

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛКИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Колонович Александр Викторович, студент 5-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»

Новиков Павел Игоревич, студент 5-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»

Ходяков Вячеслав Андреевич, аспирант
кафедры «Мосты и тоннели»

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

Элементы несущих конструкций мостов постоянно испытывают динамические воздействия. Причинами воздействий являются различные внешние факторы: порывы ветра, движение автотранспорта по сооружению, поперечные удары от подвижной нагрузки, воздействие льда на конструкции опор, сейсмические воздействия и другие.

Различают два основных вида колебаний: собственные и вынужденные. Свободные колебания всегда затухают, если отсутствуют внешние воздействия на колебательную систему. Простейшим механизмом уменьшения энергии колебаний является превращение ее в теплоту из-за трения в механических колебательных системах. Свободным колебаниям соответствует постоянная частота и период, величины которых зависят от вида конструкций, геометрических характеристик и материала. Запись колебательных перемещений осуществляется с помощью специальных приборов: акселерометра и электрического тензометра.

Испытательная модель представляла собой балку длиной один метр на шарнирных опорах, одна из которых является подвижной. Импульсное динамическое воздействие моделировалось путем сбрасывания на балку грузов с определенной высоты (Рис. 1).

Проводилась серия испытаний с изменением колеблющейся массы. Применялись грузы массой 500 грамм. Амплитудно-частотные характеристики колебания балки снимались при помощи цифрового акселерометра и электротензометра. Благодаря специализированной программе осуществлялась математическая обработка данных, позволяющая наблюдать спектр сигнала, оценивать параметры сигнала: среднее значение, среднеквадратическое значение, пиковое значение, полный размах, частоту сигнала, период. Сигналы преобразуются в результирующую величину с помощью специальных датчиков, установленных на металлической балке. Преобразователь интерфейса синхронизирует датчики между собой, что позволяет наблюдать взаимодействие в различных точках объекта.



Рисунок 1 – Испытательная установка – балка, с подключенными к ней датчиками

Динамическое воздействие на балку моделировалось не менее десяти раз в каждом испытании (Рис. 2), что давало возможность максимально корректно изучить затухание свободных колебаний с учетом изменчивости полученных экспериментальных данных.

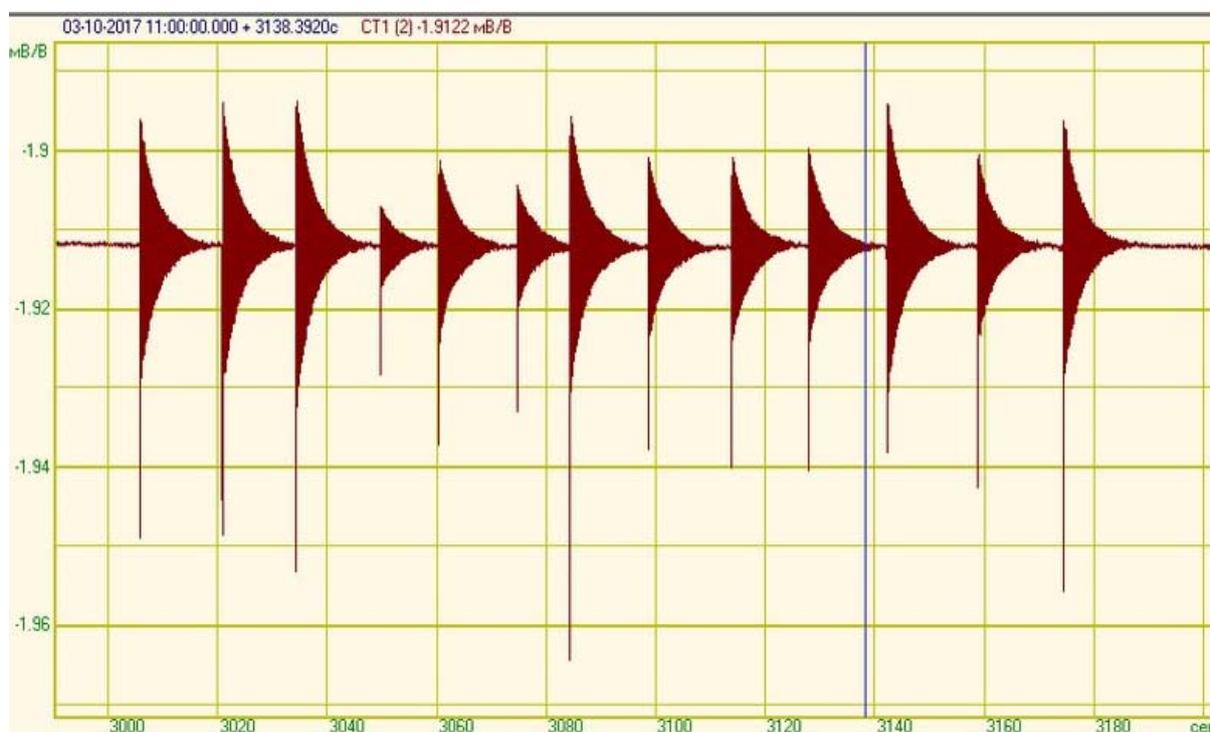


Рисунок 2 – Осциллограмма, полученная после серии испытаний

Испытания проводились с грузами 0,503; 1,010; 1,508 и 2,009 килограмма. На компьютере фиксировались данные затухания свободных колебаний (Рис. 3).

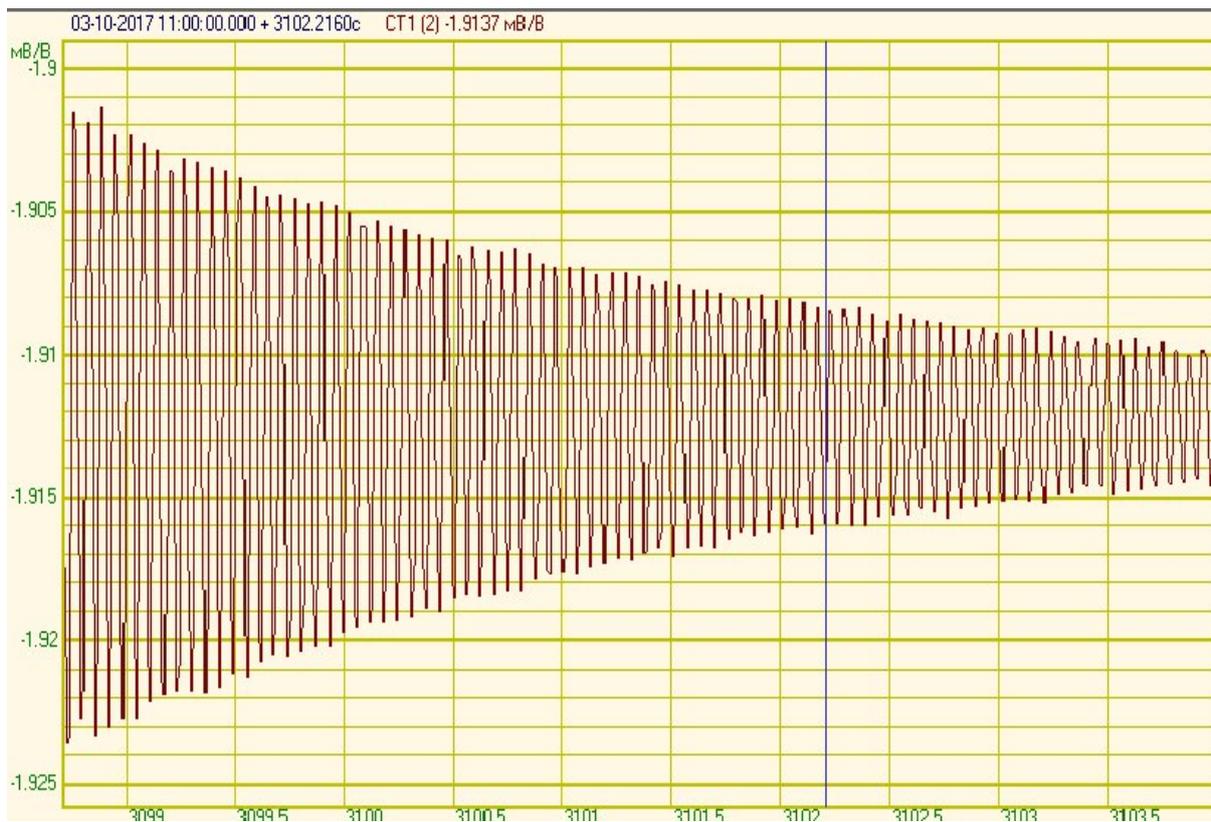


Рисунок 3 – Осциллограмма свободных затухающих колебаний балки при импульсной нагрузке

После обработки данных, полученные средние характеристики были сведены в таблицу 1. Важно было определить количественную характеристику быстроты затухания колебаний - декремент затухания λ , который равен натуральному логарифму отношению двух последующих максимальных отклонений колеблющейся величины в одну и ту же сторону.

Таблица 1 – Средние значения характеристик после обработки данных

Масса загрузки, м, кг.	Средний период, Т с.	Средняя частота, ν Гц.	Средний декремент затухания, λ
0,000	0,063	15,87	0,0493
0,503	0,075	13,20	0,0422
1,010	0,086	11,52	0,0318
1,508	0,097	10,36	0,0264
2,009	0,105	9,50	0,0194

Далее мы построили графики, на которых отображена зависимость частоты (Рис. 4) и декремента затухания (Рис. 5) от массы груза при ударной нагрузке.

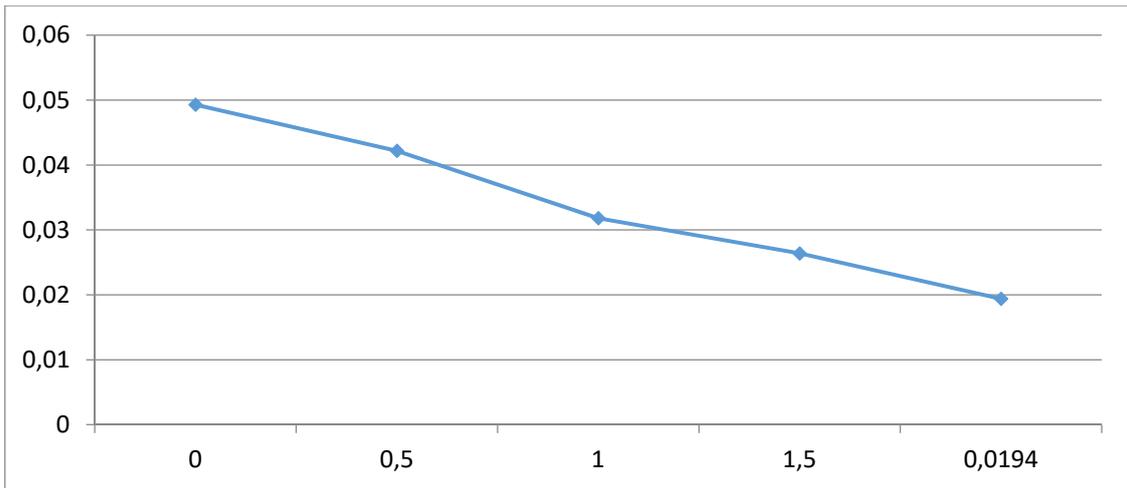


Рисунок 4 – График зависимости декремента затухания свободных колебаний от массы груза при ударе

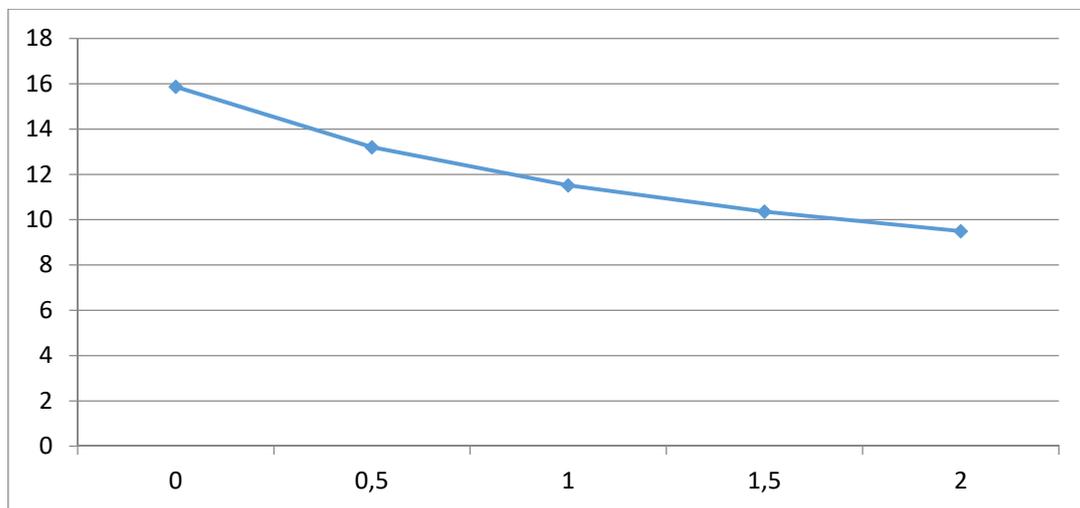


Рисунок 5 – График зависимости частоты от массы груза при ударе

После анализа графиков были выявлены зависимости, что с увеличением массы груза при ударе декремент затухания и частота свободных колебаний уменьшались.

Во второй форме (Рис. 6) колебания протекают в противофазе: перемещение имеет направление, противоположное направлению возмущающей силы.

Проводились серии испытаний с изменением колеблющейся массы до одного килограмма.

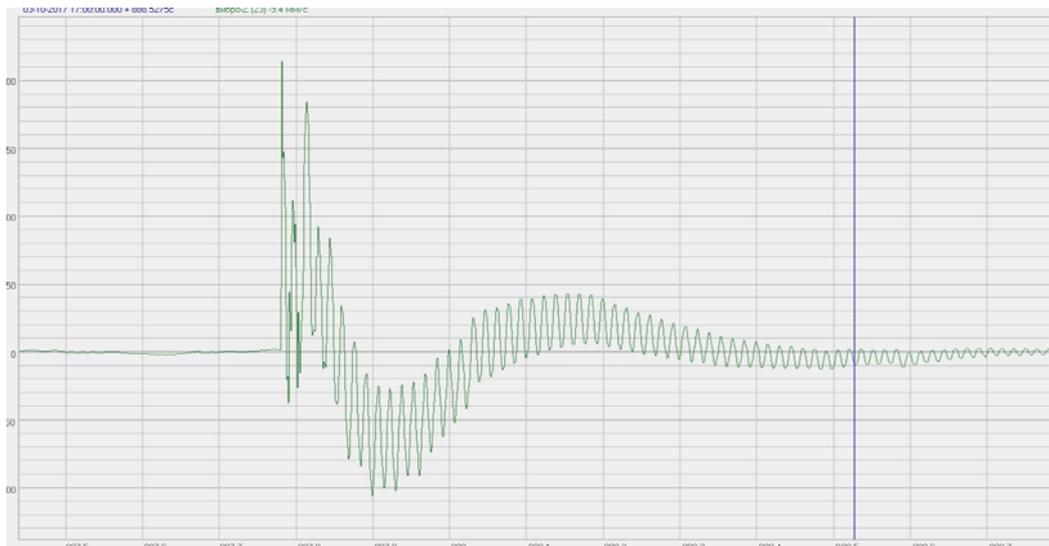


Рисунок 6 – Вторая форма колебаний

Испытания проводились точно так же, как и в случае с первой формой колебаний. После обработки были получены средние значения характеристик, которые далее свели в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты обработки данных

Масса загрузки, т, кг.	Средний период, Т с.	Средняя частота, ν Гц.
0	0,015	65,08
0,503	0,021	45,98
1,01	0,024	40,71

Зависимость частоты от массы груза при ударе отображена на графике (Рис. 7).

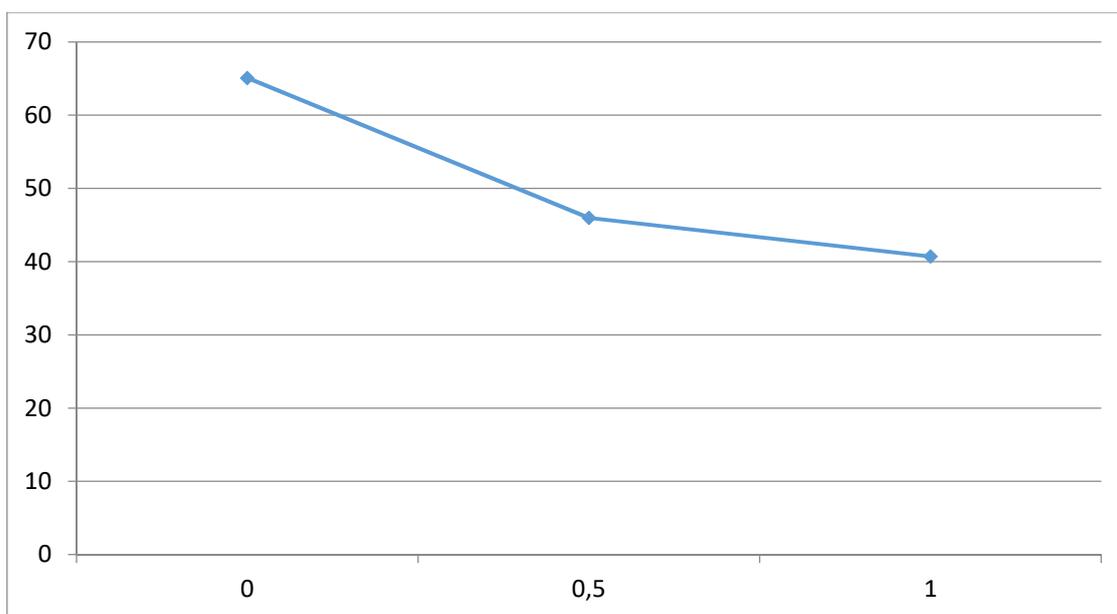


Рисунок 7 – Зависимость частоты от массы груза

При выполнении ручного расчета необходимо определить коэффициент жесткости пружины эквивалентные коэффициенту жесткости пролетного строения. Сделать это можно по следующей формуле:

$$k = \frac{F}{x}, \text{ где}$$

F – нагрузка, Н;

x – прогиб, мм;

В зависимости от нагрузки, действующей на пролетное строение, конечные результаты, полученные при расчете, сведены в таблицу 3.

Определяем приведенную массу балки по формуле:

$$M_6 = \frac{17}{35} * pl, \text{ где}$$

p-погонная нагрузка на единицу длины балки, кг/м;

l-длина пролета, м;

$$M_6 = \frac{17}{35} * 2,380 * 1 = 1,156 \text{ кг.}$$

Принимаем k = 11192 Н/м.

Далее определяем собственную частоту колебаний балки по формуле:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ где}$$

m- масса груза + приведенная масса балки, кг;

k- жесткость пружины, Н/м;

$$\nu = \frac{1}{2 * 3,14} * \sqrt{\frac{11192}{1,156}} = 15,67 \text{ Гц.}$$

Таблица 3 – Изменение жесткости пружины от нагрузки на ПС

Нагрузка, кг	Нагрузка, Н	Прогиб Ф, мм	усл. Жёсткость пружины, Н/мм
0,503	4,9	0,431	11,448
1,010	9,9	0,885	11,195
1,508	14,7	1,320	11,207
2,009	19,7	1,771	11,128
2,511	24,6	2,209	11,151
2,009	19,7	1,777	11,091
1,508	14,8	1,326	11,156
1,010	9,9	0,892	11,107
0,503	4,9	0,439	11,240
		Ср. знач.	11,191

Сравнение и сопоставление конечного результата компьютерного расчета с результатами эксперимента и ручным расчетом – это главная цель нашей работы в специализированном программном комплексе.

Изначально, мы создали поперечное сечение и указали длину металлической балки равные ее реальным размерам. Так же был создан материал, соответствующий испытываемому образцу. При моделировании динамического воздействия, учитывалась масса груза вплоть до грамма, позволяющая максимально точно приблизиться к результатам эксперимента. Расчет производился для двух форм колебания.

С помощью препроцессора, была создана расчетная схема и приложены необходимые нагрузки для того, чтобы в дальнейшем произвести расчет и получить конечный результат.

После создания расчетной схемы и загрузки металлической балки, мы выполнили компьютерный расчет, с помощью которого определили частоту металлической балки для обоих форм колебания (Рис.8).

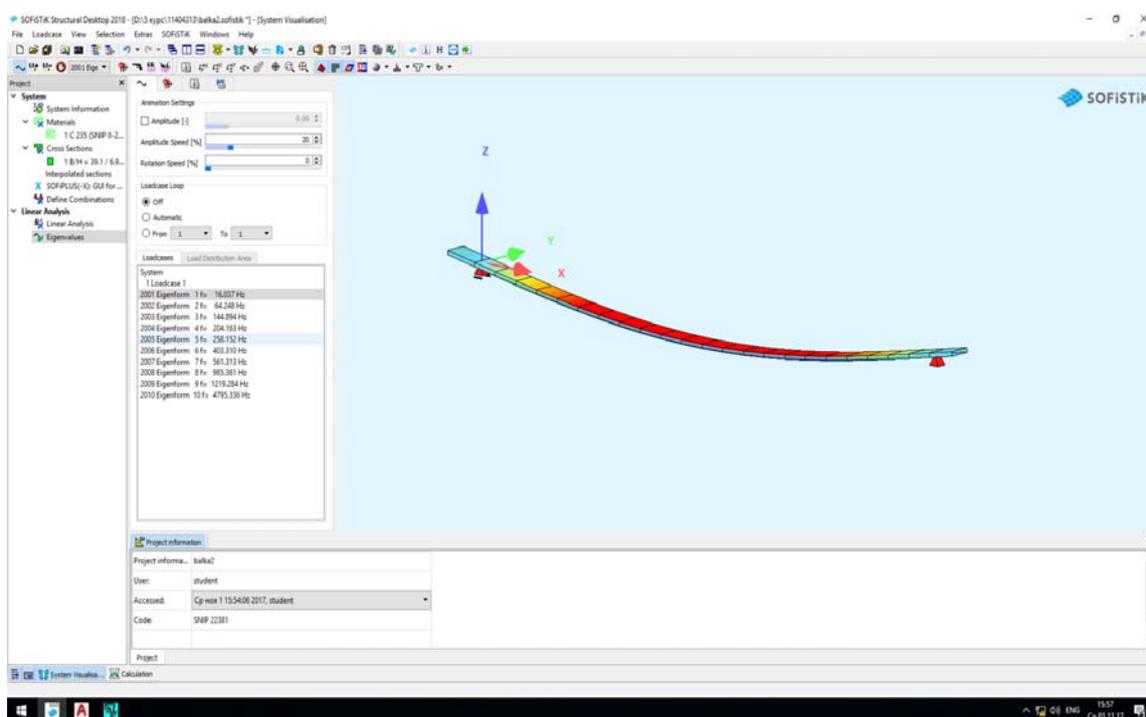


Рисунок 8 – Частота колебания балки без загрузки

По результатам компьютерного расчета первой формы колебаний, была составлена таблица, в которую были занесены значения частоты, полученные с помощью компьютерного расчета и результатов испытания. (Табл.3).

Таблица 3 – Сравнение полученных результатов

Масса загрузки, т,кг.	Частота, в Гц. Результат испытания	Частота, в Гц. Компьютерный расчет	Отклонение от испытания, %	Частота, в Гц. Ручной расчет	Отклонение от испытания, %
0	15,89	16,03	0,88	15,67	1,38
0,503	13,20	13,19	0,076	13,10	0,76
1,010	11,51	11,46	0,43	11,63	1,48
1,508	10,36	10,28	0,77	10,24	1,16
2,009	9,49	9,10	4,11	9,07	4,43

Глядя на таблицу можно сделать вывод, что конечные результаты, полученные при компьютерном и ручном расчете, близки к результатам натурального испытания и имеют отклонения 0-4%. Следовательно, мы можем воспользоваться любым из вышеописанных расчетов при определении амплитудно-частотных характеристик реального сооружения, получая при этом достоверные конечные результаты.

Компьютерный расчет во второй форме колебаний происходит аналогично первому (Рис. 9).

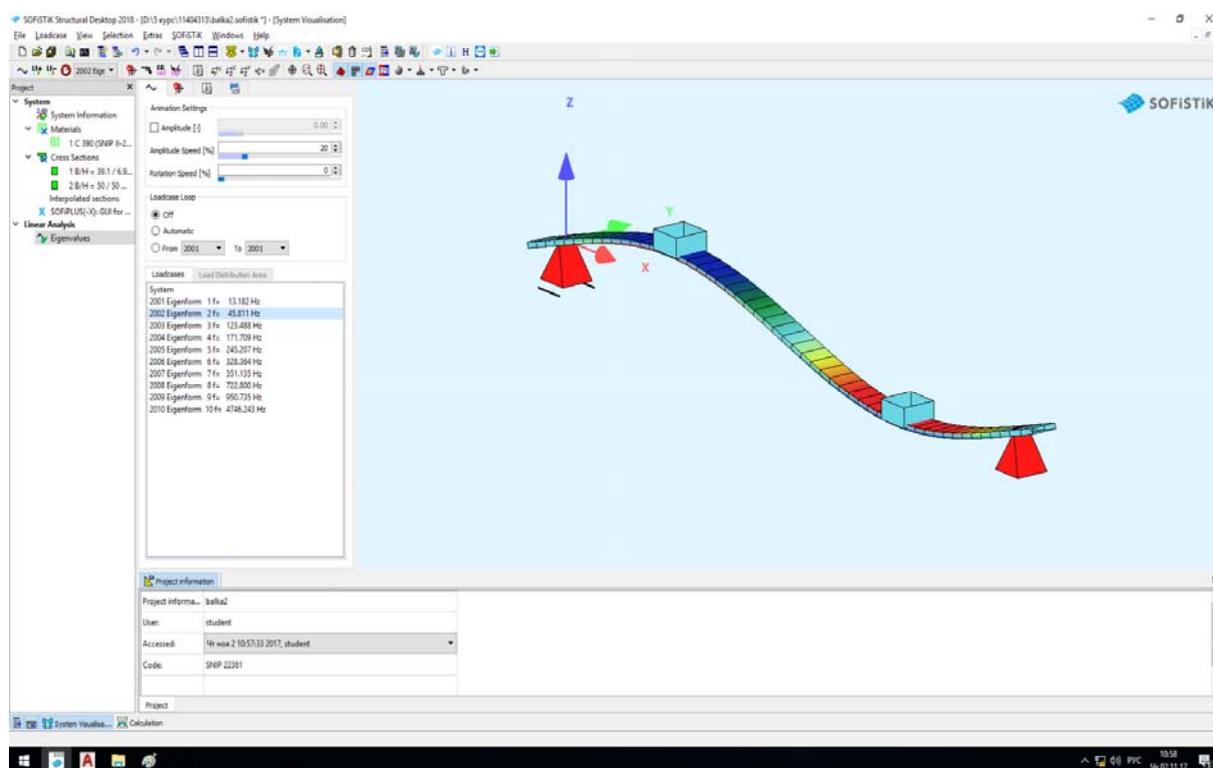


Рисунок 9 - Расчетная схема при второй форме колебаний

Точка приложения груза была на расстоянии 0,25 метра от края пролета. Расчет выполнялся при нагрузках до 1,009 килограмма.

Результаты компьютерного расчёта и результатов испытания были сведены таблицу (Табл. 4).

Таблица 4 – Сравнение полученных результатов натурального испытания и компьютерного расчета

Масса загрузки, т,кг.	Частота, в Гц. Результаты испытания	Частота, в Гц. Компьютерный расчет	Отклонение от испытания, %
0	65,08	65,04	0,06
0,503	45,68	45,81	0,29
1,010	40,71	39,54	2,87

Отклонение конечных результатов компьютерного расчета от результата натуральных испытаний не превышает 3%. Это говорит о том, что результат, полученный с помощью компьютерного расчета, является достоверным. Это дает нам возможность варьировать методами определения амплитудно-частотных характеристик сооружений, получая на выходе реальный конечный результат.

Полученные результаты исследования однозначно дают понять особенности изучаемого явления и возможности прогнозирования эффекта резонанса на эксплуатируемых транспортных сооружениях.

С помощью акселерометра и электротензометра определены амплитудно-частотные характеристики металлической балки. Определены частоты, периоды и декремент затухания металлической балки. Построены графики зависимости декремента затухания и частоты от массы груза при ударе.

Произвели компьютерный расчет в ПК SOFiFTiK и ручной расчет. Конечные значения определенных характеристик мы свели в таблицу. Проанализировав результаты видно, что отклонения компьютерного и ручного расчета от результатов натурального испытания составили 0-5 %, что не превышает допустимое значение отклонение равное 5%. Это говорит о том, мы можем воспользоваться любым из вышеописанных расчетов при определении амплитудно-частотных характеристик реального сооружения, получая при этом достоверные конечные результаты.

Впервые в Беларуси проведено сравнение натуральных испытаний с компьютерным расчетом в ПК SOFiSTiK.

Литература:

1. Bog5.in.ua. Декремент затухания. Логарифмический декремент затухания – Март 2011г. - URL: http://bog5.in.ua/lecture/vibration_lect/lect4_vibr.html
2. Карпов А.С. Расчет собственных частот и форм колебаний опорных и пролетных конструкций автомобильных эстакад. – 2014. – С. 1 – 14. (2014).
3. Bolotin V.V. Vibratsii v tekhnike. Spravochnik v 6-ti tomakh. Tom 1. Kolebaniya lineynykh sistem. I.I. Artobolevski, A.N. Bogolyubov, V.V. Bolotin. – М.: Mashinostroenie, 1978. – 352 s. – UDK 62-752(031)
4. Культербаев Х.П. Основы теории колебаний. – 2003. – С. 1-25. (2013).
5. Работнов Ю.Н. Соппротивление материалов. – 1963. – С. 372-378. (1963).

6. Msd.com.ua. Колебание элементов конструкций. - URL:
<http://msd.com.ua/zhelezobeton/kolebaniya-elementov-konstrukcij/>
7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов.
- М.: Мир. - 1978. - С. 106. – 848. (1978).