (1 x 1 мм). Ширина дефекта составляет два миллиметра, что относительно суммарной длины балки равной одному метру можно рассматривать как локальное повреждение.

Таблица 1

Сопоставление частот балки без повреждений

№	Значение частоты собственных колебаний, Гц		Разница, %
	Аналитический подход	Метод конечного элемента	
1	73.292	73.468	0.24
2	237.493	237.440	-0.02
3	495.434	493.450	-0.40
4	847.280	839.450	-0.93

Результаты расчета удобно представить в виде графика (рис. 1), на котором по оси абсцисс откладывается отношение площади поврежденного сечения к площади первоначального сечения балки. Ось ординат представляет собой отношение значений рассчитанных первых четырех частот к аналогичным значениям для исходной балки.

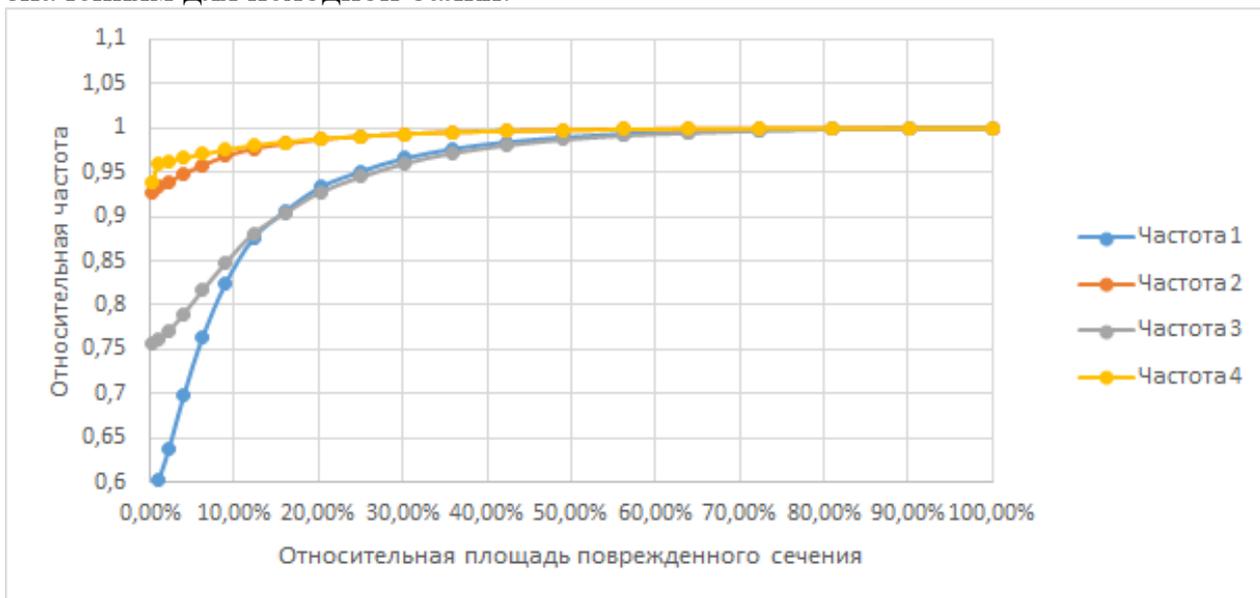


Рис. 1 Сводные результаты расчета для первых четырех частот собственных колебаний

Значимым будем считать отличие относительно первоначальной частоты не менее 5%. Подобный уровень частот соответствует дефекту, при котором в поперечном сечении остается не более 25% площади. В этом случае размеры поврежденного сечения уменьшаются до 10 x 10 мм, что может быть зафиксировано и средствами визуального контроля. Однако такое рассуждение касается только относительных частот в процентном выражении.

В случае применения измерительного оборудования с точностью измерения $\pm 0.5\%$, уверенно идентифицируемое различие между частотами с такой

дискретизацией возникнет для поврежденных сечений с относительной остаточной площадью не более 64%, что соответствует геометрическим размерам 16 x 16 мм.

Для балки с поврежденным сечением размерами 12 x 12 мм были рассчитаны частоты собственных колебаний при перемещении локального дефекта по длине балки. Результаты исследования приведены на рисунке 2. Слева показана нормированная первая форма колебаний балки (черная линия) и отличие в частоте относительно первоначального значения в процентах (красная линия). Справа – аналогичные результаты для второй формы колебаний.

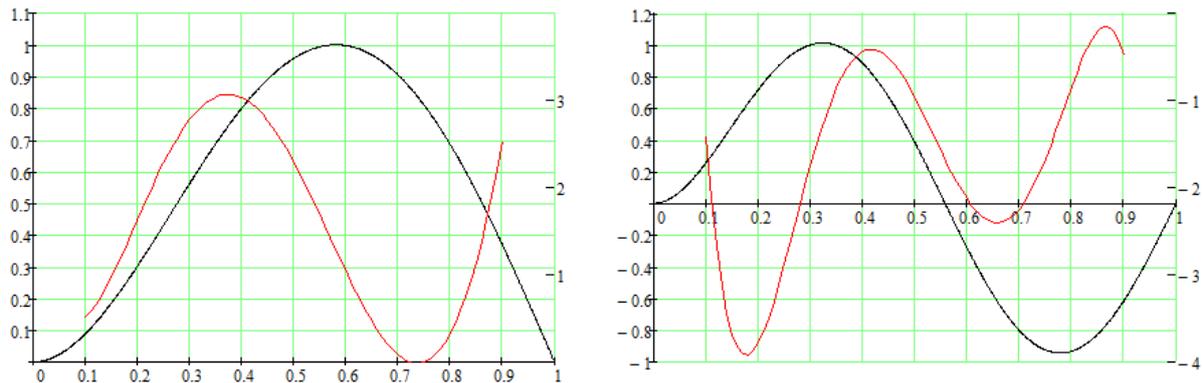


Рис. 2 Сводные результаты расчета для первых четырех частот собственных колебаний

Можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на частоты собственных колебаний оказывают дефекты вблизи закреплений балки. Около нулевого влияние проявляется для дефектов вблизи узлов соответствующей формы колебаний (рисунок 2 справа) или точек перегиба формы колебаний (рисунок 2 слева).

Существенный рост графиков вычисленного различия между частотами собственных колебаний вблизи закреплений балки объясняется выбранным видом полиномиальной аппроксимирующей функции и требует дополнительного исследования с большим количеством точек. Непосредственно рассчитанные значения не превышают 5%, что является не слишком значимым, но в абсолютной величине может уверенно фиксироваться измерительными комплексами.

Список литературы

1. Микишев, Г. Н. Оценка эффективности некоторых экспериментальных методов определения основных динамических характеристик упругих конструкций / Г. Н. Микишев, Н. Д. Пронин, Ю. Ю. Швейко и др. // Исследования по теории сооружений. — М.: Стройиздат, 1970. — № 10. — С. 85–100.
2. Жаров, Е. А. Точность определения колебательных характеристик упругой конструкции при резонансных испытаниях с многоточечным возбуждением / Е. А. Жаров, В. И. Смыслов // Уч. Записки ЦАГИ им. Н. Е. Жуковского. — 1976. — Т. 7, № 5. — С. 88–97.

3. Запысова Е. А. Определение собственных частот опор линий электропередачи методом операционного модального анализа / А. И. Белоусов, Е. А. Запысова // В сборнике: Наука Промышленность Оборона. Труды XX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения С.А. Чаплыгина. В 4-х томах. Под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. С. 69-73.

4. Исследование частот собственных колебаний металлического стержня с моделированием трещины / Гаврилов А.А., Гребенюк Г.И., Максак В.И., Морозов Н.А. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021;23(2):56-64. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-2-56-64>.

5. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3. М. Машиностроение. 1988. 567с.