

**Д. В. Мозер**, к.т.н., **Ш. О. Сақимбаева**, **Н. С. Доненбаева**,  
**Е. С. Ким**, **А. К. Сатбергенова**

Карагандинский государственный технический университет

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТОВ г. КАРАГАНДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДАТЧИКОВ

В настоящее время на высокочастотных инженерно-геодезических объектах применяются различные методы измерения амплитудных колебаний. Одним из таких широко используемых приборов является датчик JHG-2. В работе описан опыт исследования высокочастотных колебаний на строительных сооружениях. Результаты измерения на объектах г. Караганды показали, что стабильность выявленных параметров высокочастотного колебания свидетельствует об отсутствии критических изменений в несущих конструкциях.

**Ключевые слова:** математический алгоритм, строительное сооружение, автомобильный мост, высокочастотные колебания, спектрограмма, спектральный анализ.



Қазіргі кезде жоғарғыжилікті инженерлік-геодезиялық нысандарда амплитудалық тербелістің әр түрлі елшеу әдістерін қолданады, осындай елшеулерде кең келемде қолданылатын аспап JHG-2 датчигі болып табылады. Бұл жұмыста құрылыс ғимарттарында жоғарғыжилікті толқындардың зерттеу әдісі айтылған. Қарағанды қ. нысандарындағы елшеу нәтижелері келесідей қорытындыға келтірілді, жоғарғыжилікті тербелістің тұрақтылығынан шыққан параметрлерінің нәтижесі негізгі конструкциясындағы деформациялық өзгерістің аз мелшерде екендігін көрсетті.

**Түйінді сөздер:** математикалық алгоритм, құрылыстық ғимарат, автокеліктік кепір, жоғарғыжилікті толқын, спектрограмма, спектральді анализ.



Now on high-frequency engineering - geodetic objects apply various methods of measurement peak the fluctuation, one of such widely used devices is gage JHG-2. In work experience of research high-frequency fluctuation on building constructions is described. Results of measurement on objects of Karaganda

have shown that stability of the revealed parameters of high-frequency fluctuation testify to absence of critical changes in bearing designs.

**Key words:** mathematical algorithm, building home, motor-car bridge, high-frequency vibrations, spectrograph, spectrology analysis.

Эксплуатируемые объекты и сооружения с несущими конструкциями, имеющие собственные низкие частоты колебаний и небольшие коэффициенты затухания, в результате воздействия на них внешних нагрузок могут совершать колебания с большими амплитудами (рис. 1). Характер таких колебаний может быть вычислен с помощью специальных математических алгоритмов и компьютерных программ. Опыт современных исследований показывает, что результаты, полученные на основе теоретических вычислений, как правило, отличаются от частотных характеристик, определенных в процессе измерений. Таким образом, измерения позволяют уточнить соответствующие математические модели и контролировать состояние несущих конструкций в процессе эксплуатации.



Рис. 1. Внешние факторы, влияющие на возникновение деформаций строительных конструкций мостов

При наблюдении за деформациями объектов главной задачей является оценка устойчивости эксплуатируемых инженерно-геодезических сооружений и принятие своевременных мер по безопасности и устранению неблагоприятных ситуаций, вызванных внутренними нарушениями объекта.

В настоящее время для предупреждения и прогнозирования деформаций строительных сооружений используют технологии на базе геодезических приборов, позволяющие осуществлять мониторинг любых объектов с высокой точностью в реальном времени [1].

Один из методов определения высокочастотных колебаний сооружения предложен проф. Берлинского университета прикладных наук Б. Е. Резником, который был приглашен в Карагандинский государственный технический университет в рамках гранта МОН РК "Приглашение зарубежных ученых". По предложенной методике и компьютерной программе были проведены исследования по определению устойчивости автомобильных мостов в г. Караганде. Измерения проводились в сентябре 2012 г. при помощи компактного измерительного датчика JHG-2, который содержит собственный чувствительный элемент повышенной точности и позволяет выполнять одновременные измерения по пространственным осям X и Y. Система JHG-2 управляется с помощью полевого компьютера, соединённого с USB-кабелем (рис. 2).



Рис. 2. Измерительный датчик JHG-2 для определения частот на Бухар-Жырауском мосту

Проведено исследование по определению высокочастотного колебания транспортного движения, влияющего на устойчи-

вость автомобильного моста г.Караганды по ул. Бухар-Жырау. Измерения проводились по 4-м точкам одностороннего пролета, находящегося между опорными несущими конструкциями моста. Расстояние между измеряемыми точками  $d1=9,35$ ;  $d2=9,62$ ;  $d3=9,33$ ;  $d4=9,14$  м (рис. 3).



Рис. 3. Расположение контрольных точек на автомобильном мосту по ул. Бухар-Жырау

В ходе выполнения работы были зафиксированы частотные колебания автомобильного движения и поездов в разные промежутки времени и при разной температуре. Известно, что сооружения испытывают незначительные амплитудные колебания, если их частоты значительно отличаются от собственных. Собственные частоты в диапазоне (2,6-3,8 Гц) визуализируются как пиковые значения на спектрограммах. Результатом обработки измерений являются спектрограммы характерных точек, показывающие зависимость амплитуды колебаний от их частот (рис. 4).

Отдельные спектрограммы очень наглядны, но не позволяют сравнивать результаты различных наблюдений друг с другом. Этот недостаток преодолевается за счет картограмм колебаний, на которых одновременно изображены результаты измерений на характерных точках мостового перехода [2]. Известно, что сооружение испытывает незначительные амплитуды ко-

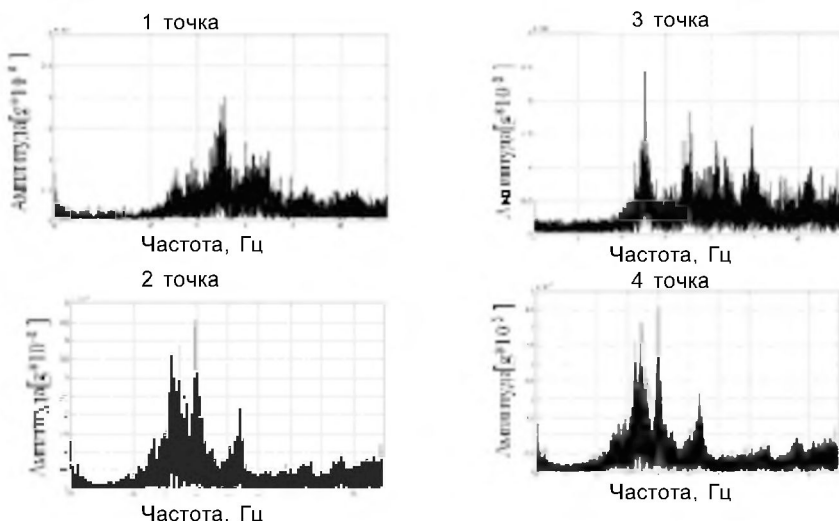


Рис. 4. Спектрограммы частот контрольных точек

лебаний, если их частоты серьезно отличаются от его собственных. Так называемые первые собственные частоты со средней величиной 3,37 Гц однозначно визуализируются как пиковые значения на всех спектрограммах. Среднее квадратическое отклонение (СКО) для всех рассматриваемых пролетов составило 0,028 Гц. Такое распределение отклонений доказывает, что их выявление связано с особенностями соответствующих конструкций. Стабильность выявленных параметров свидетельствует об отсутствии критических изменений в несущих конструкциях.

Аналогичным методом были произведены измерения на мосту, который соединяет район Нового города с Майкудуком. Измерения проводились по 3-м точкам, расположенным на опорных конструкциях. Полная длина мостового перехода составила 145 м. Длина одного пролета - 34 м, расстояние между точками - 17 м (рис. 5).

Значения датчиков отображаются в окне программы Ass.Dec в виде частотных графиков. Периодичность внесения показаний зависит от настроек системы. В нашем случае измерения попе-



Рис. 5. Расположение контрольных точек на Майкудукском мосту

речных и продольных частот проводились в течение 15 мин. По итогам обработки частотных измерений были построены спектрограммы для каждой точки.

Опыт наблюдения за деформациями автомобильных мостов позволяет сделать следующие выводы: изменение температуры, а также неодинаковый солнечный нагрев пролетного строения моста могут значительно изменять форму несущей конструкции, особенно в середине пролета. Поэтому для сравнения результатов деформационных измерений при различных температурах необходимо вводить поправки в полученные координаты. Эти колебания могут быть успешно выделены при помощи высокочастотного фильтра и дальнейшего спектрального анализа.

Полученные результаты проведенных исследований наглядно свидетельствуют о высокочастотных колебаниях в инженерных сооружениях, при которых сразу можно проанализировать и предотвратить возможные трещины и обрушения объекта. Основными преимуществами данного метода являются оперативность и высокая автоматизация измерений, что сокраща-

ет трудовые ресурсы, облегчает выполнение измерений и обеспечивает высокую точность получения данных. Дальнейшее внедрение немецкой технологии в производственную сферу Казахстана позволит обеспечить экономичность и эффективность при проведении инженерно-геодезических и строительных работ.

### Литература

1. Мозер Д. В., Ли Е.С., Нурбаева Н. Н. Ведение мониторинга смещения зданий и сооружений с применением глобальных навигационных спутниковых систем: Тр. науч. конф. // Современное состояние и перспективы развития маркшейдерии Казахстана. - Караганда, 2012. - С. 273-275.

2. Резник Б.Е., Лабазов В.Я., Герасимов В.А., Эфендиян П.С. Частотные измерения при мониторинге автомобильных мостов // Геопрофи. - 2010. - № 4. - С. 11-15.