

# ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ КОЛЕБАНИЙ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Тулеушова Р.Ж.<sup>1</sup>, Наурызбаев М.К.<sup>2</sup>©

<sup>1</sup>Преподаватель, Каспийский университет г. Алматы;

<sup>2</sup>Инженер, Алматинский университет энергетики и связи г. Алматы

## Аннотация

*Исследована эффективность предложенного представления процесса сейсмического воздействия на пролетные части мостов, основанного на слабой мере решения уравнения колебаний пролетной балки. Показано, что зависимость характера гашения колебаний от высокочастотной случайной составляющей сейсмической волны существенно отличается от низкочастотного воздействия на несущую балку.*

**Ключевые слова:** неоднородное уравнение колебаний балки, демпфирование колебаний мостовых конструкций, управление колебаниями пролетов.

**Keywords:** active damping, seismic action, fluctuations of the bridge constructions, control oscillations of bridge constructions.

Производя сравнение в группе землетрясений равной силы можно видеть, что картина разрушений типовых или подобных объектов во многих случаях оказывается сходной. Это обстоятельство позволяет предположить, что, несмотря на уникальность пространственно-временного распределения сейсмической нагрузки (СН) при каждом землетрясении эффект действия СН на типичные элементы конструкции может иметь общие закономерности. Если это предположение имеет силу, то должно быть верным и обратное: существуют универсальные способы демпфирования, способные подавлять сейсмических колебаний в широком классе СН.

Определить такие способы можно выбрав подходящий вид описания сейсмической нагрузки и реакции сооружения. Рассмотрим случай, когда воздействие сейсмической нагрузки  $s(x, t)$  на мост описывается уравнением поперечных колебаний  $U(x, t)$  несущих балок пролетных частей:

$$U^{(IV)}(x, t) + \rho(x)\ddot{U}(x, t) = r(x, t) + s(x, t) - \rho(x)g, \quad (1)$$

где:  $\rho(x), r(x, t)$  – соответственно распределение плотности и транспортной нагрузки. Реальный сейсмический сигнал больше соответствует случайному импульсному распределению, в силу чего производные функций входящих в (1) в классическом смысле здесь не существуют, а традиционные параметры гармонического анализа – фаза, частота и спектр часто имеют формальный смысл. Замена канонического тригонометрического базиса на некоторый другой, корректно представляющий колебаний не дает существенного эффекта, поскольку базис адекватный в один момент времени может перестать быть им в последующие временные промежутки.

По этой причине для описания процесса могут быть полезными интегральные характеристики, нечувствительные к случайным локальным скачкам. В качестве такой функции использована свертка первоначальных функций вида [1]:

$$\frac{1}{2} \int_0^1 \left( \frac{\sin \lambda x}{\sin \lambda} + \frac{\sin \lambda (1-x)}{\sin \lambda} \right) U(x, t) dx, \quad (2)$$

где:  $\lambda$  - параметр краевых условий,  $x$  – безразмерная координата вдоль оси балки [1]. Функционал (2) определяет слабую меру для измерения интенсивности колебаний. При этом локальная информация о колебаниях будет сглажена, но, как показано ниже, для воздействий

с большой долей случайной составляющей утрата высокочастотной случайной составляющей не имеет принципиального значения.

Для описания воздействия СН используется модель и уравнение приведенные в [2]. В данном случае уравнение содержит реакции опоры и демпфера в явном виде:

$$\ddot{\eta}(t) = K_0\eta + k_1\dot{\eta}^{0.15} \pm K_2 + a_1S - a_2A - a_3\ddot{A} - a_4g, \quad (3)$$

здесь:  $\eta$  – отклонение точки крепления опоры и пролетной балки,  $K_0$  – определяет силу связи пролета и опоры,  $k_1, k_2$  – параметры демпфера,  $k_3, k_4, k_5$  – коэффициенты определяемые характеристиками конструкции. Поперечные изгибы пролетной части выражаются мерой  $A(t)$ , для СН аналогично (1) определена мера  $S(t)$ .

Расчеты по (3) показывают, что для разных нагрузок, полученных от генератора случайных чисел (см. рис.1) реакция демпфера, выраженная в временной зависимости успокоения точки крепления пролетной части к опоре практически одинакова.

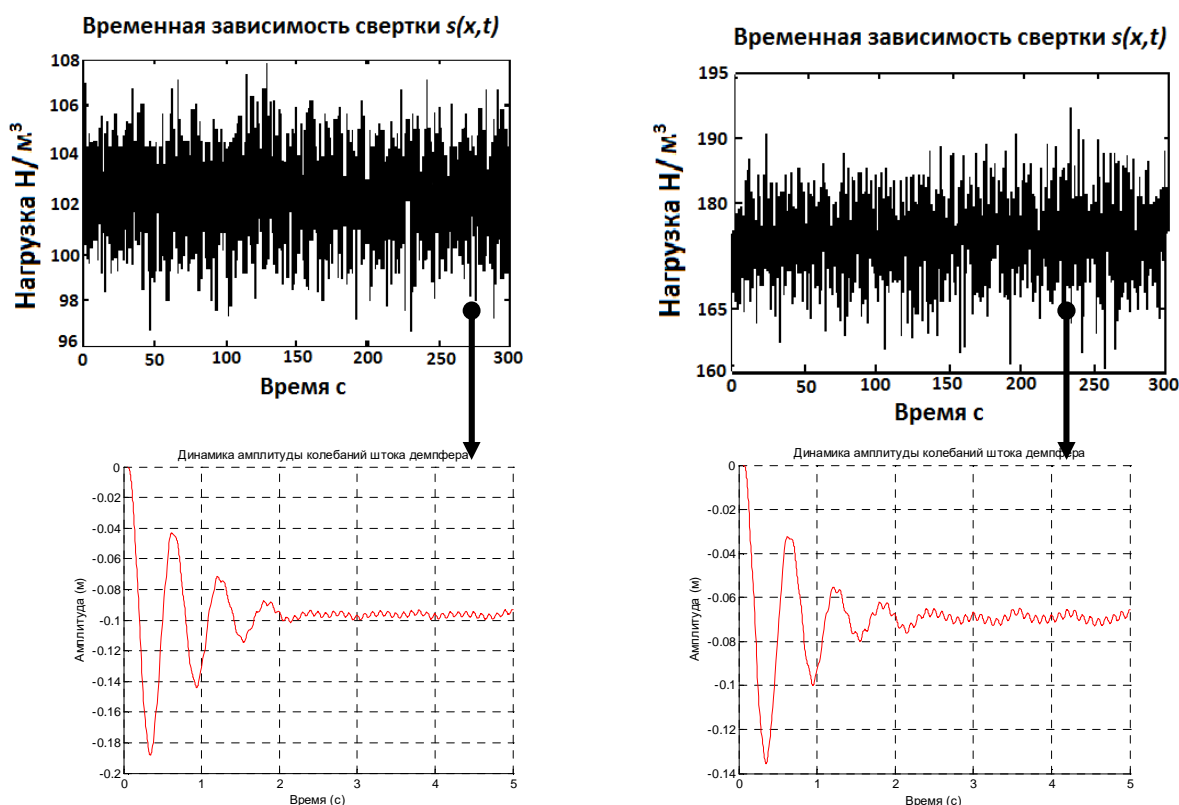


Рис. 1. Сравнение реакции демпфера на различные случайные нагрузки

Это согласуется со сделанными выше предположениями. По наблюдению многих пережитых землетрясений сложилась общая воспринимаемая картина динамики СН. Воздействие СН субъективно воспринимаются в виде серии сильных толчков, промежутки между которыми заполнены быстрыми менее сильными случайными вибрациями. Субъективное восприятие порождает достаточно продуктивный подход заключающейся в разделении СН на сильную низкочастотную (в смысле частоты следования импульсов) нагрузки и относительно слабую высокочастотную составляющие. В тех случаях, когда описанное разделение имеет место, высокочастотную часть можно эмулировать случайным сигналом, тогда как низкочастотная последовательность импульсов формируют уникальную картину сейсмического воздействия на объект.

В этих случаях при моделировании можно полагать, что СН представляет модулированную функцию случайных импульсов, где модулирующая функция представляет собой огибающую сильных импульсов, уникальную для каждого случая. О картине временного распределения реальной нагрузки можно судить по данным измерений (рис. 2).

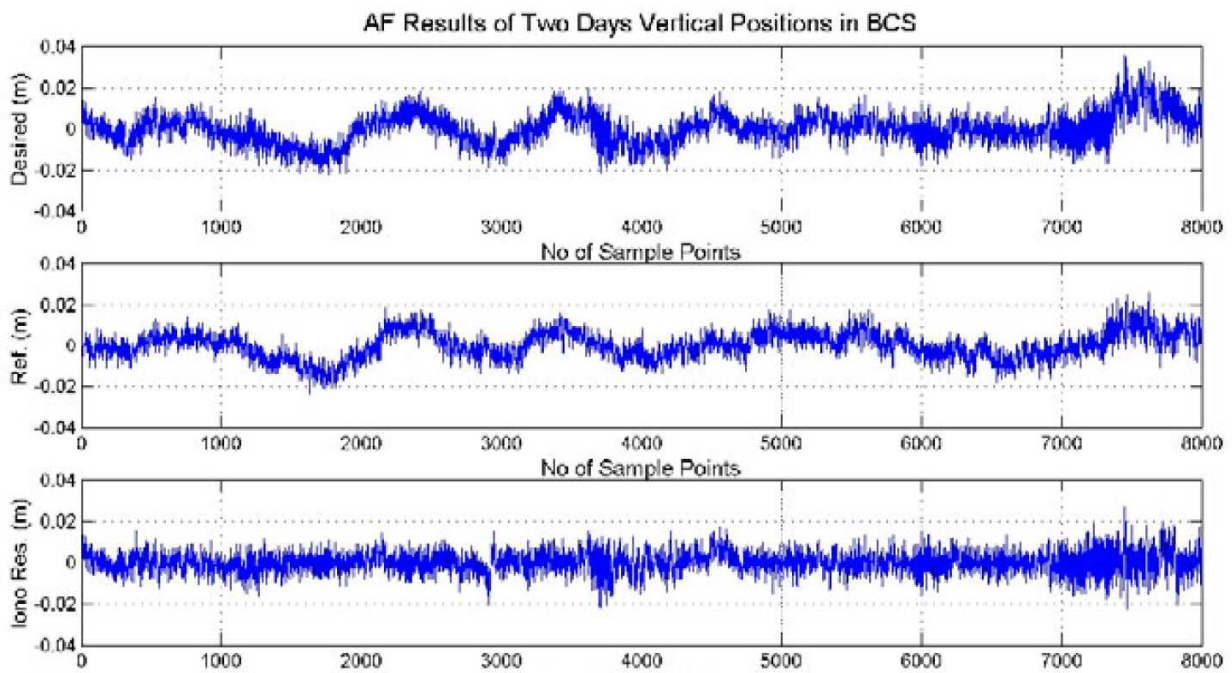
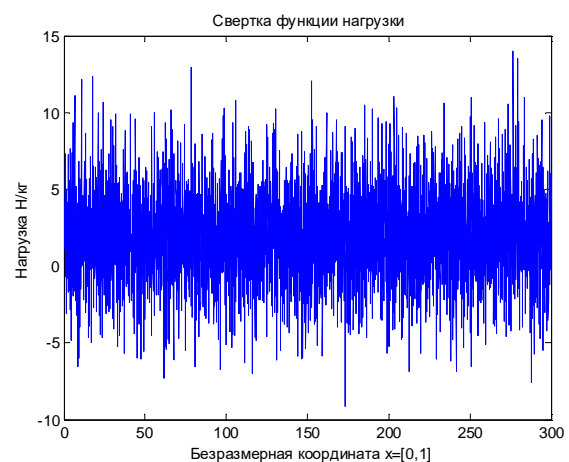
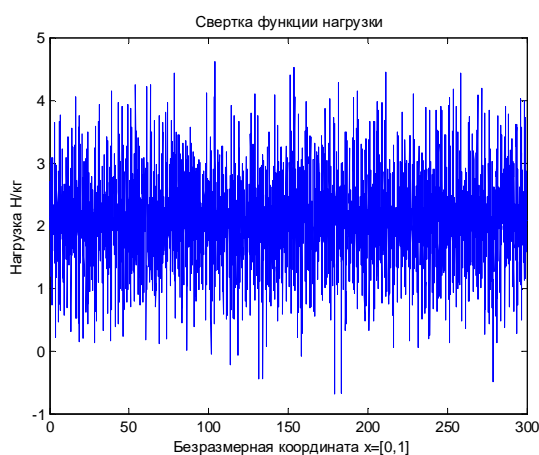
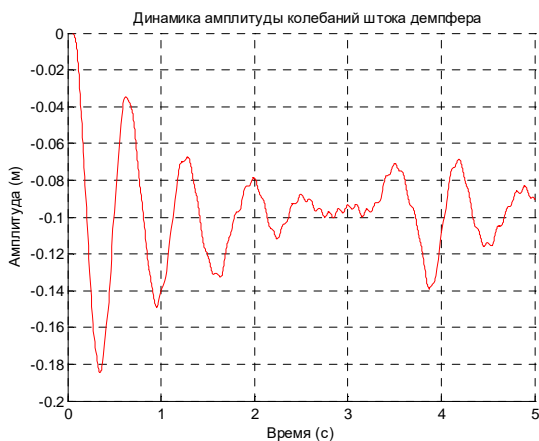


Рис. 2. Нагрузки на мост в Хамбере за 2 дня измерений [3].

Приведенные данные показывают колебания пролетной части при действии обычных нагрузок. Основными компонентами воздействия в этом случае являются трафик и ветровые нагрузки. Здесь также возникает аналогичная картина модулирования случайной составляющей. Модулирующая составляющая обусловлена в основном колебаниями трафика. Высокочастотные пульсации по данным [3] регистрируются датчиками GPS до 10Гц, и акселеромтрами до 100Гц и выше.

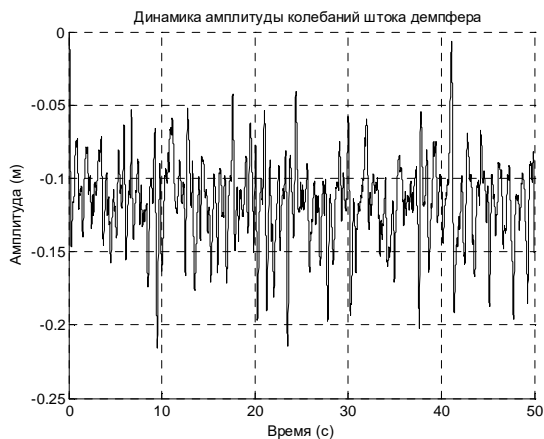
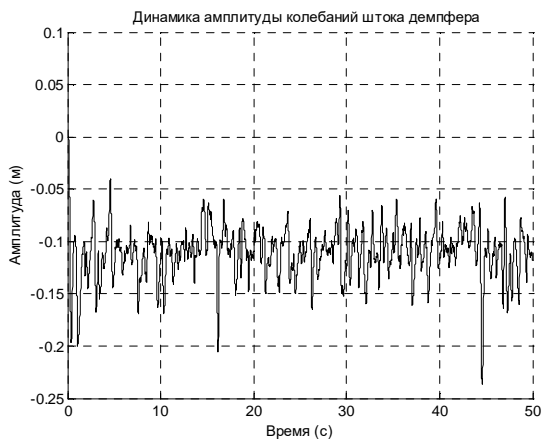
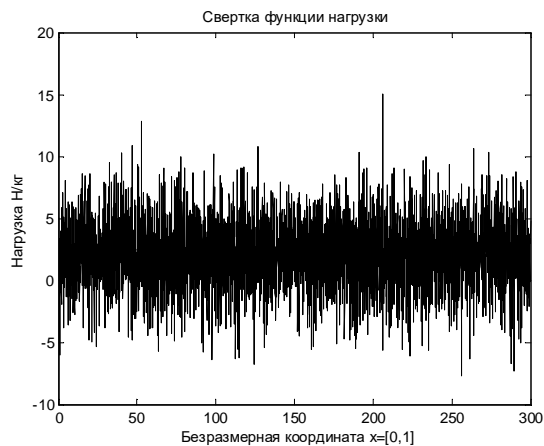
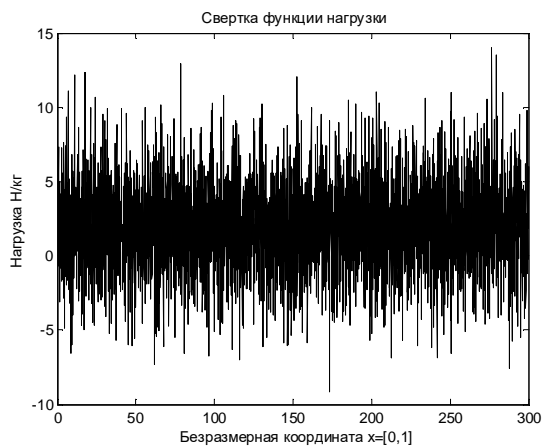
Модулируя случайный сигнал различным образом можно изучить реакцию демпфера на СН или аномальный трафик (рис.3).





**Рис. 3. Реакция демпфера на модулированное воздействие.**

В первом из представленных случаев, демпфер справляется с возмущением в течении 5 секунд, во-втором, на это требуется больший временной интервал (рис.4).



**Рис. 4. Сравнение гашения колебаний для различных возмущений.**

Здесь представлены два набора нагрузок отличающиеся амплитудой и модулирующей частотой. Сделанные сравнения подтверждают предположение о том, что в слабой мере колебания более чувствительны к амплитуде чем к форме нагрузки.

### Литература

1. Тулеушова Р.Ж. – Описание динамики мостовых колебаний в слабой мере // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 6. – ч.1. – С. 149.–153.
2. Тулеушова Р.Ж. – Демпфирование колебаний мостовых конструкций с обратной связью // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 6. – ч.1. – С. 154158.

3. Курбацкий Е.Н. Оценка максимальных продольных смещений пролетных строений мостов при сейсмических воздействиях: Е.Н. Курбацкий, Л.В. Баев, Московский университет железнодорожного транспорт/ Отчет МИИТ// М.–Основание . – 75с.– 2013.
4. Roberts G. A remote bridge health monitoring system using computational simulation and gps sensor data. G. Roberts, X. Meng, M. Meo , A. Dodson1 , E. Cosser , E. Iuliano, A. Morris/ Proceedings. – 11th FIG Symposium on Deformation Measurements . – Santorini. – Greece, 2003.