

УДК 543.833:621

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ
НА ОСНОВЕ ЩЕБЕНОЧНОЙ ЗАСЫПКИ**

**PERFORMANCE EVALUATION OF VIBRATION REDUCTION
OF GRAVEL BACKFILL**

В.А. СМІРНОВ, М.Ю. СМОЛЯКОВ, И.Е. ЦУКЕРНИКОВ
V.A. SMIRNOV, M.YU. SMOLYAKOV, I.E. TSUKERNIKOV

(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; smolyakovmu@gmail.com; 3342488@mail.ru

В строительной практике наметился интерес к использованию прослоек из натурального или искусственного щебня в качестве виброизоляционных засыпок в конструкциях. Благодаря своей структуре подушка, выполненная

из сыпучего материала, может применяться для снижения амплитуд динамического воздействия на здания и сооружения. Происходит значительная потеря энергии за счет сухого трения между частицами и многократного отражения волны на границах раздела сред. Однако пока в отечественной нормативной документации отсутствует методика определения динамических свойств крупнообломочных материалов. В настоящей работе, основываясь на положениях существующей нормативной базы, описан испытательный стенд и предложена методика определения динамических характеристик упругого слоя из крупнообломочного материала.

There is an interest in building practice to an application of natural or artificial crushed stone layers as a vibration isolation filling inside structures. Due to its structure, the pillow consisting of such material can be applied for the reduction of dynamic excitation amplitudes acting on buildings. The significant loss of energy occurs due to dry friction between the particles and multiple reflections of waves at boundaries of media. However, at the moment, the domestic standards lack the method for determining the dynamic properties of coarse-grained materials. In this paper, according to existing standards, a test setup and a methodology is described for the determination of dynamic properties of gravel backfill elastic layers.

Ключевые слова: щебеночная засыпка, эффективность виброизоляции, испытательный стенд.

Keywords: gravel backfill, effectiveness of vibration isolation, test bench.

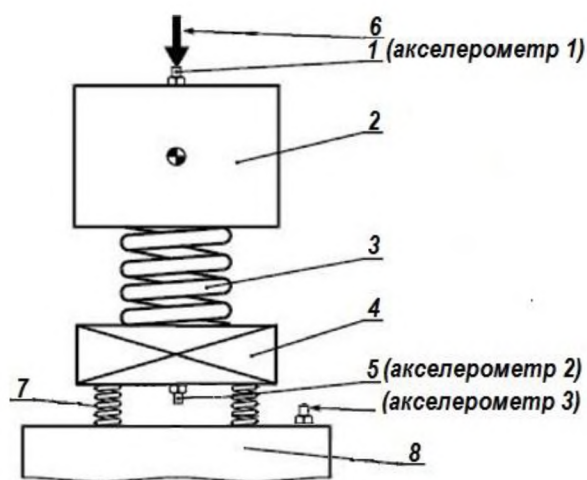
В настоящее время в строительстве все больше обращаются к использованию щебеночных засыпок в конструкциях зданий для снижения вибраций, передаваемых по грунту, по аналогии с широко применяемым методом сейсмоизоляции [1...8].

В работе предлагается новая инженерная методика экспериментального определения характеристик таких засыпок. Оценку эффективности снижения вибраций упругим слоем пеностекольного щебня

определяли путем анализа переходной функции, показывающей отношение между подводимым к динамической системе воздействием и ее откликом [1]. Такое допущение правомерно в случае динамической системы с одной степенью свободы. Для реализации указанного принципа разработан динамический стенд [2], общий вид которого представлен на рис. 1-а, а принцип действия поясняется схемой на рис. 1-б.



а)



б)

Рис. 1

Цифрой 3 на рис. 1-б обозначено виброизолирующее устройство, в данном случае – упругий слой щебня, который пригружается массой 2 для создания предварительного статического нагружения и распределения по всей поверхности исследуемого образца передаваемой на него вибрации. На массу 2 действует возмущение в виде широкополосной поступательной вибрации, создаваемой вибровозбудителем 6, которое регистрируется с помощью импедансной головки 1. Для устранения влияния колебаний основания стенда 8 на результаты испытаний в динамический стенд введена масса 4, которая опирается на виброизоляторы 7. Для определения ускорений элементов стенда в характерных точках установлены датчики ускорений (акселерометры 1, 2 и 3), показания которых фиксируются многоканальной измерительной аппаратурой.

Измерение передаточной функции упругого слоя щебня осуществляется путем определения спада виброускорений массы 4 относительно массы 2 с помощью двух акселерометров 1 и 2, установленных соответственно на входе и выходе динамической системы масса–упругий слой–основание. Контроль отсутствия влияния поддерживающей конструкции на результат измерений осуществляется путем сопоставления уровней вибрации массы 4 и основания стенда 8, при этом спад уровней колебаний должен быть не менее 15...20 дБ, что регистрировалось в ходе испытаний.

Для испытаний использовали цилиндрическую емкость большого радиуса, в которую послойно засыпали щебень с уплотнением до 10...15%. Испытания проводили на слоях щебня толщиной 60, 120, 180 и 240 мм. Конструкция стенда позволяет проводить испытания и при больших толщинах засыпок.

Испытания упругого слоя пеностеклового щебня проводили при малой величине предварительного статического нагружения, что моделировало свободную засыпку материала в конструкцию. Величина предварительной нагрузки на слой щебня составила 1286,74 Па. В импедансную головку

вворачивали передаточную штангу от вибровозбудителя RFTSESE-201, который был подвешен за перекрытия и непосредственно с объектом исследования не связан.

Испытания проводили при действии на утрамбованный щебень широкополосного шума, наиболее точно моделирующего широкополосное воздействие метрополитена [3], [5], который задавался генератором колебаний RFT 03004 (розовый шум), подключенный через усилитель RFT LV-102 к вибровозбудителю. Показания акселерометров 1...3, установленных на испытательном стенде, синхронно регистрировали с помощью многоканальной аппаратуры. Измерения проводили не менее 2-х мин, результаты усредняли в процессе обработки.

Измеренные акселерограммы $a_1(t)$, $a_2(t)$, $a_3(t)$ подвергали частотному анализу для получения спектральных характеристик по каждому из каналов $a_1(f)$, $a_2(f)$, $a_3(f)$. Передаточную функцию определяли как отношение спектральных характеристик виброускорений, полученных на массе 4 (рис. 1-б), к спектральным характеристикам виброускорений, зарегистрированных на массе 2 (рис. 1-б):

$$\text{Tr}(f) = \left| \frac{a_2(f)}{a_1(f)} \right|, \quad (1)$$

где f – частота воздействия, Гц.

Эффективность виброизоляции упругого слоя ΔL , дБ, определяли по формуле:

$$\Delta L(f) = 20 \log(\text{Tr}(f)). \quad (2)$$

Резонансная частота определяется частотой, соответствующей максимальному пику на графике передаточной функции, а коэффициент потерь – по ширине резонансной кривой [2], [7].

На рис. 2 представлен один из графиков эффективности виброизоляции упругого слоя пеностеклового щебня. Тонкими цветными линиями отмечена эффективность виброизоляции упругого слоя для каждого из пяти образцов. Разброс результатов (резонансная частота упругого слоя,

эффективность виброизоляции) связан с неоднородным прилеганием металлического диска к образцам из-за крупности щебня (фракция 30...60 мм).

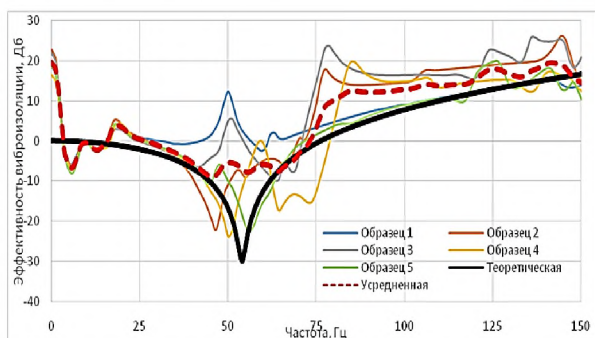


Рис. 2

Черной жирной сплошной линией показана теоретическая кривая эффективности виброизоляции, определяемая следующей формулой [1]:

$$\Delta L = 20 \log \left(\sqrt{\frac{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2}{1 + \eta^2}} \right), \quad (3)$$

где f_0 – собственная частота виброзащитной системы, Гц; η – коэффициент потерь виброзащитной системы.

В качестве f_0 и η в рассматриваемой формуле принималось усредненное значение по выборке из 5 образцов одной толщины.

Красной жирной пунктирной линией на графиках рис. 2 показана кривая эффективности виброизоляции, полученная по результатам усреднения экспериментальных кривых. Усредненная кривая с достаточной точностью аппроксимируется теоретической кривой эффективности. Наибольшие различия наблюдаются вблизи резонансных частот, что связано с тем, что теоретическая кривая эффективности не учитывает все особенности рассеяния колебательной энергии, которые наблюдаются в упругом слое щебня.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика проведения испытаний и измерительный стенд, позволяющий определять эффективность виброизоляции упругого слоя пеностеклянного щебня различной толщины.

2. Испытания проводили при малой величине статического пригруза, что моделировало свободную засыпку пеностеклянного щебня в конструкцию. Для определения теоретической эффективности виброизоляции упругого слоя при большей величине статического пригруза можно воспользоваться методикой пересчета. Предполагая, что в интересующем диапазоне нагрузок упругая прослойка щебня имеет постоянную жесткостную характеристику, можно определить резонансную частоту прослойки той же толщины, но при действии большей нагрузки, воспользовавшись соотношением $f_{m2} = f_{m1} \sqrt{m_1/m_2}$, где f_{m1} – измеренная резонансная частота упругого слоя, Гц, при нагрузке m_1 , кг; f_{m2} – определяемая резонансная частота при новой величине нагрузки m_2 , кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челомей В.Н. Вибрации в технике. – Т.6. Защита от вибрации и ударов / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981.
2. ГОСТ Р 56353–2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов.
3. СП 23-105–2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена.
4. СП 120.133300.2012. Метрополитены.
5. Цукерников И.Е., Смирнов В.А. Экспериментальные исследования уровней вибрации перекрытий жилых зданий, вызванных движением поездов метрополитена // Строительство и реконструкция. – 2016, №4(66). С. 85...93.
6. Smirnov V., Tsukernikov I. To the Question of Vibration Levels Prediction Inside Residential Buildings Caused by Underground Traffic // Proc. Eng. – Vol. 176, 2017. P. 371...380.
7. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
8. Vanicek I., Vanicek M. Static foundation analysis study for nuclear power plant // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014, №4. С. 9...18.

REFERENCES

1. Chelomej V.N. Vibracii v tehnike. – T.6. Zashhita ot vibracii i udarov / Pod red. K.V. Frolova. – M.: Mashinostroenie, 1981.
2. GOST R 56353–2015. Grunty. Metody laboratornogo opredelenija dinamicheskikh svojstv dispersnyh gruntov.
3. SP 23-105–2004. Ocenka vibracii pri proektirovanii, stroitel'stve i jekspluatacii ob"ektov metropolitena.
4. SP 120.133300.2012. Metropoliteny.
5. Cukernikov I.E., Smirnov V.A. Jeksperimental'nye issledovanija urovnej vibracii perekrytij zhi-lyh zdaniy, vyzvannyh dvizheniem poezdov metropolitena // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2016, №4(66). S. 85...93.
6. Smirnov V., Tsukernikov I. To the Question of Vibration Levels Prediction Inside Residential Buildings Caused by Underground Traffic // Proc. Eng. – Vol. 176, 2017. P. 371...380.
7. Nashif A., Dzhouns D., Henderson Dzh. Dempfirovanie kolebanij / Per. s angl. – M.: Mir, 1988.
8. Vanicek I., Vanicek M. Static foundation analysis study for nuclear power plant // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2014, №4. S. 9...18.

Рекомендована Ученым советом. Поступила 04.03.17.