

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ОПОРНЫХ УЗЛОВ НА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ласточкин П.В., аспирант, II год обучения

Научный руководитель: Кожевников А.Н., к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск

Металлические решетчатые конструкции башенного типа в силу своих конструктивных особенностей обладают достаточно большим количеством узловых соединений, которые могут быть повреждены во время эксплуатации сооружения. Среди всех потенциальных дефектов ослабление крепежного узла конструкции представляется наиболее критичным, поскольку ухудшение качества отдельного болтового соединения решетки заполнения является локальным повреждением [1].

Известны случаи обрушения типовых решетчатых конструкций без значительного повреждения самой конструкции (рис. 1). В таком случае недостаточно качественное соединение башенной конструкции и фундамента приводит к падению сооружения при воздействии нерасчетной или интенсивной нагрузки.



Рис. 1 Пример падения решетчатой конструкции с малыми повреждениями

В данной работе рассматривается возможность определения ухудшения состояния опорного узла металлической решетчатой конструкции башенного типа по изменениям в спектре частот собственных колебаний [2 – 5]. В качестве объекта исследования выступает имитационная решетчатая конструкция, смонтированная в зале статических испытаний конструкций Новосибирского государственного технического университета (рис. 2).

Решетчатая конструкция была смоделирована в программном комплексе ANSYS Mechanical с применением программы автоматизированного построе-

ния расчетных моделей пространственных решетчатых конструкций [6]. Частоты собственных низших изгибных и крутильных колебаний конструкции представлены в таблице 1.



Рис. 2 Имитационная решетчатая модель: слева – геометрическая модель; по центру – реальная конструкция; справа – пример опорного узла

При проведении экспериментальной части исследования применялся анализатор частот конструкций башенного типа «ЛЭПТОН-1». Полученный спектр частот собственных колебаний приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сопоставление расчетных и экспериментальных частот колебаний решетчатой имитационной модели

№	Значение частоты собственных колебаний, Гц		Разница, %
	Метод конечного элемента	Экспериментальный подход	
1	13.702	7.73	-43.58
2	13.732	9.04	-34.17
3	51.604	вне диапазона измерения	-
4	59.239		
5	61.495		

Существенное расхождение между расчетными и экспериментальными результатами объясняется невозможностью реализации абсолютно жесткого закрепления опорных узлов конструкции в реальности. По этой же причине выявлено достаточно большое различие между низшими тонами колебаний в эксперименте относительно практически парных частот в расчете.

На следующем этапе исследования в имитационной модели вносилось повреждение – ослаблялся один из опорных узлов. Затем определялись частоты собственных колебаний конструкции расчетным и экспериментальным методами. Далее от закрепления освобождался еще один смежных опорный

узел с целью оценки влияния состояния отдельного опорного узла на динамические параметры конструкции. Результаты такого исследования удобно представить в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения частот собственных колебаний опоры с ослабленными крепежными узлами

Номер ослабленного опорного узла	Значение частоты собственных колебаний, Гц		Разница, %
	Исходное состояние	Ослабленный опорный узел	
1	7.529	5.823	-22.66
	9.236	8.132	-11.95
2	7.529	6.927	-8.00
	9.236	8.935	-3.26
1+2	7.529	4.919	-34.67
	9.236	5.521	-40.22

Полученные результаты возможно интерпретировать таким образом, что освобождение от закрепления отдельного опорного узла сказывается на значениях частот изгибных колебаний негативным образом. Частоты в случае появления подобного повреждения снижаются не менее, чем на 12% в зависимости от того, какой из опорных узлов повреждается.

Результат с ослаблением только подпятника №2 требует дополнительного исследования и моделирования, поскольку одновременное ослабление двух опорных точек усугубляет влияние на спектр частот собственных колебаний относительно одиночного дефекта.

### 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. Бурнышева Т. В. Методика оценки технического состояния опор воздушных линий электропередачи с учетом типовых эксплуатационных дефектов = Methodology of overhead power transmission line pylons technical state assessment with typical exploitation faults accounted [Электронный ресурс] / Т. В. Бурнышева, А. Н. Кожевников // Инженерный журнал: наука и инновации = Engineering journal: science and innovation: электрон. журн. - 2021. – № 2 (110). – С. 2. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44818408>. - Загл. с экрана. - DOI: 10.18698/2308-6033-2021-2-2053.

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. Кожевников А. Н. Определение зависимости между степенью поврежденности и динамическими параметрами упругой балки = Determination of the dependence between elastic beam damageability and its dynamic parameters / А. Н. Кожевников, Т. В. Бурнышева. - Текст : электронный // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сб. материалов 10 междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию академика М. Ф. Решетнева и Дню космонавтики, Красноярск, 8–12 апр. 2024 г. : в 3 т. – Красноярск : Изд-во СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2024. – Т. 2. – С. 312–314. - URL: <https://aparak.sibsau.ru/page/materials> (дата обращения:03.03.2025).

5. Ласточкин П. В. Применение динамических параметров для исследования фактического технического состояния опор воздушных линий электропередачи = Investigation of overhead power transmission line pylon actual technical state by structure dynamic parameters / П. В. Ласточкин, А. Н. Кожевников, К. А. Матвеев. - Текст: непосредственный // Наука. Промышленность. Оборона: тр. 25 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 17–19 апр. 2024 г. : в 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2024. – Т. 1. – С. 83–87. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-5208-0.

6. Kozhevnikov A. N. Development of subroutine for automatic building of finite-element models of typical metal pylons of air power transmission lines / A. N. Kozhevnikov, D. A. Krasnorutskiy, V. E. Levin // International conference on mechanical engineering, automation and control systems (MEACS) : proc., Tomsk, 1–4 Dec. 2015. – IEEE, 2015. – 4 p.