

**СНИЖЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК НА ПЕРЕКРЫТИЯ
С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ**

**THE REDUCTION OF DYNAMIC IMPULSE LOADS ON SLABS
USING TUNED MASS DAMPERS**

В.А. СМЕРНОВ

V.A. SMIRNOV

(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)
(Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)
E-mail: belohvost@list.ru

Работа посвящена задаче проектирования и оптимизации параметров динамических гасителей колебаний, предназначенных для снижения импульсных нагрузок на перекрытия промышленных зданий. Рассматривается расчетная схема части сооружения, построенная в программном комплексе Femap. Оптимизация динамического гасителя осуществляется на основе решения задачи частотного отклика конструкции на импульсное динамическое возмущение.

The paper solves the problem of design and optimization of tuned mass damper (TMD) used to reduce dynamic impulse loading on the floors of industrial buildings. The design scheme of this building is used made in PLM Femap software package. The parameter optimization of TMD is solved using frequency response analysis of the structure subjected to wideband impulse dynamic loading.

Ключевые слова: динамический гаситель колебаний, импульсная нагрузка, МКЭ.

Keywords: tuned mass damper, impulse load, FEM.

Зачастую в помещениях производств легкой и тяжелой промышленности присутствует оборудование ударного принципа действия, к которому относят: гильотины для нарезки металлических заготовок, штамповочные молоты, оборудование для

нарезки печатной продукции, прессовальное оборудование, оборудование для передачи оттисков и штампов и др. При работе такого оборудования возникают значительные импульсные динамические силы, которые передаются на несущие конструкции

здания и приводят к их существенным прогибам, повышению уровней структурного шума в соседних помещениях и даже возможному разрушению.

В статье изучается вопрос оптимизации параметров и настройки одномассового динамического гасителя колебаний для снижения уровней вибрации и структурного шума в помещениях, расположенных под цехом, от работы прессовального оборудования, установленного на перекрытии. Общий импульс прессы составляет 0,73 кН·с. Пресс жестко установлен на перекрытии второго этажа. Многоэтажное здание имеет каркасно-связевую структуру, с железобетонными монолитными перекрытиями по профилированному настилу общей толщиной 250 мм, опирающимся на сетку металлических двутавровых колонн 9000×9000 мм. Фрагмент расчетной схемы исследуемого сооружения представлен на рис. 1.



Рис. 1

Теория расчета динамических гасителей колебаний детально изложена в работах [1], [2], при этом в работе [3] рассматривается численный пример расчета динамического гасителя колебаний для снижения вибрации от работы ткацкого станка. Подбор параметров динамических гасителей колебаний для снижения уровней вибрации перекрытий от импульсной нагрузки осуществляется по нескольким их первым формам свободных колебаний. При этом число форм, необходимое для расчета, определяется целями задачи. Так, для расчета уровней шума необходимо выбирать те формы колебаний, которые попадают в нормируемый частотный диапазон по [4]. Для рас-

чета динамических нагрузок на несущие конструкции здания выбираются наиболее насыщенные (по энергии) формы колебаний. При этом оптимизация параметров гасителя и определение скоростей колебаний перекрытий и стен проводится с помощью метода импульсных переходных функций, описанного в [2]. Расчетная схема плиты перекрытия с установленным на ней динамическим гасителем колебаний представлена на рис. 2.

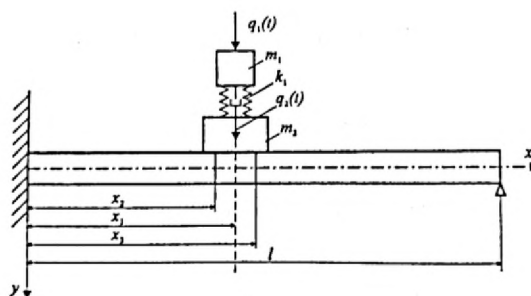


Рис. 2

Амплитуды колебаний массы m_1 и m_2 имеют вид:

$$y_1 = Sk_{u1m}, \quad y_2 = Sk_{u2m}, \quad (1)$$

где S – величина импульса, кН·с; а импульсные переходные функции определяются формулами:

$$k_{u2}(t) = \frac{p_{np}^2 X_1^2}{m_1 (p_{c2}^2 - p_{c1}^2)} \sum_{s=1}^2 (-1)^{s+1} \frac{1}{p_{cs}^*} e^{-\frac{\gamma_s}{2} p_{cs} t} \sin p_{cs}^* t, \quad (2)$$

$$k_{u1}(t) = \frac{1}{m_1 (p_{c2}^2 - p_{c1}^2)} \sum_{s=1}^2 (-1)^{s+1} \frac{F_{os}^*}{p_{cs}^*} e^{-\frac{\gamma_s}{2} p_{cs} t} \sin p_{cs}^* t. \quad (3)$$

В рассматриваемом случае проведем настройку гасителя на три первых частоты свободных колебаний перекрытия, а затем оценим уровень колебаний плиты перекрытия, вызванный импульсным приложением нагрузки. Настройка динамического гасителя осуществляется выбором его жесткости k и массы m таким образом, чтобы его парциальная частота совпадала с частотой той формы колебаний, которую он снижает. При этом, как показала практика [1..3], масса гасителя должна составлять в среднем 5...10% от массы защищаемого объекта.

Частоты и формы собственных колебаний конструкции определяются по результатам модального анализа, выполненного в ПК PLM Femap. На рис. 3 (частоты и формы колебаний перекрытия рассматриваемого

фрагмента здания: а) – 7,66 Гц; б) – 14,32 Гц; в) – 19,02 Гц; г) – 30,08 Гц) представлены основные низшие формы колебаний перекрытий.

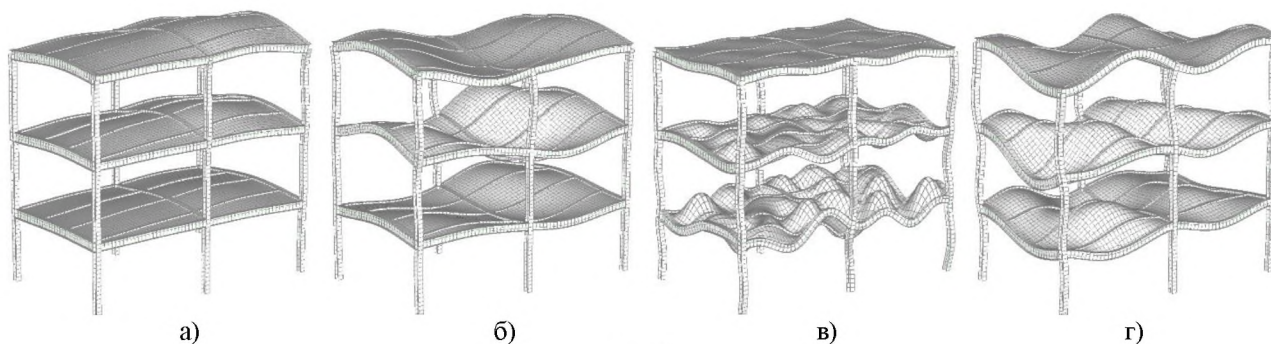


Рис. 3

Расположение динамического гасителя, настроенного на ту или иную форму колебаний перекрытия, назначается исходя из координат пучностей рассматриваемой формы колебаний [4]. При этом для повышения эффективности динамического гасителя в него было введено вязкое демпфирование, параметры которого подбирались итерационно для максимального снижения резонансного пика. Поскольку точка при-

ложения нагрузки расположена не по центру перекрытия, а вблизи колонны, оценим наиболее насыщенные (по энергии) формы колебаний при возбуждении конструкции в точке приложения силы. Для этого на рис. 4 представлены результаты расчета частотного отклика конструкции на единичное силовое воздействие, примененное в точке приложения нагрузки от прессы в диапазоне частот 0...300 Гц (зеленой линией).

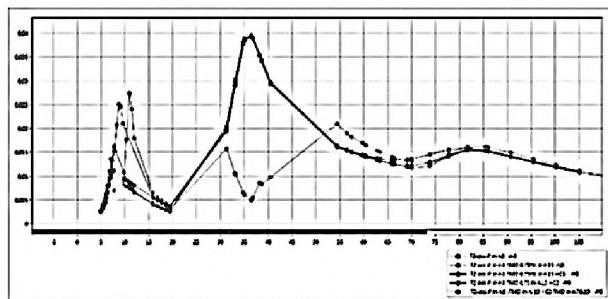


Рис. 4

После настройки динамического гасителя по первым трем формам колебаний спектр отклика сооружения будет иметь вид, представленный на рис. 4 желтой линией. Для сравнения эффективности динамического гасителя на рис. 4 приведен спектр колебаний исходной системы зеленым цветом. Оценка эффективности применения системы динамических гасителей колебаний, настроенных на первые три частоты собственных колебаний, осуществлялась по результатам нестационарного динамического расчета колебаний конструк-

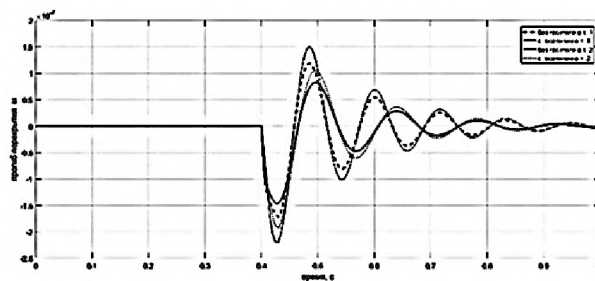


Рис. 5

ции на импульсное воздействие. Результаты расчета представлены на рис. 5 в виде осциллограмм затухающих колебаний плиты перекрытия в точке приложения импульсной нагрузки – т. 2 и в середине ее пролета – т. 1.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов расчетов показывает существенное снижение амплитуд динамических прогибов конструкции при настройке динамических гасителей колеба-

ний по первым трем формам. Представленная методика позволяет дополнительно оптимизировать массово-инерционные характеристики гасителей под конструктивные схемы здания сложной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний: теория и технические приложения. – М.: Наука, 1988.
2. Чернов Ю.Т. Вибрации строительных конструкций. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006.
3. Смирнов В.А. Особенности проектирования динамических гасителей для станков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №4. С. 173...176.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
5. Смирнов В.А. Расчет и моделирование демпфирующих устройств прецизионного испытательного стенда // Строительство и реконструкция. – 2016, №3 (65). С. 61...70.

REFERENCES

1. Korenev B.G., Reznikov L.M. Dinamicheskie gasiteli kolebanij: teorija i tehicheskie prilozhenija. – M.: Nauka, 1988.
2. Chernov Ju.T. Vibracii stroitel'nyh konstrukcij. – M.: Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006.
3. Smirnov V.A. Osobennosti proektirovanija dinamicheskikh gasitelej dlja stankov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №4. S.173...176.
4. SN 2.2.4/2.1.8.562–96. Shum na rabochih mestah, v pomeshhenijah zhilyh, obshhestvennyh zdaniy i na territorii zhiloy zastrojki.
5. Smirnov V.A. Raschet i modelirovanie dempfi-rujushhih ustrojstv precizionnogo ispytatel'nogo stenda // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2016, №3 (65). S.61...70.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 05.04.17.