

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ НАСТРОЙКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МОСТОВ

В работе проведен анализ реакционной способности и фракционного состава крупных заполнителей для производства железобетонных шпал.

*Ключевые слова:* щелочно-кремниевокислая реакция, щебень, фракционный состав, слюда

Динамические гасители колебаний (ДГК) получили в настоящее время достаточно широкое распространение для защиты конструкций от сейсмических воздействий. Следует отметить что, когда удастся обеспечить условия гибкости и прочности упругой связи, ДГК оказывается наиболее эффективной системой сейсмозащиты и позволяет снизить сейсмическую нагрузку на сооружение в несколько раз и больше. В частности, вопросы применения ДГК для повышения сейсмостойкости сооружений развиты в работах Б. Г. Коренева, В. С. Полякова, Л. М. Резникова, А. М. Уздина и др. специалистов [4, 6].

В настоящей работе рассмотрено влияние ошибок настройки на эффективность динамических гасителей различных масс. В качестве примера приведены три вида гасителя:

- гаситель малой массы – масса составляет 10 % от массы защищаемого сооружения ( $\nu = M_{\text{гас}}/M_{\text{соор}} = 0,1$ );
- гаситель соизмеримой массы, масса которого равна массе сооружения ( $\nu = M_{\text{гас}}/M_{\text{соор}} = 1$ );
- гаситель большой (закритической массы), когда масса гасителя превосходит критическую массу, т.е.  $\nu > \nu_{\text{кр}} \approx 2$ , и традиционного эффекта гашения не наблюдается.

Анализ технических решений ДГК показал, что существенным недостатком гасителей малой массы как указано в работах О. А. Савинова [1] и А. А. Никитина [5] является необходимость высокой точности их настройки. Небольшие отклонения в настройке гасителя или в его демпфировании сводят на нет его эффективность. В начале 80-х годов А. М. Уздиным и А. А. Никитиным предложено использовать гасители большой массы. Кроме того, несмотря на высокую эффективность, гасители большой массы тоже имеют свои сложности в реализации. Во-первых, как известно в [5], что существует критическая масса гасителя. Если масса

гасителя больше массы сооружения более чем в 2 раза, эффект гашения исчезает. Динамический гаситель превращается в демпфер Ланчестера. При этом жесткость упругой связи становится бесконечно малой, а демпфирование – значительным. Во-вторых, эффект гашения часто оказывается недостаточным, а перемещения пролетного строения относительно опор становятся чрезмерными, приводящими к падению пролетного строения с опор. В частности, в мостах, эта идея находит применение, когда в качестве гасящей массы выступает пролетное строение. На основе их исследований выполнены исследования теории безразмерных уравнений для двухмассовой системы (рис. 1, схема «в»), с оптимальной настройкой жесткостей податливых соединений ДГК.

Все три случая имеют практическое значение. Например, для гашения колебаний зданий при использовании гибкого верхнего этажа получаем гаситель массы порядка 10 % от массы защищаемого объекта. Хотя масса рассматриваемого гасителя достаточно велика, он относится к ДГК малой массы, поскольку параметры настройки для него можно оценивать с использованием метода инвариантных точек [2] и оптимизировать по известным формулам [3].

Второй тип гасителя, при  $\nu = 1$ , уже является гасителем соизмеримой массы, для которого не применим метод инвариантных точек, и настройка производится по формулам А. А. Никитина [7]. Реализация параметров такого гасителя, особенно параметра трения, может вызывать определенные трудности. Такие гасители характерны, например, при сейсмозащите мостовых опор, когда в качестве гасящей массы используют металлическое пролетное строение.

Третий тип гасителя, это гаситель очень большой массы, в нашем примере это  $\nu = 5$ . Такая ситуация возникла в г. Сочи, когда при строительстве железнодорожной линии Адлер–Сочи использовали неразрезные железобетонные пролетные строения, масса которых, при

продольной нагрузке целиком передается на одну опору.

Оценка эффективности ДГК малой, соизмеримой и большой массы должна проводиться путем сравнения с эталонными системами. При этом критерием эффективности является снижение максимальной сейсмической нагрузки, действующей на опору, путем снижения максимальных перемещений опоры от сейсмических нагрузок. При исследовании эффективности динамических гасителей сейсмических ко-

лебаний мостовых опор в качестве эталонных рассматриваются следующие системы ДГК:

1. Система без гасителя, т.е. опора без ДГК (рис. 1, схема «а»).

2. Система, в которой гаситель жестко присоединен к опоре (схема «б»).

А в качестве исследуемой системой выбрана схема с динамическим гасителем в виде дополнительной массы, соединенной с опорой упругой связью (схема «в»).

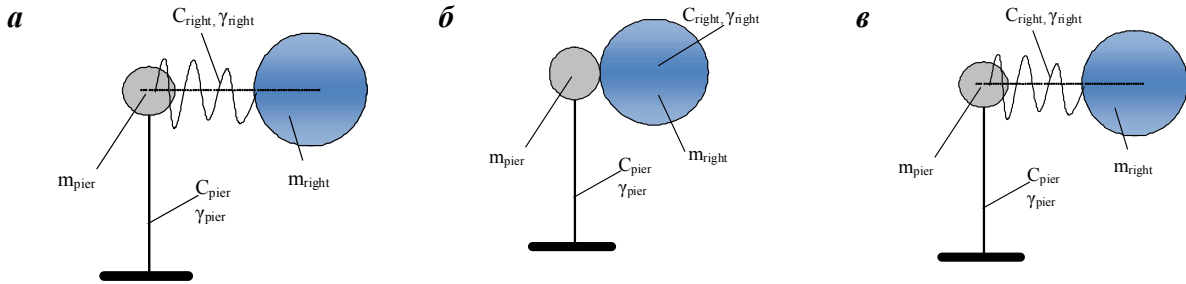


Рис. 1. Схема опор, связанных с пролетным строением

В предложенной схеме приведены параметры:  $C_{right}$  – жесткость гасителя (русловой части);  $C_{pier}$  – жесткость опоры (береговой части);  $m_{right}$  – масса гасителя (русловой части);  $m_{pier}$  – масса опоры (береговой части);  $\gamma_{right}$  – коэффициент затухания гасителя (русловой части);  $\gamma_{pier}$  – коэффициент затухания опоры (береговой части).

В принятой схеме «в» выполнен расчет по спектральной методике и найдены оптимальные параметры настройки по жесткости и демпфированию.

$$\mathbf{a}_s = \left[ (R - M \cdot \omega^2) \cdot B_c^{-1} \cdot (R - M \cdot \omega^2) + B_c \right]^{-1} \cdot M \cdot V_p \cdot A \cdot g; \quad (2)$$

$$\mathbf{a}_c = (R - M \cdot \omega^2)^{-1} \cdot B_c \cdot \mathbf{a}_s, \quad (3)$$

$R$ ,  $M$  и  $B_c$  – соответственно матрицы жесткости, инерции и демпфирования по Сорокину для рассматриваемой системы.

Оптимальными будем считать такие параметры, при которых смещения системы являются минимальными в заданном диапазоне частот колебаний. Результаты подбора оптимальных параметров, т. е., по настройке и демпфирования для всех трех случаев приведены на рис. 2–4, а оптимальные параметры по жесткости и демпфированию нашли с помощью программного комплекса Builder C++ и Mathcad.

Из приведенных рис. 2, 3 и 4 видно, что по вертикальной оси отложена  $U_s(\omega)_0$  и  $U_s(\omega)_1$  –

Для решения поставленной задачи, т.е. анализа влияния неточности настройки на эффективность работы гасителя, анализировались амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). АЧХ строились по формулам, приведенным в (1)–(3) для оптимальных параметров ДГК.

При этом амплитуда колебаний вычислялась по формуле

$$U_s(\omega) = \sqrt{\mathbf{a}_s(\omega)^2 + \mathbf{a}_c(\omega)^2}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{a}_c$  и  $\mathbf{a}_s$  – искомые векторы амплитуд соответственно при косинусе и синусе,

соответственно, амплитуда смещений пролетного строения и опоры, а по горизонтальной,  $\omega$  – частота возмущения основного тона колебаний устоя.

По полученным графикам определялись пиковые значения минимальных смещений основной системы. Далее исследовалась скорость изменения смещений системы в зависимости от величины неточности в настройке гасителя.

Для характеристики эффективности настройки гасителя введен коэффициент эффективности, алгебраически выражающийся следующим образом:

$$E(f, \gamma_2) = \frac{U_{opt} - U(f, \gamma_2)}{U_{opt}}, \quad (4)$$

где  $U(f, \gamma_2)$  – значение экстремума функции смещения системы с настройками  $f$  и  $\gamma$  в заданном диапазоне частот колебаний;

$U_{\text{opt}}$  – значения экстремума функции смещения системы с оптимальными настройками.

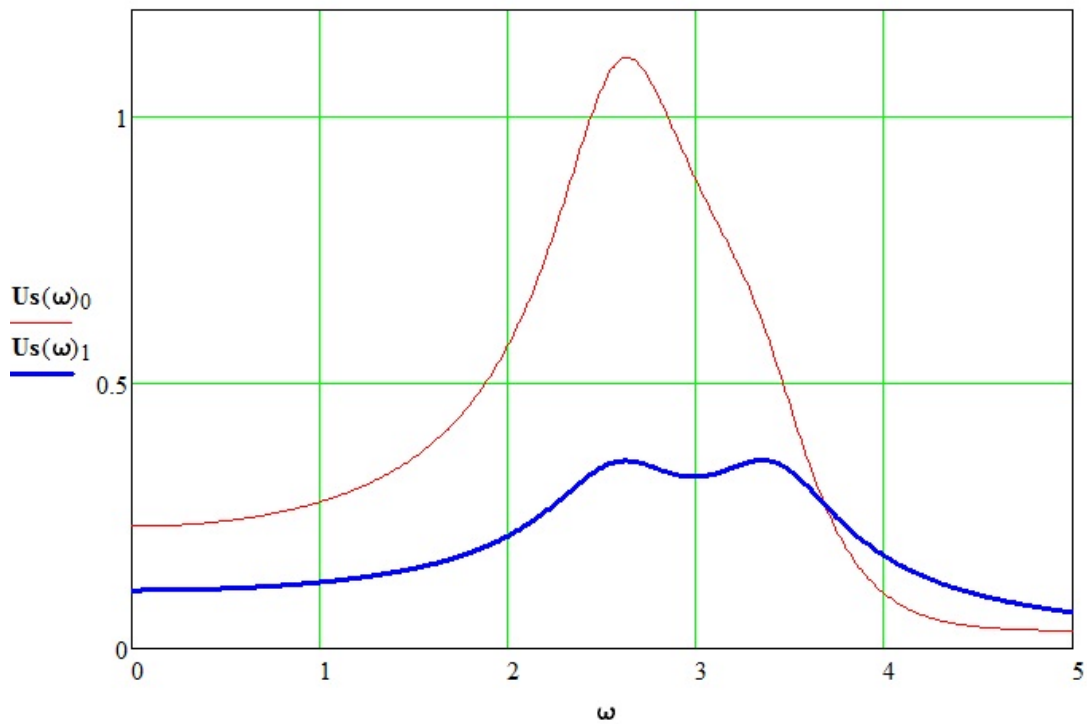


Рис. 2. Зависимости АЧХ от частоты возмущения при заданных параметрах системы  $f_{1\text{opt}} = 0,86$ ,  $\gamma_{1\text{opt}} = 0,45$

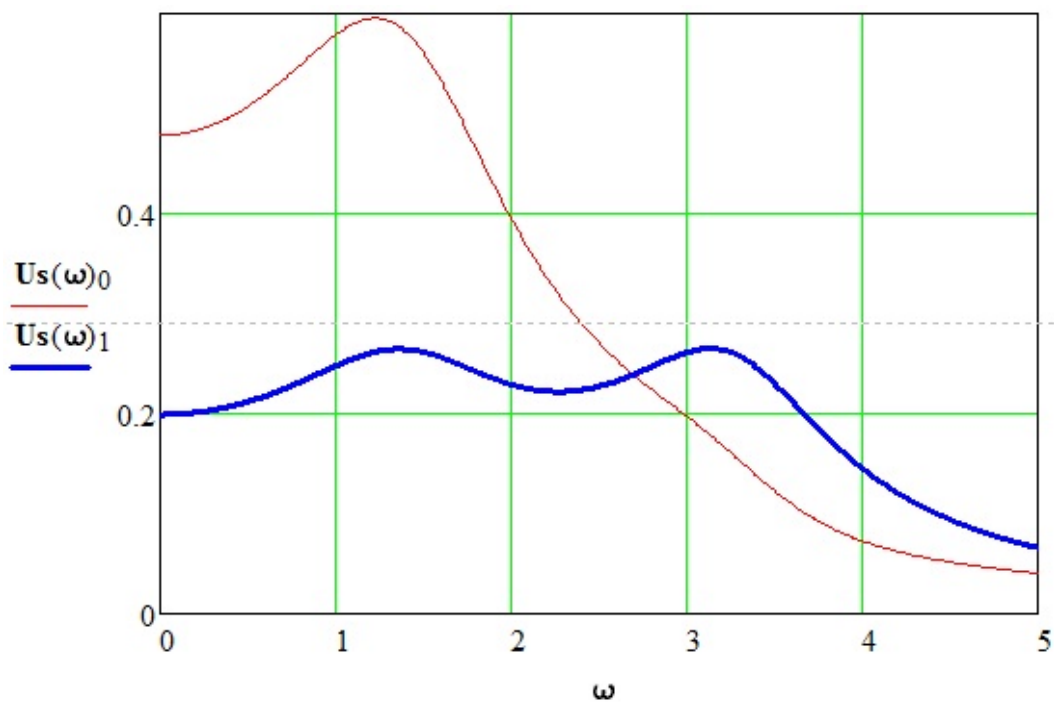


Рис. 3. Зависимости АЧХ от частоты возмущения при заданных параметрах системы  $f_{2\text{opt}} = 0,29$ ,  $\gamma_{2\text{opt}} = 3,1$

По формуле (4) получено матрица  $E(f, \gamma_2)$ , зависимости снижения смещений главной массы от настройки по жесткости и демпфированию при трех случаях  $\nu = 0,1$ ,  $\nu = 1$ ,  $\nu = 5$  (для гасителей соответственно малой, соизмеримой

и большой массы). Здесь, коэффициент эффективности  $U(f, \gamma_2)$ , т.е. эффективность применения ДГК можно сравнить с двумя основными системами-эталоны – системы без гасителя, и системы, в которой гаситель жестко присоеди-

нен к ней, т.е. масса системы увеличена на величину массы гасителя рис (см. рис. 1). На графиках 5, 6 и 7 приведены зависимости  $E(f, \gamma_2)$ , в

которых в качестве базовой принята система с жестким присоединением гаситель к ней.

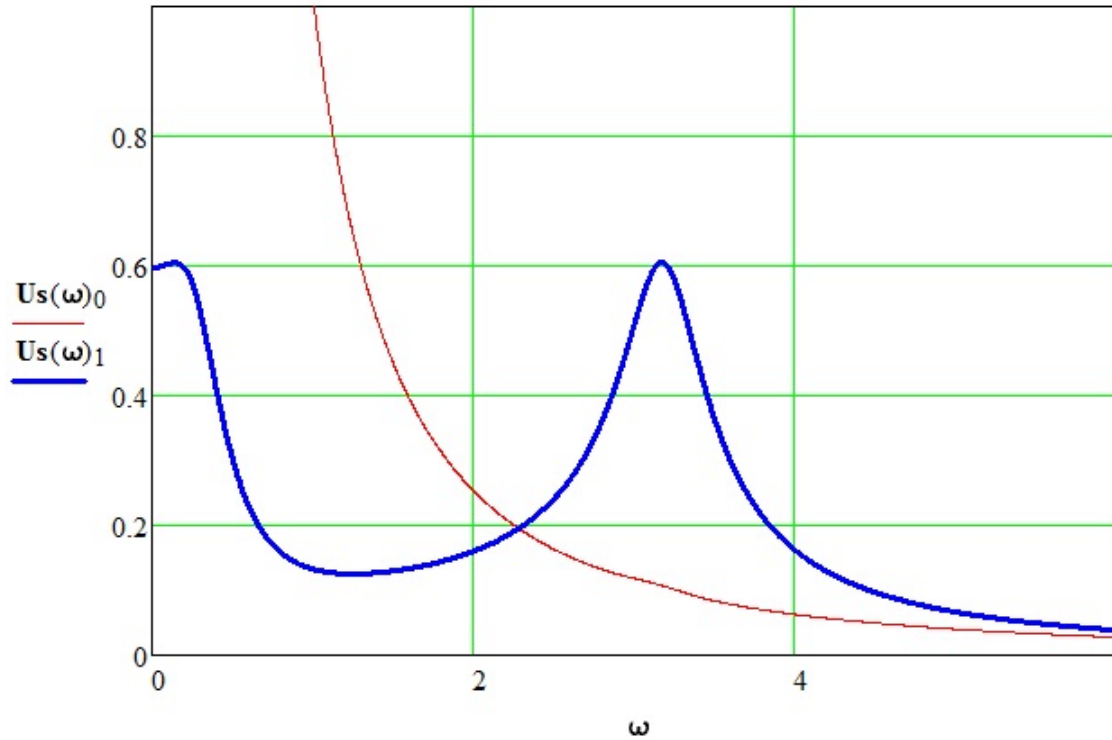


Рис. 4. Зависимости АЧХ от частоты возмущения при заданных параметрах системы  $f_{3opt} = 0,035$ ,  $\gamma_{3opt} = 10,4$

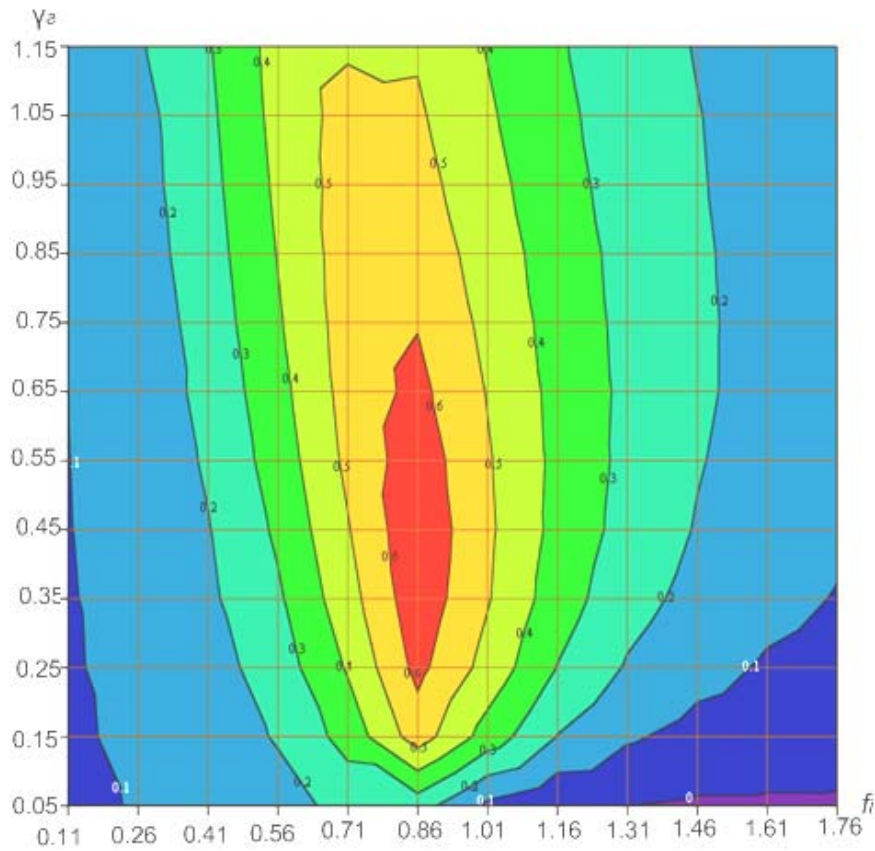


Рис. 5. Изолинии зависимости снижения смещений главной массы от настройки по жесткости и демпфированию при  $\nu = 0,1$

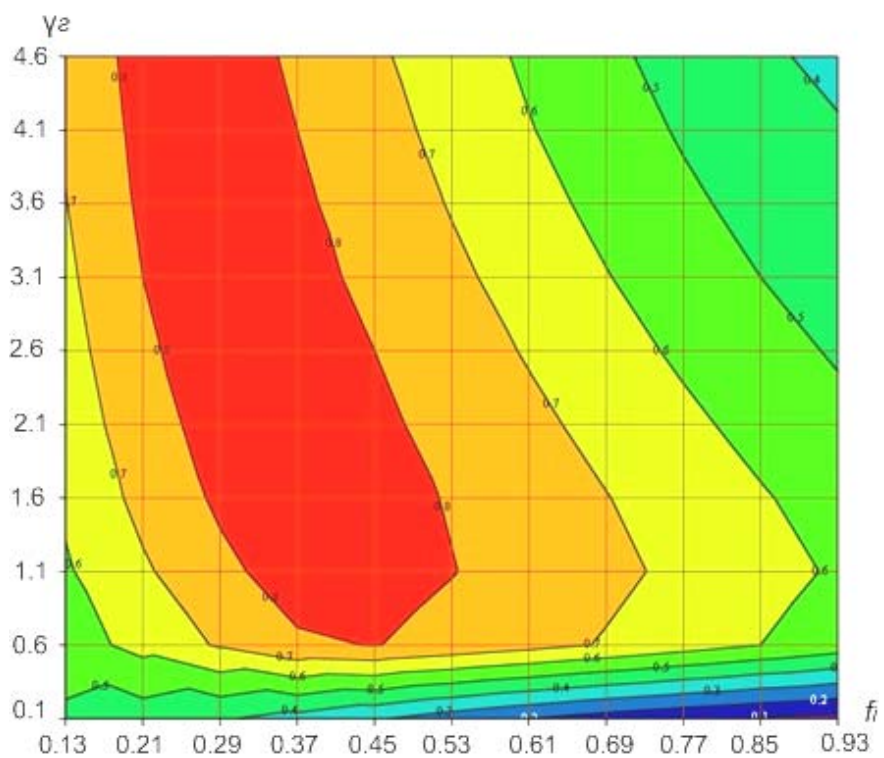


Рис. 6. Изолинии зависимости снижения смещений главной массы от настройки по жесткости и демпфированию при  $\nu = 1$

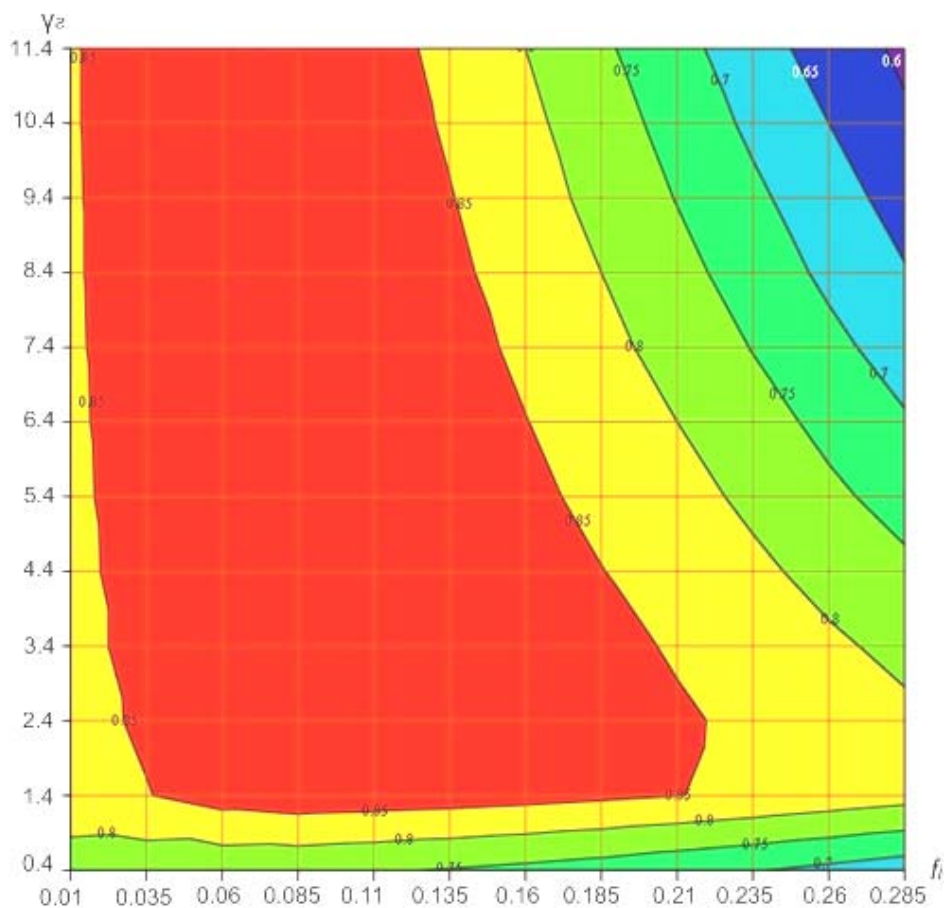


Рис. 7. Изолинии зависимости снижения смещений главной массы от настройки по жесткости и демпфированию при  $\nu = 5$

### Выводы

- для гасителей большой массы можно допустить существенные отклонения в настройке от оптимальных, причем зона высокой эффективности существенно возрастает с увеличением относительной массы гасителя;
- система ДГК более чувствительна к настройке по жесткости, чем к настройке по затуханию. Например, для случая  $\nu = 1$ , ошибки по жесткости допустимы в диапазоне  $0,21 < f < 0,43$ , ошибки по затуханию в пределах  $1,4 < \gamma_2 < 6,8$ ;
- ошибки в настройке по затуханию в большей мере влияют на смещение гасящей массы, и в меньшей мере на перемещение основной конструкции;
- полученные оценки позволяют существенно упростить задачу проектирования сейсмозащитных устройств для мостов, поскольку дают проектировщику широкую возможность в выборе размеров и жесткости проектируемых элементов сейсмозащитных устройств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савинов О. А. О применении динамического гасителя колебаний // Труды научно-исследовательского сектора Ленинградского отделения треста глубинных работ. – Л.: Стройиздат Наркомстроя, 1940. – Вып. 1. – с. 30-35.
2. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1976. – с. 209-216.
3. Коренев Б. Г., Резников Л. М. Динамические гасители колебаний. – М.: Наука, 1988. – 303 с.
4. Коренев Б. Г., Резников Л. М. О колебаниях башенных сооружений, оборудованных динамическими гасителями // Строительная механика и расчет сооружений. – 1968. – №2. – с. 27-31.
5. Никитин А. А., Уздин А. М. Применение динамических гасителей колебаний для сейсмозащиты мостов // Экспресс-информация ВНИИС. Сер.14. Сейсмостойкое строительство. – 1986. – Вып.9. – с.20-24.
6. Симкин А. Ю., Никитин А. А., Шульман С. А., Ахмедов Т. Ш., Ткаченко С. С. Сильницкий Ю. М., Шестоперов Г. С. Опорная часть сооружения. А.с. СССР, МКИ E01D 19/04, N 1162886, 1985.
7. Елисеев О. Н., Уздин А. М. Сейсмостойкое строительство. Учебник. СПб.: Изд. ПВВИСУ, 1997. – 371 с.

Поступила в редколлегию 14.11.2011.

Принята к печати 16.11.2011.

У. З. ШЕРМУХАМЕДОВ, И. О. КУЗНЕЦОВА

### ВПЛИВ ТОЧНОСТІ НАЛАШТУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ МОСТІВ

В роботі проведено аналіз реакційної здатності та фракційного складу крупних заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал.

*Ключові слова:* лужно-кремнієвокисла реакція, щебінь, фракційний склад, слюда

U. Z. SHERMUKHAMEDOV, I. O. KUZNETSOVA

### INFLUENCE OF ADJUSTMENT ACCURACY OF DYNAMIC DAMPERS OF FLUCTUATIONS ON SEISMIC STABILITY OF BRIDGES

The analysis of reactionary ability and fractional composition of large fillers for production of ferroconcrete cross ties is carried out in the article.

*Keywords:* alkaline - silicon acid reaction, rubble, fractional structure, mica