

## Расчёт главной балки производственного корпуса

*А.М.Казиев, Л.В. Шогенова, А.А. Шомахов, И.О. Аушев,  
А.Р.Шхануков, К.В.Купов.*

*ГОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, Россия (360004, Нальчик, ул. Чернышевского, 173).*

**Аннотация:** Нерезная балка, на которой расположены сосредоточенные массы на упругих опорах подвергается сейсмическому воздействию виде стационарного случайного процесса со скрытой периодичностью. Определяются собственные частоты колебаний и находят функцию надежности по времени. Используется теория выбросов за пределы расчетного сопротивления.

**Ключевые слова:** балка, сосредоточенная масса, упругая опора, корреляционная матрица, собственная частота, эффективная частота, случайный процесс, скрытая периодичность, надежность, время.

Производственный корпус имеет в плане размер  $24 \times 24$  м. Сетка

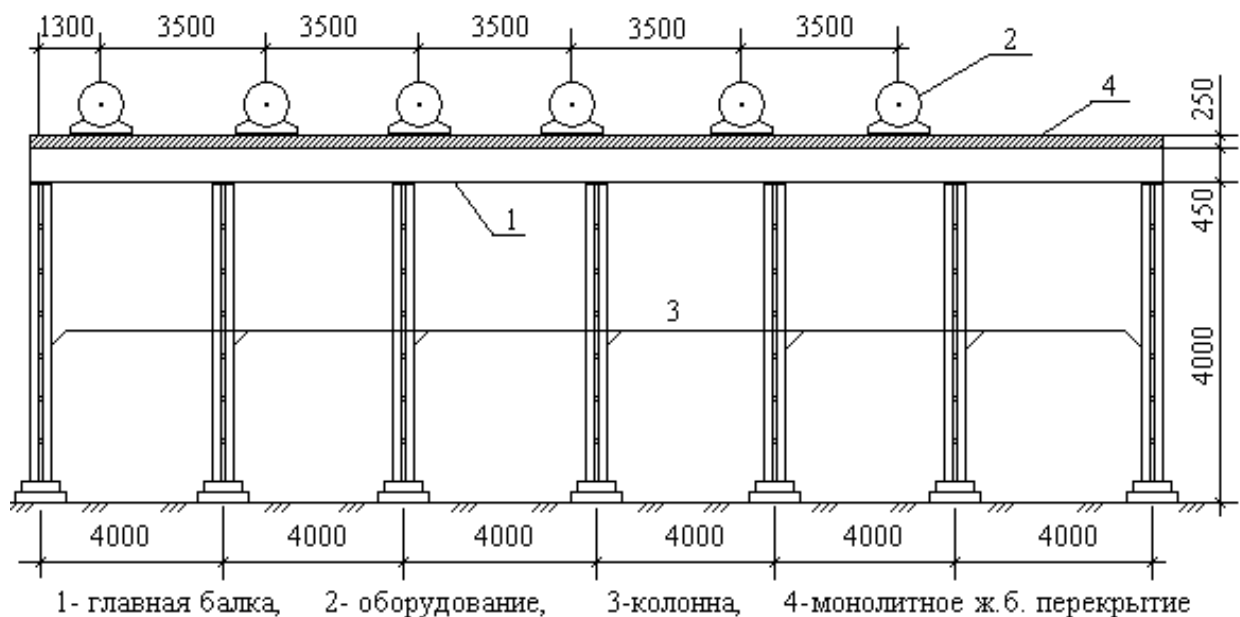


Рис.1

стальных колонн  $4 \times 4$  м. Перекрытие, опирающееся на главную балку, выполнено из железобетона толщиной 250 мм. Масса плиты принято как равномерно распределённая нагрузка. Во время колебаний работа плит на изгиб не учитывается. Оборудования весом 4 тонны, закреплены на балках на расстоянии 3500 мм друг от друга (Рис.1). Вес оборудования принято в виде

сосредоточенных сил, а массы считаются точечными. Стальная неразрезная балка длиной 24 метра принята в виде двутавра № 45 по ГОСТ 26020-83.

Расчётная схема такой балки при расчёте на статическую нагрузку от собственного веса представлена на рисунке 1. Равномерно распределённая нагрузка от собственного веса балки и перекрытия -  $q = 25$  кН/м. Вес оборудования -  $F = Mg \approx 4000 \cdot 10 = 40$  кН.

Сквозные колонны на планках (два двутавра №22 с площадью сечения  $A = 2 \cdot A_1 = 2 \cdot 30,6 = 61,2$  см<sup>2</sup>) имеющие длину  $l = 4$  метра считаются упругими пружинами с жёсткостью

$$c = \frac{EA}{l} = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot 61,2 \cdot 10^{-4}}{4} = 3,06 \cdot 10^8 \text{ Н/м},$$

Жёсткость основания под фундаментом размерами 1200x1200 мм с учётом грунтовых условий принято  $c = 2,15 \cdot 10^8$  Н/м

Эквивалентная пружина колонны и оснований принято по формуле для последовательно соединённых пружин

$$c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{3,06 \cdot 2,15}{3,06 + 2,15} = 1,26 \cdot 10^8 \text{ Н/м}$$

жёсткость балки (двутавр № 45) на изгиб

$$EJ = 200 \cdot 10^9 \cdot 27696 \cdot 10^{-8} = 55392 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}^2.$$

Результаты расчёта балки представлены в виде эпюр  $u$ ,  $M$ ,  $Q$  (рис. 2).

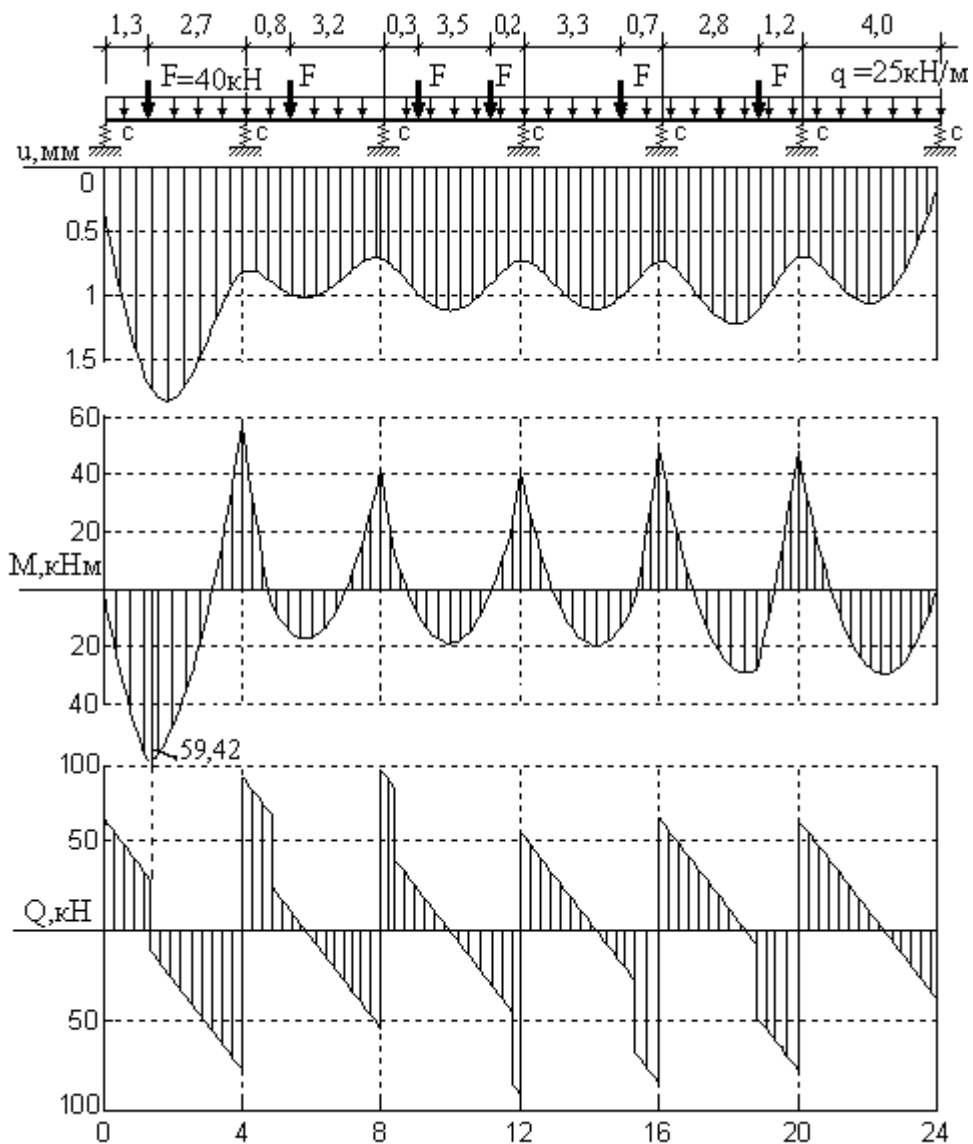


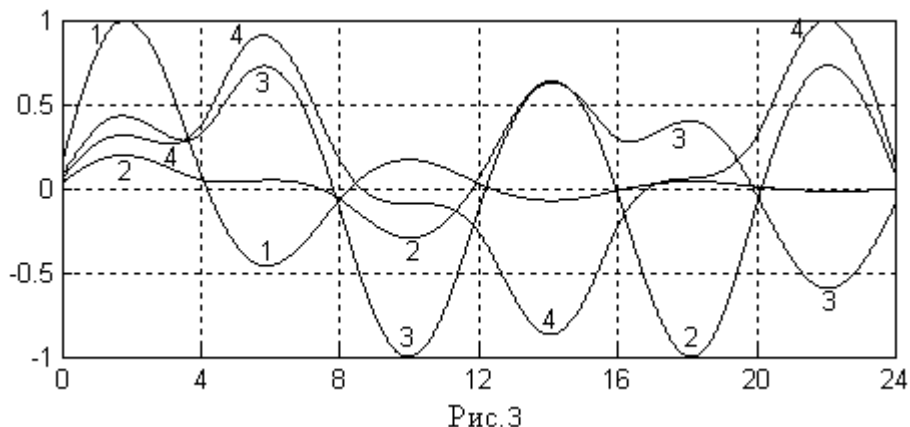
Рис. 2

Расчётная схема в виде непрерывно-дискретной балки представлена на рисунке 2. Найденные по изложенной методике[1] параграф 2 первые четыре собственные частоты и коэффициента демпфирования показаны в таблице

Таблица № 1

Номер собственной формы колебания	1-я	2-я	3-я	4-я
Собственные частоты $\omega$ , $\text{с}^{-1}$	74,10	80,57	91,47	97,85
Коэффициенты демпфирования $\mu$ , $\text{с}^{-1}$	1,71	1,59	6,99	12,13

Соответствующие им формы колебаний изображены на рисунке 3.



Сейсмическое воздействие на балку принято в виде кинематических вертикальных перемещений опор  $z_j$  ( $j = 1, 3, \dots, 13$ ) заданных в виде стационарных случайных процессов, имеющих одинаковые характерные частоты  $\beta = 15 \text{ с}^{-1}$ , одинаковые параметры широкополосности  $\alpha = 4 \text{ с}^{-1}$ , со среднеквадратическими отклонениями  $\sigma = 10 \text{ мм}$ . Матрица нормированных взаимных коэффициентов корреляции перемещений между семью опорами учитывая длины поперечных сейсмических волн и протяжённости здания принято в виде

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0,99 & 0,98 & 0,97 & 0,96 & 0,95 & 0,94 \\ 0,99 & 1 & 0,99 & 0,98 & 0,97 & 0,96 & 0,95 \\ 0,98 & 0,99 & 1 & 0,99 & 0,98 & 0,97 & 0,96 \\ 0,97 & 0,98 & 0,99 & 1 & 0,99 & 0,98 & 0,97 \\ 0,96 & 0,97 & 0,98 & 0,99 & 1 & 0,99 & 0,98 \\ 0,95 & 0,96 & 0,97 & 0,98 & 0,99 & 1 & 0,99 \\ 0,94 & 0,95 & 0,96 & 0,97 & 0,98 & 0,99 & 1 \end{pmatrix}.$$

Используя методику, изложенную в [1], построены кривые среднеквадратических отклонений поперечных перемещений  $u$ , изгибающих моментов  $M$  и поперечных сил  $Q$  в сечениях балки представленные на рисунке 3. По эпюрам изгибающих моментов от статической и сейсмической нагрузок установлено, что наиболее опасное сечение находится в первом пролёте в месте закрепления оборудования. В этом сечении статический момент  $M_{ст} = 59,42 \text{ кНм}$  и среднеквадратические отклонения момента  $\sigma_M = 63,12 \text{ кНм}$ .

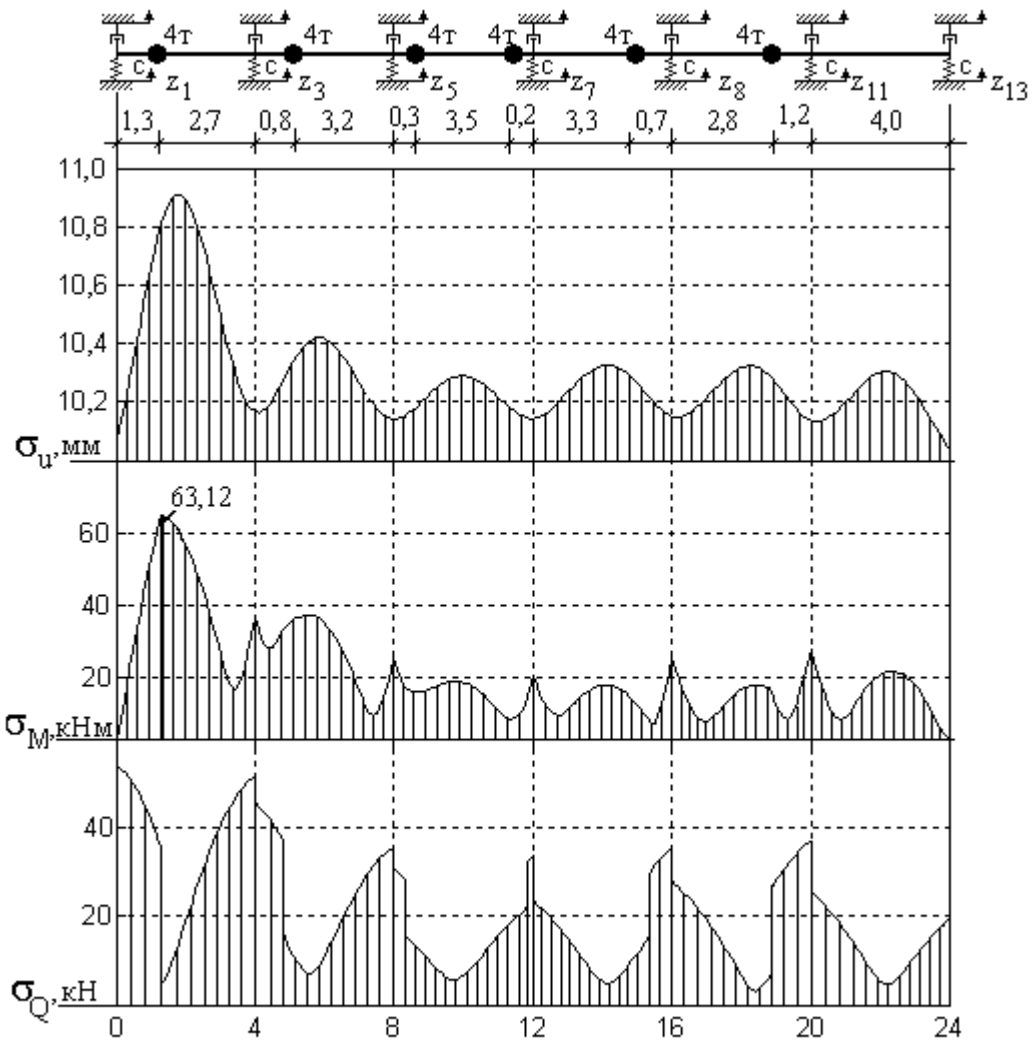


Рис. 4

Для этого сечения получена эффективная частота по формуле

$$\omega_e = \left[ \frac{\int_0^{\infty} S(\omega) \omega^2 d\omega}{\int_0^{\infty} S(\omega) d\omega} \right]^{\frac{1}{2}} = 77,58 \text{ с}^{-1},$$

предложенной В.В. Болотиным в работе [2] для стационарного случайного процесса. Эффективная частота для нашей балки получилась близкой к первой собственной частоте свободных колебаний балки. Подставив эту величину и заданное предельное расчётное напряжение  $R = 240 \text{ МПа}$  в нашу формулу, можно построить функцию надёжности

$$P(t) = \exp(-v_+ t).$$

Здесь  $\nu_+$  - частота положительных выбросов нормального напряжения за пределы допустимых напряжений

$$\nu_+ = \frac{\omega_e}{2\pi} \left\{ \exp \left[ -\frac{(R - \sigma_{ст})}{2 \cdot \sigma_d^2} \right] + \exp \left[ -\frac{(R + \sigma_{ст})}{2 \cdot \sigma_d^2} \right] \right\}.$$

Максимальные нормальные напряжения в сечении балки в стадии упругой работы стали определяются по известным формулам

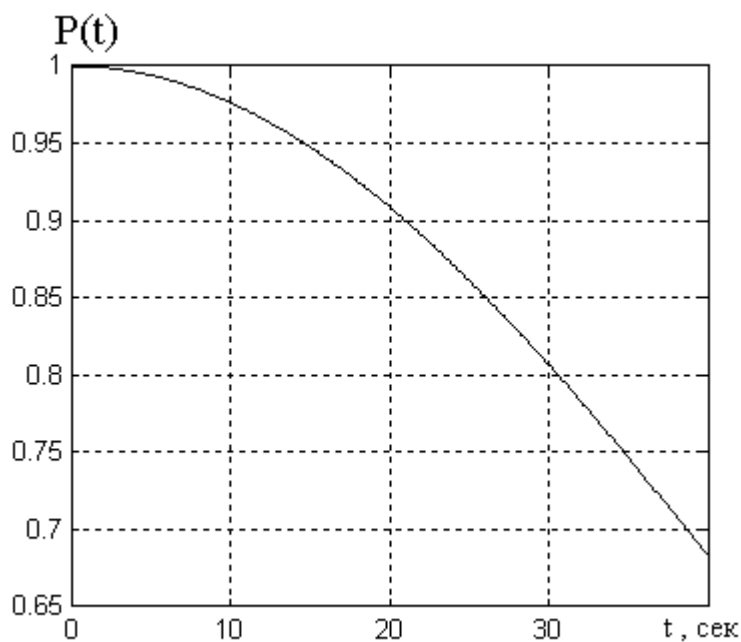


Рис. 5

$$\sigma_{ст} = \frac{M_{ст}}{W} = \frac{59,42 \cdot 10^3}{1230 \cdot 10^{-6}} = 48,3 \text{ МПа}, \quad \sigma_d = \frac{M_d}{W} = \frac{63,12 \cdot 10^3}{1230 \cdot 10^{-6}} = 51,3 \text{ МПа},$$

Результаты расчёта при  $t \in [0, 41]$  сек представлены кривой  $P(t)$  на рисунке 5.

По графику можно увидеть, что при действии заданной случайной нагрузки в течении времени до 22 сек, принятое сечение балки имеет достаточно хорошую надёжность ( $P > 0,9$ ).

**Вывод.** В данной работе ставилась задача определение надёжности балки производственного корпуса предприятия при действии определённой сейсмической нагрузки в виде стационарного случайного процесса. При этом параметры случайного процесса брались близкими к реальным сейсмическим воздействиям (по акселерографам). Показано возможность оценки конструкции

на надёжность в течении времени случайного воздействия. В существующих расчётных программных комплексах как ЛИРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, SCAD Office и т.п. не уделяется достаточное внимание оценке надёжности сооружений в целом при сейсмических воздействиях.

### Литература

1. Казиев А. М. Колебания однородных и континуально-дискретных балок при векторных гармонических и случайных возмущениях: Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 Нальчик, 2005 130 с. РГБ ОД, 61:05-5/3003.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
3. Казиев А. М., Хуранов В.Х., Костенко О.В. Исследование воздействия векторных случайных нагрузок на балки. // Инженерный вестник Дона, 2017, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4277](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4277).
4. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем. М.: Наука, 1979. 335 с.
5. Вентцель Е.С. Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.
6. Культербаев Х.П. Кинематически возбуждаемые случайные колебания балок. Инженерно-технические науки. Материалы научно-практической конференции 1994. Нальчик: Каб.-Балк. гос. с/х акад. 1995. Ч. 3. С. 23-27.
7. Культербаев Х.П., Казиев А.М., О случайных колебаниях растянутых балок. Математическое моделирование и краевые задачи. Самара: Сам. гос. тех. ун-т. 2003. С. 100-103.
8. Казиев А.М., О влиянии характерной частоты и широкополосности случайной нагрузки на колебания балок. Вопросы повышения эффективности строительства. Межвузовский сборник. Нальчик: КБГСХА, 2004. Вып. 2. С. 79-83.



9. Хуранов В.Х., Лихов З.Р., Казиев А.М., Шерибов Ш.М. Железобетонные ребристые плиты покрытий с переменным усилием преднапряжения вдоль пролета // Инженерный вестник Дона, 2015, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2893

10. Gajewski Antoni. Vibrations and stability of a non-conservatively compressed prismatic column under nonlinear creep conditions. J. Theor. and Appl. Mech. (Poland), 2000. 38. – № 2. – pp. 259-270.

11. Keltie R.F., Cheng C.C. Vibration reduction of a mass-loaded beam. J. Sound and Vibr, 1995. № 2, pp. 213-228.

### References

1. Kaziev A. M. Kolebaniya odnorodnyh i kontinual'no-diskretnykh balok pri vektornykh garmonicheskikh i sluchajnykh vozmushcheniyah [Oscillations of homogeneous and continuum-discrete beams under vector harmonic and random perturbations]: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.17 Nal'chik, 2005 130 s. RGB OD, 61:05-5/3003.

2. Bolotin V.V. Metody teorii veroyatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij [Methods of probability theory and reliability theory in calculations of structures]. M.: Strojizdat, 1982. 351 p.

3. Kaziev A. M., Huranov V.H., Kostenko O.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4277.

4. Bolotin V.V. Sluchajnye kolebaniya uprugih sistem [Random oscillation of elastic systems]. M.: Nauka, 1979. 335 p.

5. Ventcel' E.S. Ovcharov L.A. Teoriya sluchajnykh processov i eyo inženernye prilozheniya. [The theory of random processes and its engineering applications]. M.: Vyssh. shk., 2000. 383p.

6. Kul'terbaev H.P. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii 1994. Nal'chik: Kab.-Balk. gos. s/h akad. 1995. CH. 3. pp. 23-27.





7. Kul'terbaev H.P., Kaziev A.M., O sluchajnyh kolebaniyah rastyanutyh balok. Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi. Samara: Sam. gos. tekhn. un-t. 2003. pp. 100-103.
8. Kaziev A.M. Voprosy povysheniya ehffektivnosti stroitel'stva. Mezhvuzovskij sbornik. Nal'chik: KBGSKHA, 2004. Vyp. 2. pp. 79-83.
9. KHuranov V.KH., Likhov Z.R., Kaziev A.M., SHeribov SH.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2893](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2893)
10. Gajewski Antoni. J. Theor. and Appl. Mech. (Poland)., 2000. 38. № 2. pp. 259-270.
11. Keltie R.F., Cheng C.C. J. Sound and Vibr, 1995. № 2, pp. 213-228.