

## ПОИСК НОВЫХ СПОСОБОВ ВЫБОРА МЕСТ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ ДЕМПФИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*асп. Ярошенко Д.С.*

*ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", г. Днепрпетровск*

**Постановка проблемы.** В современной мировой строительной практике все более широкое применение получают различные демпфирующие устройства, встроенные в здания и сооружения. Применение таких устройств может быть заложено на стадии проектирования нового здания (уникального, подверженного динамическим нагрузкам, - например, небоскреб Тайбэй 101), при реконструкции, или же необходимость в таких устройствах может возникнуть в процессе его эксплуатации (аварийные колебания Волгоградского моста в мае 2010 года).

Возникает вопрос: как в каждом конкретном случае выбирать места установки демпфирующих устройств? Наиболее очевидным (и, возможно, наиболее эффективным) является размещение демпфирующих устройств в местах максимальных ожидаемых динамических перемещений сооружения для определенной формы вынужденных колебаний. Однако, если установка демпфирующего устройства в таком месте по каким-либо причинам невозможна, нужно применять другие подходы к поиску мест размещения демпфирующих устройств, где их работа будет наиболее эффективной.

**Связь с научными и практическими заданиями и анализ последних исследований и публикаций.** Проблема рационального расположения демпфирующих устройств в сооружении является актуальной, особенно в протяженных сооружениях (например, мостах, трубопроводах) и высотных сооружениях (современные небоскребы). Так, в работе [1] исследуется эффективность использования предложенной автором *системы размещения демпферов* вязкого трения для высотного здания (использована в высотном сооружении Торре Майор в г. Мехико). В работах [2,3] анализируются т.н. концепция демпфирующей консоли (Damped Outrigger Concept), применяемой авторами для защиты высотных зданий от динамических (главным образом, ветровых) нагрузок. В статье [2] авторы ссылаются на данные, полученные коллективом авторов: Jeary, Li, Brownjohn, Wood и др., которые показывают, что с ростом высотности здания его демпфирующие способности понижаются. Поэтому авторы данной концепции (M.Willford и Rod Smith) предлагают ее как новый подход в структурном проектировании высотных зданий, который позволит повысить демпфирующие способности высотных зданий до необходимых пределов. Эта концепция заключается в размещении демпферов вязкости по периметру выносной консоли, которая жестко сопряжена с ядром жесткости высотного здания. В статье [2] отмечается, что используя эту технологию в высотных зданиях можно добиваться уровня диссипации в размере 2-15% от критического.

Вопросы размещения различного рода энергопоглочителей в сейсмостойких каркасах зданий и сооружений обсуждаются, например, в книге [4].

**Формулировка целей.** В старых учебниках по строительной механике при действии гармонической нагрузки на осциллятор динамическим коэффициентом называют отношение амплитуды перемещения вынужденных колебаний системы к ее статическому перемещению от статически приложенной силы. Но данный термин применим только к системам с одной степенью свободы. В случае сложных, разветвленных сооружений можно переходить к *эпюрам динамических коэффициентов* (о чем говорит в своих работах проф. Кулябко В.В.). Методика построения эпюр динамических коэффициентов, например, по перемещению может быть такой: в направлении каждой координаты дискретной динамической модели откладывается отношение максимального динамического перемещения по данной координате к соответствующему статическому перемещению от статической величины амплитуды данной силы.

*Статья является попыткой поиска способа выбора рациональной расстановки демпфирующих устройств. Этот вопрос ниже рассмотрим на примере плоской многопролетной рамы с динамическими гасителями колебаний (ДГК). Оценим возможность использования эпюр динамических коэффициентов для выбора места установки демпфирующего устройства.*

**Изложение основного материала исследований.** Рассмотрим следующую плоскую трехпролетную раму с приложенной динамической гармонической нагрузкой в уровне ригеля по горизонтали (рис. 1,а). При этом частоту воздействия будем считать медленно меняющейся в окрестности первой резонансной частоты рамы.

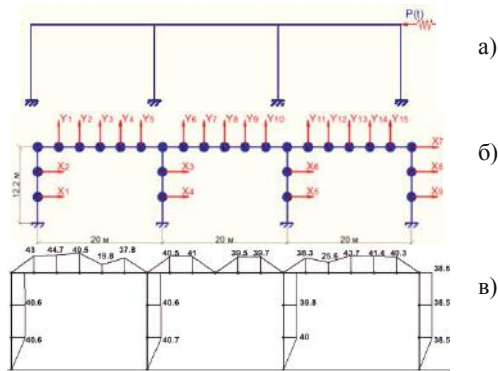


Рис. 1. Расчетная схема рамы (а), дискретная динамическая модель рамы (б), эпюра динамических коэффициентов рамы по перемещениям (в)

Особенности собственных колебаний регулярных рамных строительных конструкций, в том числе на примере данной рамы, были рассмотрены в [6].

Расчеты будут производиться в ПК Mathcad. В ПК ЛИРА будет производиться тестирование принятой динамической модели (рис. 1,б).

Как видим из рис. 1,в, величина динамических коэффициентов примерно равна во всех стержнях рамы, хотя максимальными динамическими перемещениями будут горизонтальные колебания ригеля (в рассматриваемом случае перемещения ригеля рамы от статически приложенной силы по горизонтали в 15.3 раза больше, чем у середины левого пролета ригеля по вертикали).

Рассмотрим следующие варианты размещения ДГК: в первом случае ДГК размещен в месте максимальных динамических перемещений рамы от данной динамической нагрузки (рис. 2,а), а во втором – в месте с максимальной величиной динамического коэффициента (см. рис. 1,б). При размещении ДГК по второму варианту его движения будут происходить перпендикулярно линии действия силы.

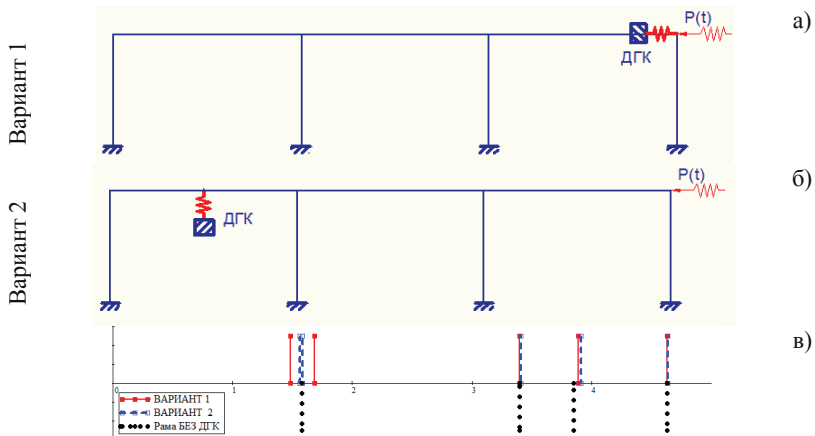


Рис. 2. Варианты размещения ДГК при горизонтальной динамической нагрузке (а,б) и спектр собственных частот рамы без ДГК (нижняя область графика в) и с ДГК(верхняя область графика) по двум вариантам их размещения

Зададимся массой ДГК равной 1/20 массы ригеля одного пролета. Настройка будет производиться на первую резонансную частоту рамы без ДГК (1.53 Гц). Внутреннее трение в раме и ДГК принимается равным (логарифмические декременты колебаний для рамы по первой форме свободных колебаний и ДГК равны 0.079).

Параметры ДГК:

$$m_{\text{дгк}} = 1/20 m_p = 1/20 * (18.5 * 1000 / 9.8 * 20) \approx 1890 \text{ кг};$$

$$k = (2\pi f)^2 m_{\text{дгк}} = (2 * \pi * 1.53)^2 * 1890 = 1.75 * 10^5 \text{ Н/м}.$$

Из анализа спектров собственных частот рамы без ДГК и с ДГК по двум вариантам, приходим к выводу, что первый вариант является более

рациональным, так как согласно [5] ближайшие частоты системы с гасителями должны быть максимально отодвинуты от резонансной частоты (частот) системы без гасителей.

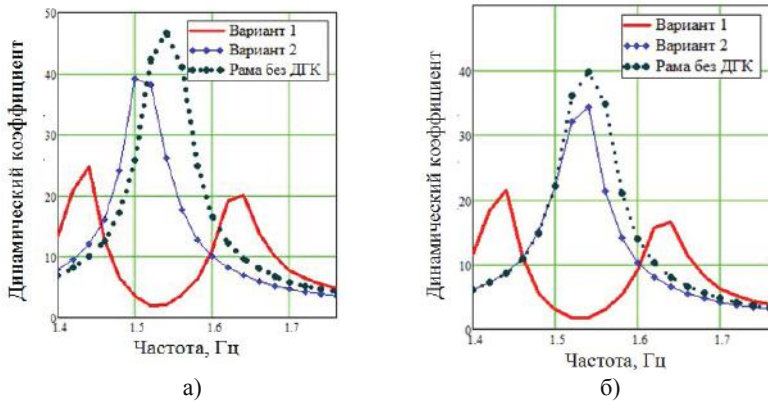


Рис. 3. Фрагменты зависимости величины динамического коэффициента от частоты воздействия для координат Y3 (а) и X7 (б) соответственно

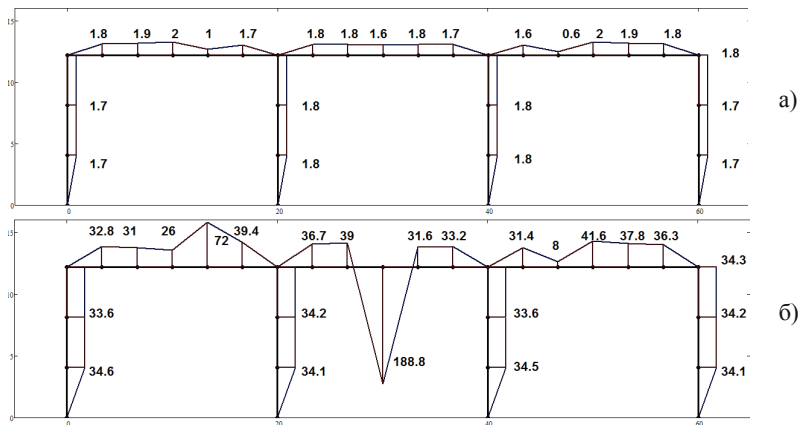


Рис. 4. Эпюры динамических коэффициентов по перемещениям рамы с ДГК по вариантах 1 (а) и 2 (б)

На рисунке 3 приведены зависимости величины динамического коэффициента для горизонтальной динамической координаты ригеля рамы (X7, рис. 1,б) и вертикальной динамической координаты средней точки ригеля левого пролета рамы (Y3, рис. 1,б).

В рассматриваемом частотном диапазоне возмущения при размещении ДГК по варианту 1 максимальные колебания уменьшились в 1.85 раза, по

варианту 2 – в 1.16 раза, а на частоте настройки ДГК (первая резонансная частота рамы без ДГК) соответственно в 27.6 и 1.2 раза. Эпюры динамических коэффициентов рамы с ДГК для двух вариантов их расстановки приведены на рисунке 4 для случая гармонического воздействия на первой резонансной частоте рамы без ДГК. Некоторая несимметрия ординат на рисунках 1 и 4 объясняется несимметричным приложением возмущения. А пики ординат графика (72 и 188.8) на рисунке 4,а связаны с делением малых чисел, близких к нулю.

**Выводы.** При первом варианте расположения ДГК (в точке и направлении возмущения) в рассматриваемом примере колебания можно уменьшить примерно в 27 раз. Второй вариант установки ДГК (по направлению максимального динамического коэффициента по перемещениям) – малоэффективен по сравнению с первым. Его эффективность будет повышаться с ростом массы гасителя (например, часть массы ригеля можно сделать подпружиненной, тогда ее можно будет использовать как массу гасителя). Как вариант, вместо одного сосредоточенного гасителя, возможно применение слоя динамических гасителей по перемещению или углу поворота [5]. Также возможно повышение эффективности таких устройств путем введения в демпфирующее устройство дополнительного трения (например, сухого).

Таким образом, выбор места установки демпфирующего устройства путем анализа форм собственных и вынужденных колебаний, а также эпюры динамических коэффициентов моделей строительных конструкций представляется возможным и перспективным.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Rahimian A. Damped Link Element in Coupled Truss or Wall System/ A. Rahimian//STRUCTURE magazine, 2007.- P.30-34.
2. Smith R.J. The Damped Outtrigger Concept For Tall Buildings/ R.J. Smith, M.R.Willford//The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16, 2007. – P. 501-517.
3. Willford M. Viscous Dampers Come of Age (A New Method for Achieving Economy in Tall Buildings)/ M.Willford, Rod Smith, David Scott, Matt Jackson, S.E.// STRUCTURE magazine, 2008. – P. 15-18.
4. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. – Алма-Ата: Казахстан, 1985. – 120 с.
5. Карамышкин В.В. Динамическое гашение колебаний / Под ред. К.М. Рагулькиса. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 108 с.
6. Кулябко В.В., Ярошенко Д.С. Особенности собственных колебаний регулярных рамных строительных конструкций на примере одноэтажных многопролетных рам / Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: Зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 2. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – С. 22-30.