ISSN 1607-4556 (Print)
ISSN 2309-6004 (Online)

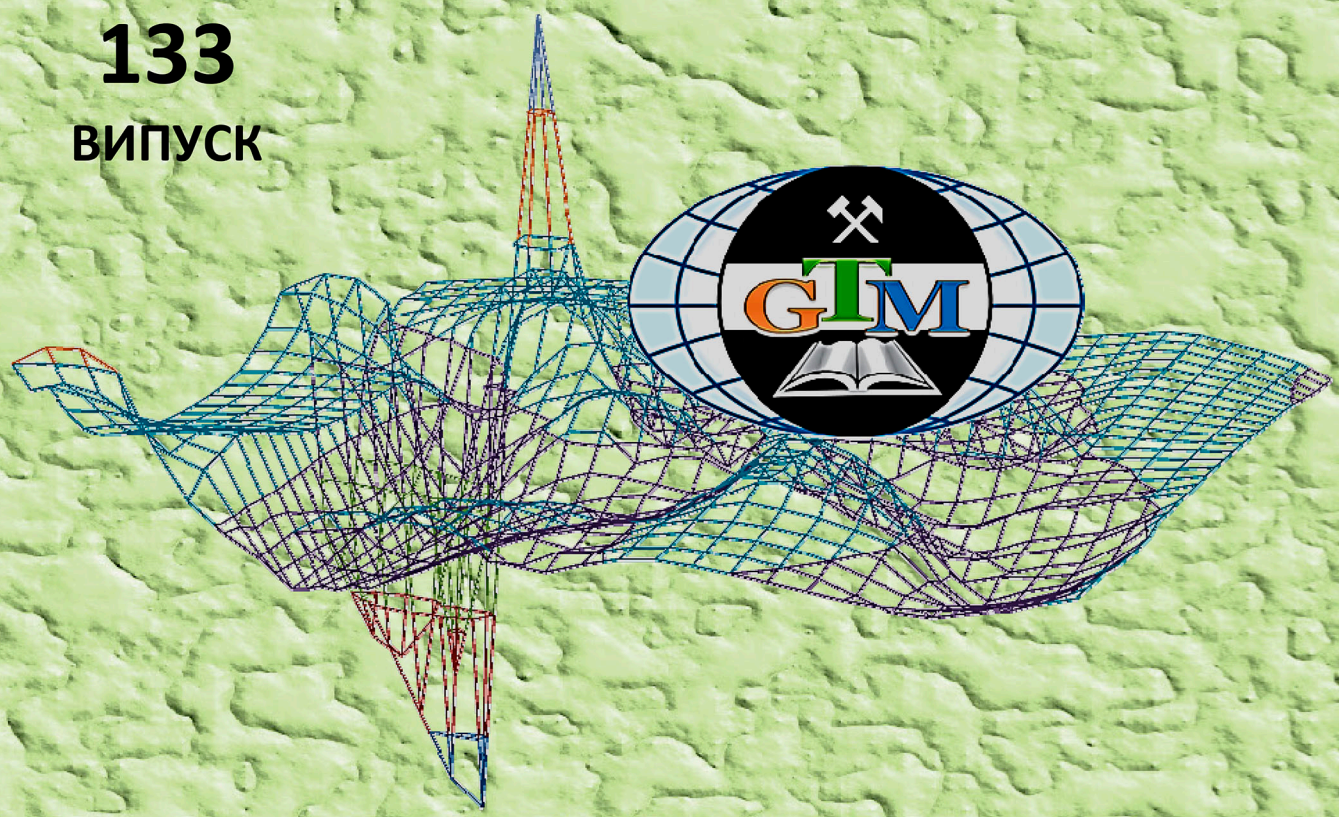
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ
ім. М.С. Полякова

ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА

Геотехническая механика

Geo-Technical Mechanics

133
ВИПУСК



Дніпро 2017

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ
ім. М.С. Полякова

Геотехнічна механіка
Геотехническая механика
Geo-Technical Mechanics

МІЖВІДОМЧИЙ ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Головний редактор академік НАН України А.Ф. Булат

Збірник засновано в 1993 році

Випуск 133

Дніпро • 2017

УДК 622.02:539.3

Затверджено до друку Вченою Радою Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (протокол № 8 від 21.06.2017 року).

Редакційна колегія:

головний редактор – академік НАН України *А.Ф. Булат*;
заступники головного редактора – чл.-кор. НАН України *О.І. Волошин*;
д-р техн. наук *О.П. Круковський*;
відповідальний секретар – д-р техн. наук *В.Г. Шевченко*.

Члени редакційної колегії:
д-р геол. наук *В.А. Баранов*; д-р геол. наук *К.А. Безручко*; д-р техн. наук *Б.О. Блюсс*; д-р техн. наук *Л.М. Васильєв*; д-р геол.-мінерал. наук *П.Ю. Гожик* (Інститут геологічних наук НАН України, директор інституту); д-р техн. наук *В.І. Дирда*; чл.-кор. НАН України *Е.І. Єфремов*; д-р техн. наук *Є.С. Лапшин*; д-р техн. наук *С.П. Мінєєв*; д-р техн. наук *В.П. Надутий*; д-р техн. наук *Т.А. Паламарчук*; д-р геол. наук *Л.І. Пимоненко*; д-р геол. наук *В.Ф. Приходченко* (Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, зав. кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин); д-р геол. наук *В.С. Савчук* (Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, професор кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин); д-р техн. наук *Є.В. Семененко*; д-р техн. наук *С.І. Скіпочка*; д-р техн. наук *К.К. Софійський*; д-р техн. наук *М.С. Четверик*; д-р техн. наук *Г.О. Шевченко*; д-р техн. наук *А.О. Яланський*.

Іноземні члени редакційної колегії:
д-р техн. наук *С.Д. Вікторов* (Інститут проблем комплексного освоєння надр Російської академії наук, Російська Федерація); д-р геол.-мінерал. наук *Б.І. Журбицький* (Всеросійський науково-дослідний геологорозвідувальний інститут вугільних родовищ, Російська Федерація); д-р техн. наук *Ю.П. Морозов* (Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої професійної освіти Уральський державний гірничий університет, Російська Федерація); д-р техн. наук *Л.С. Шамганова* (Інститут гірничої справи ім. Д.А. Кунаєва Національної академії наук Республіки Казахстан, Республіка Казахстан).

Редактор видання (Print) д-р техн. наук *Т.В. Бунько*
Редактор видання (Online) канд. техн. наук *І.М. Слащов*

У збірнику представлені результати наукових досліджень в галузі динаміки та міцності, механіки еластомерів, безпеки складних технічних систем та проблем стійкого розвитку.

Для наукових працівників, аспірантів та студентів старших курсів вищих учбових закладів України.

Адреса веб-сторінки збірника: www.geotm.dp.ua

Рецензенти: Б.О. Блюсс, д-р техн. наук, професор
В.П. Франчук, д-р техн. наук, професор

© Інститут геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України, 2017

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

1. ***Булат А.Ф., Дырда В.И., Лисица Н.И., Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Козуб Ю.Г., Немченко В.В., Голубь Л.А.***
Сейсмоизоляция зданий и сооружений с помощью эластомерных блоков
Bulat A.F., Dyrda V.I., Lisitsa N.I., Nemchinov Yu.I., Maryenkov N.G., Kozub Yu.G., Nemchenko V.V., Golub L.A.
Seismic insulation of buildings and structures with the help of elastomeric blocks 3
2. ***Логинова А.А.***
Определение долговечности резиновых виброизоляторов опорного узла рабочего органа ударно-центробежных дезинтеграторов при старении в условиях агрессивной среды
Loginova A.A.
Determination of the durability of rubber vibration isolators of the support unit of the working body of shock-centrifugal disintegrators at aging in aggressive environment conditions 14
3. ***Пухальский В.Н., Синчук В.В., Басараб Н.Н.***
Добыча и переработка урановой руды в Украине
Puhalskiy V.N., Sinchuk V.V., Basarab N.N.
Production and processing of uranium ore in Ukraine 27
4. ***Дырда В.И., Гребенюк С.Н., Решевская Е.С., Сокол С.П., Новикова А.В.***
Сжатие тонкослойных резинометаллических элементов
Dyrda V.I., Grebenyuk S.N., Reshevskaya K.S., Sokol S.P., Novikova A.V.
Compression of thin layer rubber-metal elements 34
5. ***Кобец А.С., Дырда В.И., Сокол С.П., Толстенко А.В.***
Некоторые проблемы безопасности тяжёлых вибрационных машин с эластомерными элементами
Kobets A.S., Dyrda V.I., Sokol S.P., Tolstenko A.V.
Some problems of safety of vibrative machines with elastomeric elements 42
6. ***Кобец А.С., Пугач А.Н.***
Обоснование радиуса окружности направляющей кривой носка культиваторной лапы
Kobets A.S., Puhach A.M.
Substantiation of radius of the circle of guide curved of spearhead cultivation claw 50
7. ***Дырда В.И., Лисица Н.И., Козуб Ю.Г., Агальцов Г.Н., Заболотная Е.Ю., Твердохлеб Т.Е., Лисица Н.Н.***
Низкочастотная виброизоляция тяжёлых технологических машин с помощью эластомерных элементов
Dyrda V.I., Lisitsa N.I., Kozub Yu.G., Agaltsov G.N., Zabolotnaya Ye.Yu., Tverdokhleb T.Ye., Lisitsa N.N.
Low-frequency vibration isolation of heavy technology machines using elastomeric elements 56
8. ***Калганков Є.В.***
Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу
Kalgankov Ye.V.
Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abrasive and fatigue wear 66

9. ***Цаніді І.М., Калганков Є.В.***
Захисні футерівки барабанних млинів: сучасний стан та перспективи розвитку
Tsanidy I.N., Kalgankov Ye.V.
Protective lining of drum mills: modern status and prospects of development 75
10. ***Дырда В.И., Черний А.А., Толстенко А.В.***
Термомеханическая устойчивость эластомерных элементов тяжёлых вибромашин при длительных циклических нагрузках
Dyrda V.I., Cherniy A.A., Tolstenko A.V.
Thermomechanical stability of elastomer elements of heavy vibromachines under long-term cyclic loading 81
11. ***Калашников В.А., Головко Л.Г., Стойко А.В., Дырда В.И., Хмель И.В.***
Дезинтеграция железной руды в шаровых мельницах с резиновой футеровкой
Kalashnikov V.A., Golovko L.G., Stoiko A.V., Dyrda V.I., Khmel I.V.
Disintegration of iron ore in ball mills with rubber lining 90
12. ***Дырда В.И., Агальцов Г.Н., Козуб Ю.Г., Сокол С.П.***
Промышленная безопасность в контексте защиты машин и операторов от вибрации и шума
Dyrda V.I., Agaltsov G.N., Kozub Yu.G., Sokol S.P.
Industrial safety in the context of protecting machinery and operators from vibration and noise..... 103
13. ***Pişkin B., Sağlam R.***
The important role of retrofitting in agricultural machinery: a case study for techniques and applications
Пишкин Б., Саглам Р.
Важность модернизации в сельскохозяйственном машиностроении: тематическое исследование техники и приложений..... 114
14. ***Круковская В.В., Круковский Д.А.***
Метод расчёта параметров связанных процессов деформирования углепородного массива и фильтрации метана
Krukovskaya V.V., Krukovskiy D.A.
Method of calculation parameters of coupled processes of coal-rock massif deformation and methane filtration..... 123
15. ***Кирия Р.В., Ларионов Г.И., Пазынич А.В.***
Определение дуги сцепления при взаимодействии ленты конвейера с футерованным барабаном
Kiriya R.V., Larionov G.I., Pazynich A.V.
Determination of clutch arrangement at interaction conveyor belt with futer drum..... 136
16. ***Минеев С.П., Кочерга В.Н., Янжула А.С., Самохвалов Д.Ю., Гулай А.А., Голуб С.Н., Лисняк С.С.***
Оценка концентраций индикаторных газов в очистных забоях ШУ «Покровское»
Mineyev S.P., Kocherga V.N., Yanzhula A.S., Samokhvalov D.Yu., Gulay A.A., Golub S.N., Lisnyak S.S.
Evaluation of concentration of indicating gases in clearing slaughtering of mine management “Pokrovskoye”..... 148
17. ***Минеев С.П., Шубин В.П., Кострица А.А., Янжула А.С., Кирьяков М.А., Крипченко С.В.***
Современная методология прогноза выбросоопасности песчаников при ведении горных работ на угольных шахтах Украины
Mineyev S.P., Shubin V.P., Kostritsa A.A., Yanzhula A.S., Kiryakov M.A., Kripchenko S.V.
Modern methodology of outburst sandstone forecast during mining operations at coal mines of Ukraine 158

18. ***Минеев С.П., Янжула А.С., Кострица А.А., Кирьяков М.А., Минеев А.С.***
Особенности применения режима сотрясательного взрывания при проведении горных выработок
Mineyev S.P., Yanzhula O.S., Kishkan M.A., Kiryakov M.A., Mineyev O.S.
Implementation of shock blasting mode in mine working conveying 173
19. ***Минеев С.П., Кочерга В.Н., Прусова А.А., Головко Ю.И., Янжула А.С., Гулай А.А.***
Вопросы оценки эффективности мероприятий для исключения возможности загазирования горных выработок при обрушении пород кровли
Mineyev S.P., Kocherga V.N., Prusova A.A., Golovko Yu.I., Yanzhula A.S., Gulay A.A.
Questions of evaluation of the efficiency of activities to exclude the possibility of stocking mining processes when the roof disturbed 190
20. ***Ішков В.В., Козій Є.С.***
Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c10в шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу
Ishkov V.V., Koziy E.S.
About peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c10в of the Dneprovskaya mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district of Donbass 213
21. ***Булат А.Ф., Бунько Т.В., Кокоулин И.Е., Ященко И.А.***
Критерии использования матрицы рисков при совершенствовании системы управления производством и охраной труда на угольных шахтах
Bulat A.F., Bunko T.V., Kokoulin I.Ye., Yashchenko I.A.
Criterions of use matrix of risks at perfection of control system by production and labour protection on coal mines 228
22. ***Яланский А.А., Слащев А.И., Селезнев А.М.***
Исследование способов борьбы с пучением почвы в горных выработках методом конечных элементов
Yalanskiy A.A., Slashchev A.I., Seleznev A.M.
Study of methods for controlling the floor swelling In the mine workings with the help of finite-element methods 239
23. ***Науменко М.М., Сокол С.П., Філіпенко Д.В., Гурідова В.О.***
Математична модель руху зернової суміші в циліндричному решеті, що обертається навколо осі
Naumenko M.M., Sokol S.P., Filipenko D.V., Guridova V.A.
Mathematical model of the grain mix in a cylindrical grid rotating around the axis 250

УДК 624.15:699.841

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, профессор,
Дырда В.И., д-р техн. наук, профессор,
Лисица Н.И., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),
Немчинов Ю.И., д-р техн. наук, профессор,
Марьенков Н.Г., д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
(ГП НИИСК),
Козуб Ю.Г., канд. техн. наук, доцент
(ЛНУ им. Т. Шевченка),
Немченко В.В., инженер,
Голубь Л.А., инженер
(ООО «Монодит»)

СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛАСТОМЕРНЫХ БЛОКОВ*

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,
Дирда В.І., д-р техн. наук, професор,
Лисиця М.І., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України),
Немчинов Ю.І., д-р техн. наук, професор,
Мар'єнков М.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр.
(ДП НДІБК),
Козуб Ю.Г., канд. техн. наук, доцент
(ЛНУ ім. Т. Шевченка),
Немченко В.В., інженер,
Голубь Л.О., інженер
(ТОВ «Монодіт»)

СЕЙСМОІЗОЛЯЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛАСТОМЕРНИХ БЛОКІВ

Bulat A.F., Acad. NASU, D. Sc. (Tech.), Professor,
Dyrda V.I., D. Sc. (Tech.), Professor,
Lisitsa N.I., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),
Nemchinov Yu.I., D. Sc. (Tech.), Professor,
Maryenkov N.G., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
(SE RIBC),
Kozub Yu.G., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(LTSNU),
Nemchenko V.V., M. S. (Tech.),
Golub L.A., M. S. (Tech.)
(«Monodit» LLC)

* *© Булат А.Ф., Дырда В.И., Лисица Н.И., Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Козуб Ю.Г., Немченко В.В., Голубь Л.А., 2017*

Статья посвящена 50-летию со дня основания Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

SEISMIC INSULATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES WITH THE HELP OF ELASTOMERIC BLOCKS

Аннотация. Рассматривается основная концепция вибросейсмоизоляции тяжёлых горных машин, зданий и сооружений на основе использования резиновых сейсмоблоков (РСБ). Концепция сейсмической изоляции сооружений является весьма актуальной. В Японии, Новой Зеландии, Франции, Греции, Англии, США и ряде других стран она успешно использована для защиты от землетрясений таких важных сооружений как атомные электростанции, школы, мосты, музеи, административные и жилые здания. Наибольшее распространение получили сейсмоизоляционные системы, включающие резиновые блоки и механические предохранители. В этих же странах опубликованы и основные научные статьи без приведения аналитических расчётов и технологических особенностей изготовления элементов. В Украине концепция развивалась двумя путями: разработка сейсмоизоляционных блоков для защиты от землетрясений жилых зданий; разработка виброизоляционных блоков для защиты от вибраций тяжёлого оборудования (вес до 300 т, использовано в России, Украине) и жилых зданий. Для практического применения систем сейсмоизоляции зданий Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины и ГП НИИСК были выполнены экспериментальные исследования для обоснования параметров РСБ, запатентованы их конструкции, разработана конструкторская документация и изготовлены экспериментальные образцы трёх типов резинометаллических сейсмозащитных блоков диаметром 400 мм и 500 мм и общей высотой резинового слоя: 2×120 мм, 2×70 мм и 2×50 мм. Изложены результаты статических и динамических испытаний параметрического ряда РСБ для защиты жилых зданий от вибраций. Рассматривается конструкция сваи с виброизолирующими резиновыми опорами. Разработанные и испытанные конструкции РСБ были использованы для виброзащиты от поездов метрополитена и автотранспорта жилых домов в г. Киеве: 10-секционного 10-этажного жилого дома по ул. Киквидзе и двухсекционного 27-этажного дома по Оболонскому проспекту. Вибросейсмоизоляция с помощью РСБ обеспечивает собственную частоту колебаний здания в горизонтальной плоскости менее 1 Гц, что соответствует требованиям ДБН и Еврокода 8 к проектированию систем сейсмоизоляции зданий.

Ключевые слова: виброизоляция, сейсмоизоляция, резинометаллические блоки, сваи с резинометаллическими блоками

Введение. Вибросейсмоизоляция – это перспективное направление, которое развивается в последние годы в разных странах. В Японии, например, построено уже более тысячи сейсмоизолированных зданий и мостов. В последние годы всё большее число сейсмоизолированных зданий, мостов и других сооружений возводятся в различных странах на разных континентах. Наибольшее применение сейсмоизоляция получила в Японии, Китае, США, РФ, Канаде, Армении, Новой Зеландии и Италии. Широкое распространение при реконструкции и возведении новых зданий получили системы сейсмоизоляции на основе резинометаллических сейсмоизолирующих блоков.

Нерешённые задачи

В Украине данное направление развивается пока медленными темпами, что связано как с отсутствием необходимого финансирования, так и с необходимостью экспериментальной проверки систем сейсмоизоляции на натурных фрагментах зданий.

Согласно ДБН В.1.1-12:2014 [1] и Еврокода 8 при проектировании зданий, оснащённых сейсмоизоляцией, необходимо, помимо спектрального метода расчёта, выполнять прямой динамический расчёт с использованием инструментально зарегистрированных записей ускорений грунта при землетрясениях на

площадке строительства или же сгенерированных акселерограмм на основе результатов работ по сейсмомикрорайонированию.

Основное различие между деформированием конструкций неизолированного здания и сейсмоизолированного здания с применением РСБ заключается в существенном различии относительных горизонтальных перемещений междуэтажных перекрытий при землетрясении. Вследствие более высокой горизонтальной жёсткости этажей верхнего строения здания по сравнению с горизонтальной жёсткостью сейсмоизолирующих блоков, относительные горизонтальные перемещения перекрытий этажей, расположенных выше сейсмоопор системы сейсмоизоляции, существенно ниже по сравнению с перемещениями здания без сейсмоизоляции.

Значительные допустимые (равные высоте сейсмоизолирующего блока) горизонтальные перемещения верха РСБ обеспечиваются физическими свойствами резиновых элементов. В настоящее время наибольшее распространение получили сейсмоизолирующие слоистые резинометаллические блоки, которые обеспечивают эффективное гашение энергии при землетрясении.

Относительные горизонтальные перемещения перекрытий смежных этажей в сейсмоизолированных зданиях могут снижаться в несколько раз, в сравнении с перемещениями в неизолированных зданиях.

На основе выполненного анализа нормативных документов и исследований по проблеме сейсмозащиты зданий с помощью устройства систем сейсмоизоляции можно сделать следующие выводы и предложения:

1. Для сейсмоопасных районов Украины применение сейсмоизоляции во вновь проектируемых зданиях различной этажности в сейсмоопасных районах является перспективным направлением, т.к. позволяет повысить сейсмостойкость конструкций и получить экономический эффект от 300 до 700 тысяч грн. на одно здание высотой от 9 до 16 этажей (данные расчётов лаборатории экономических исследований НИИСК на 2006 г.).

2. С целью снижения стоимости строительства зданий (в условиях экономического кризиса в Украине) проектным и исследовательским организациям необходимо внедрять в больших объёмах системы сейсмоизоляции и виброзащиты от наземного и подземного транспорта при строительстве многоэтажных зданий.

3. Для более широкого строительства зданий с системами сейсмоизоляции необходимо использовать данные проведенных экспериментальных исследований РСБ запатентованной конструкции [2] (рис. 1). Стоимость выпускаемых в Украине РСБ в 5-7 раз меньше зарубежных аналогов (Китай, Италия, Япония и т.д.).

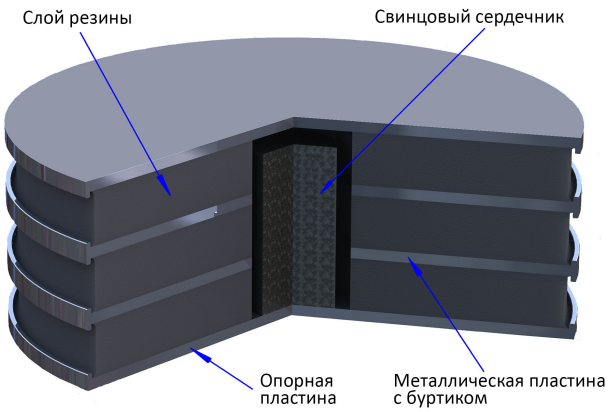


Рисунок 1 – Общий вид резинометаллической высокодемпфирующей вибро-сейсмоизолирующей опоры со свинцовым сердечником

Проектирование системы сейсмоизоляции согласно ДБН В.1.1-12:2014

Общие положения. Раздел ДБН В.1.1-12:2014 содержит общие положения по проектированию системы сейсмоизоляции зданий и сооружений различного назначения. Рассматривается пассивная система сейсмоизоляции зданий и сооружений, не требующая дополнительных источников энергии для обеспечения гашения колебаний.

Область применения. Система сейсмоизоляции применяется в сооружениях различного назначения как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих зданий. Систему сейсмоизоляции следует размещать ниже основной массы конструкций, как правило, между фундаментом и верхней частью здания (суперструктурой).

Основные требования к системе сейсмоизоляции.

Системы сейсмоизоляции должны обладать:

- высокой вертикальной жёсткостью;
- низкой сдвиговой жёсткостью для повышения эффективности сейсмоизоляции в горизонтальном направлении;
- возможностью проявления больших горизонтальных перемещений при землетрясениях;
- большой диссипацией энергии;
- ограниченными перемещениями в горизонтальном направлении при несейсмических нагрузках;
- высокой надёжностью и отсутствием возможности отказа;
- высоким уровнем защиты инженерного оборудования и исключать повреждение несущих элементов.

Основные требования при проектировании систем сейсмоизоляции

1. При проектировании системы сейсмоизоляции необходимо выполнить следующие требования:

- центр жёсткости системы сейсмоизоляции должен совпадать с центром масс надземных частей здания;
- схема расположения элементов системы в плане должна соответствовать расположению несущих элементов надземной и подземной части здания;
- места установки сейсмоопор должны располагаться равномерно с учётом конфигурации здания и распределения вертикальных нагрузок;
- упругие элементы сопротивления ветровой нагрузке и ограничители перемещений должны быть расположены по периметру здания симметрично и равномерно;
- расстояние между элементами системы сейсмоизоляции под несущими конструкциями здания не должны превышать расчётные.

2. Для обеспечения равномерного распределения горизонтальной и вертикальной сейсмической нагрузки, которой подвергаются изоляторы, над и под ними необходимо запроектировать жёсткую систему из балок. Система верхних балок должна быть жёстко связана с надземной частью сооружения.

3. Между фундаментами и верхней частью конструкцией здания должно быть предусмотрено достаточное пространство для обеспечения осмотра, технического обслуживания и замены элементов системы сейсмоизоляции.

Расстояния между сейсмическими изоляторами под несущими стенами не должны превышать 3 м. Рекомендуется размещать вертикальные сейсмоизоляторы на одном горизонтальном уровне.

Основные требования при проектировании и расчёте элементов системы сейсмоизоляции

1. Резиновые и резинометаллические элементы должны быть спроектированы и рассчитаны с учётом вертикальной и горизонтальной нагрузки, создаваемой сейсмическим воздействием и ветром, с учётом условий окружающей среды, старения резины, внешней температуры и влияния вредных веществ.

2. При проектировании должна быть выполнена проверка несущей способности элементов системы сейсмоизоляции.

3. Механические характеристики упруго-вязких элементов системы сейсмоизоляции (для случая РСБ – жёсткость резиновых блоков на сжатие и сдвиг) не должны отличаться больше чем на 5-10 %.

4. Безопасное функционирование элементов системы сейсмоизоляции необходимо оценивать при следующих положениях:

- при максимально возможных вертикальных и горизонтальных усилиях сейсмического воздействия, включая также эффекты опрокидывания;
- суммарное горизонтальное перемещение верхней части здания необходимо рассчитывать с учётом эффектов ползучести, температуры и вертикальной деформации упругих элементов.

5. Устойчивость резиновых и резинометаллических упруго-вязких элементов следует проверять при испытании блоков на горизонтальное смещение; его величина должна соответствовать проектному максимальному перемещению при сейсмическом воздействии.

Применение сейсмозащиты регламентировано европейскими и национальными нормативными документами:

- EN 1998-1:2004 Eurocode 8;
- ДБН В.1.1-12:2014 «Строительство в сейсмических районах Украины»

предусматривающие проектирование сейсмостойких конструкций с заданным уровнем обеспечения безопасности, включают в себя раздел «Проектирование систем сейсмоизоляции».

Сейсмическая защита – повышение сейсмостойкости зданий и сооружений с использованием специальных конструктивных элементов для способности противостоять расчётному сейсмическому воздействию без полного разрушения и с минимальными человеческими жертвами.

Сейсмическая защита позволяет:

- обеспечить сохранность зданий и сооружений при землетрясениях и техногенных воздействиях;
- снизить сметную стоимость строительства;
- уменьшить материалоёмкость зданий и сооружений;

- снизить трудоёмкость строительства;
- расширить область применения типовых серий путём застройки районов с повышенной сейсмичностью, увеличения высоты здания при использовании тех же конструкций.

Результаты численных и экспериментальных исследований

Для практического применения систем сейсмоизоляции зданий Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины и ГП НИИСК были выполнены экспериментальные исследования для обоснования параметров РСБ, запатентованы их конструкции, разработана конструкторская документация и изготовлены экспериментальные образцы трёх типов резинометаллических сейсмозащитных блоков диаметром 400 мм и 500 мм и общей высотой резинового слоя: 2×120 мм, 2×70 мм и 2×50 мм (рис. 2). Экспериментальные образцы и промышленные РСБ были изготовлены предприятием ООО «Монодит» из средненаполненной резины.

а – сейсмозащитный блок 1-го типа (высота резиновых элементов 2×50 мм, диаметр 500 мм)

б – сейсмозащитный блок 2-го типа (высота резиновых элементов 2×70 мм, диаметр 400 мм)

Рисунок 2 – Общий вид конструкций РСБ на натуральном каучуке, выпускаемых в Украине

Для экспериментального определения фактических жесткостных и демпфирующих характеристик РСБ были проведены в ГП НИИСК лабораторные испытания трёх типов разработанных конструкций при статических и динамических нагрузках в соответствии с требованиями Еврокода 8, европейского и международного стандартов [3].

Испытания РСБ проводились в два этапа: сначала динамические – определение частот колебаний и демпфирующих характеристик опор, а затем статические – определение жесткостных характеристик опор на сжатие и сдвиг.

При динамических испытаниях на четырёх одинаковых РСБ устанавливался железобетонный блок массой 5100 кг. Колебания блока в горизонтальной и вертикальной плоскостях задавались специальным устройством и регистрировались восьмиканальной системой сейсмомониторинга и двухканальным спектроанализатором марки 2148 фирмы «Брюль и Къер» (Дания).

На основе инструментальных записей сигналов виброускорений при собственных колебаниях динамической системы «бетонный блок-РСБ» определены динамические вертикальная и горизонтальная (сдвиговая) жёсткости и параметры затухания испытанных РСБ.

При статических испытаниях опор на сжатие нагружение осуществлялось гидравлическими домкратами ступенями по 50-300 кН на специальном стенде (рис. 3) и на прессе ступенями до максимальной нагрузки 9000 кН, в зависимости

от типа опоры с выдержкой 5 мин на каждой ступени, после чего снимались показания вертикальных перемещений.

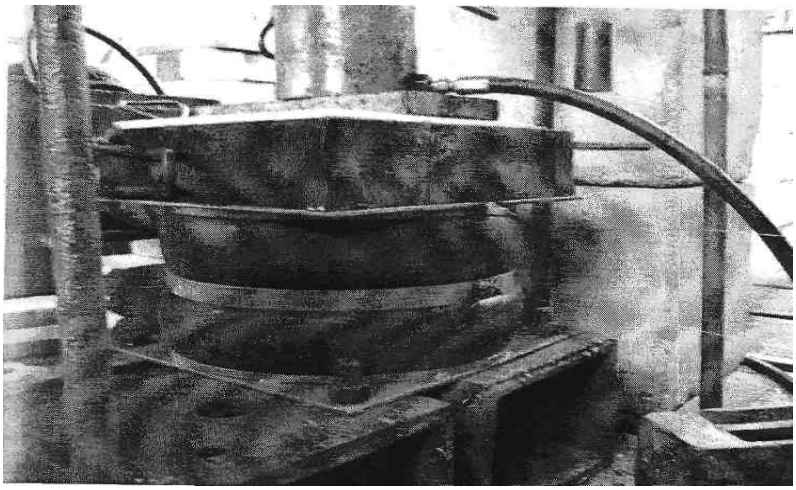


Рисунок 3 – Испытания РСБ на сжатие на специальном стенде

Испытания опор на сдвиг проводились на специальном стенде, оборудованном гидравлическими домкратами для создания вертикальных и сдвиговых нагрузок. Измерения сдвиговых перемещений верха сейсмоопоры выполнялись при вертикальных нагрузках 300; 500; 600; 1000 кН. Для возможности горизонтальных перемещений сейсмоопоры на сдвиг при фиксированных вертикальных нагрузках между верхней пластиной опоры и нагрузочной плитой были установлены две фторопластовые пластины. При обработке данных учитывались изменения коэффициента трения между пластинами в зависимости от вертикального давления на опору.

С целью определения влияния свинцового сердечника на жесткостные и демпфирующие характеристики РСБ (испытывались резиновые элементы диаметром 500 мм) были проведены циклические испытания на сжатие и на сдвиг двух опор без свинцовых сердечников и двух – со свинцовыми сердечниками. Сердечники были изготовлены в виде сплошных цилиндров высотой 100 мм и диаметром 70 мм (14 % от диаметра резинового элемента опоры).

На рис. 4 приведены зависимости «горизонтальная нагрузка – перемещение» для РСБ (резиновые элементы диаметром 500 мм) со свинцовым сердечником (кривая 1) и без сердечника (кривая 2) при вертикальной нагрузке на опору 1000 кН. Анализ графиков показывает, что наличие свинцового сердечника существенно влияет на жесткостные и диссипативные характеристики РСБ при сдвиге.

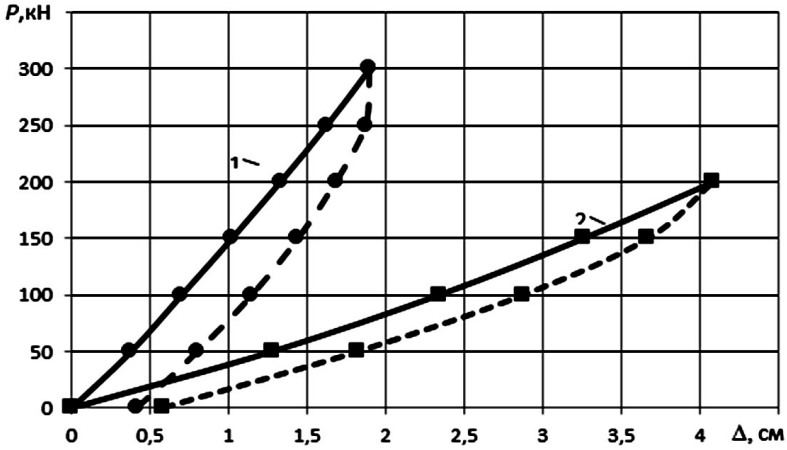


Рисунок 4 – Зависимости «нагрузка – перемещение» для РСБ диаметром 500 мм

Испытания опор на сжатие выполнены для трёх типов опор – диаметр 400 мм, высота: 2×70 мм и 2×120 мм; диаметр 500 мм, высота 2×50 мм.

В соответствии с требованиями стандарта ISO и европейского стан-

дарта для определения состояния конструкции РСБ при вертикальных максимальных нагрузках, превышающих проектные в 4 раза, один образец РСБ (вариант со средней рифлёной пластиной без кольца и без сердечника) был испытан циклическими вертикальными нагрузками на прессе по такой специальной программе: 3 полуцикла «нагрузка-разгрузка» ступенями по 300 кН (выдержка на каждой ступени 5 минут) до 3000 кН; 2 полуцикла «нагрузка-разгрузка» ступенями по 500 кН (выдержка на каждой ступени 2 минуты) до 5000 кН; 1 полуцикл «нагрузка-разгрузка» ступенями по 1000 кН (выдержка на каждой ступени 5 минут) до 9000 кН.

При сжимающих многоцикловых нагрузках от 3000 кН до 9000 кН после полной разгрузки РСБ в течение 10 минут резиновые элементы полностью принимали первоначальную форму. При этом трещины ни в одном из 12-ти испытанных резиновых элементов, изготовленных на натуральном каучуке, не обнаружены.

Технические решения и монтаж РСБ

Сейсмоизолирующие блоки изготавливаются на основе стандартных резиновых элементов заданных размеров (в Украине были испытаны РСБ с диаметрами резиновых элементов от 400 мм до 500 мм, которые использовались при устройстве сейсмоизоляции многоэтажных зданий).

По результатам расчёта сейсмоизолированного здания на сейсмические нагрузки определяются геометрические параметры резиновых элементов, жёсткость на сжатие и на сдвиг РСБ. Сейсмоизолирующие блоки устанавливаются между нижней фундаментной плитой (например, на её рёбрах жёсткости) и верхней монолитной железобетонной распределительной плитой здания (рис. 5). Возможны варианты установки РСБ в уровне цокольного этажа, а также на оголовках свай. Нижняя опорная пластина с помощью анкеров крепится к рёбрам жёсткости фундаментной плиты или к оголовку сваи, а верхняя опорная пластина – к верхней распределительной железобетонной плите здания или к монолитным стенам цокольного этажа здания.

Заключение

1. Суммарные горизонтальные сейсмические нагрузки в уровне перекрытий крупнопанельных 10-этажных зданий с сейсмоизоляцией меньше до 2-х раз по сравнению с типовым решением (при отсутствии изоляции). Устойчивость здания против опрокидывания с учётом сейсмических нагру-

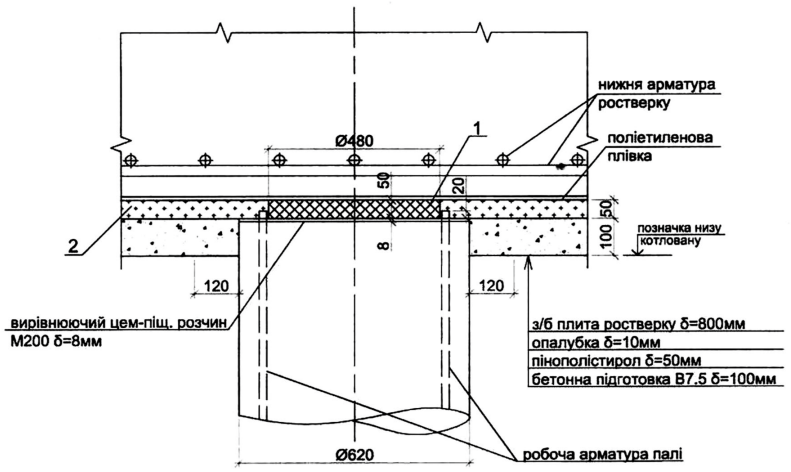


Рисунок 5 – Схема размещения РСБ на свае системы виброизоляции секций № 1 и № 2 жилого дома по ул. Киквидзе в г. Киеве

зок обеспечена (удерживающий момент больше опрокидывающего в 2,2 раза).

2. Процент армирования несущих стен зданий на нижних этажах с сейсмоизоляцией уменьшается в 1,5…2,0 раза по сравнению с вариантом отсутствия сейсмоизоляции. Эти данные подтверждают эффективность применения сейсмоизоляции для рассмотренных объектов проектирования – жилых домов высотой от 9 до 27 этажей.

3. Разработанные и испытанные конструкции РСБ были использованы в 2014-2017 годах для сейсмозащиты и виброзащиты (от поездов метрополитена и автотранспорта) жилых домов в г. Киеве: 10-секционного 10-этажного жилого дома по ул. Киквидзе и двух 27-этажных жилых домов по Оболонскому проспекту (рис. 6).

Рисунок 6 – Общий вид строящихся 27-этажных жилых домов по Оболонскому проспекту в г. Киеве с системой виброизоляции (расположением на расстоянии 100 м от линии метрополитена мелкого заложения)

4. Сейсмоизоляция на основе РСБ обеспечивает собственную частоту колебаний здания в горизонтальной плоскости 1 Гц и менее, что соответствует требованиям ДБН и Еврокода 8 к проектированию систем сейсмоизоляции зданий. Следует отметить, что разработанные конструкции РСБ могут быть также использованы для защиты зданий и сооружений от воздействий наземного (железнодорожного и автомобильного транспорта), подземного (метрополитена), а также для виброизоляции тяжёлых машин различного технологического назначения для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будівництво у сейсмічних районах України. ДБН В.1.1-12:2014. [Чинний від 2014-10-01] / – К: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.

2. Пат. № 58418 UA МПК (2011.01) F16F 1/36 (2006.01) F16F 3/00. Антисейсмічна опора / В.І. Дирда, Ю.І. Немчинов, М.І. Лисиця, М.Г. Мар'єнков, А.М. Пугач, Л.О. Жарко. – u201011644; заявл. 30.09.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.

3. Исследование систем вибро- и сейсмоизоляции зданий на основе резинометаллических блоков / Ю.И. Немчинов, Н.Г. Марьенков, Л.А. Жарко, А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Н.И. Лисица // Будівельні конструкції. Будівництво в сейсмічних районах України. – Київ: ДП НДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 176-194.

REFERENCES

1. Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrayiny (2014), *DBN V.1.1-12:2014. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh Ukrainy* [SCN V.1.1-12:2014. Construction in seismic regions of Ukraine], Ukraine.

1. Dyrda, V.I., Nemchinov, Yu.I., Lysytsia, M.I., Marienkov, M.H., Puhach, A.M. and Zharko, L.O. *Antiseismichna opora* [Antiseismic bearing support], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 58418.

2. Nemchinov, Yu.I., Marienkov, M.G., Zharko, L.O., Bulat, A.F., Dyrda, V.I. and Lysytsia, N.I. (2015) "Research of vibration and seismic isolation systems of buildings on the basis of rubber blocks", *Budivelni konstruktciї. Budivnitctvo v seismichnikh raionakh Ukraini*, no. 82, pp. 176-194.

Об авторах

Булат Анатолий Фёдорович, Академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, office.igtm@nas.gov.ua

Дырда Виталий Илларионович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, vita.igtm@gmail.com

Лисица Николай Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, vita.igtm@gmail.com

Немчинов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, зам. директора по научной работе, Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций», Киев, Украина, niisk-office@ndibk.gov.ua

Марьенков Николай Григорьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом автоматизации исследований и сейсмостойкости зданий и сооружений, Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций», Киев, Украина, n.maryenkov@ndibk.gov.ua

Козуб Юрий Гордеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий производства и профессионального образования, Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко (ЛНУ им. Тараса Шевченко), Луганск, Украина, kosub@rambler.ru

Немченко Виталий Владимирович, инженер, директор ООО «Монодит», Днепр, Украина, monodit@list.ru

Голубь Леонид Алексеевич, инженер, главный инженер ООО «Монодит», Днепр, Украина, monodit@list.ru

About the authors

Bulat Anatoly Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, office.igtm@nas.gov.ua

Dyrda Vitaly Illarionovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Lisitsa Nikolay Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Nemchinov Yuriy Ivanovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Deputy Director of the institute, Professor, State Enterprise Research Institute of Building Constructions (SE RIBC), Kiev, Ukraine, niisk-office@ndibk.gov.ua

Maryenkov Nikolay Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Head of Department of Research Automation and Seismic Stability of Buildings and Constructions, State Enterprise Research Institute of Building Constructions (SE RIBC), Kiev, Ukraine, n.maryenkov@ndibk.gov.ua

Kozub Yuriy Gordeyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Associate Professor in Department of Technology of Production and Trade Education, Luhansk Taras Shevchenko National University (LTSNU), Lugansk, Ukraine, kosub@rambler.ru

Nemchenko Vitaliy Vladimirovich, Master of Science, Director of "Monodit" LLC, Dnipro, Ukraine, monodit@list.ru

Golub Leonid Alexeevich, Master of Science, Chief Engineer of "Monodit" LLC, Dnipro, Ukraine, monodit@list.ru

Анотація. Розглядається основна концепція вібросейсмоізоляції важких гірських машин, будівель і споруд на основі використання гумових сейсмоблоків (РСБ). Концепція сейсмічної ізоляції споруд є досить актуальною. В Японії, Нової Зеландії, Франції, Греції, Англії, США і низці інших країн вона успішно використана для захисту від землетрусів таких важливих споруд як атомні електростанції, школи, мости, музеї, адміністративні і житлові будівлі. Найбільшого поширення набули сейсмоізоляційні системи, що включають гумові блоки і механічні запобіжники. У цих же країнах опубліковані і основні наукові статті без приведення аналітичних розрахунків і технологічних особливостей виготовлення елементів. В Україні концепція розвивалася двома шляхами: розробка сейсмоізоляційних блоків для захисту від землетрусів житлових будинків; розробка віброізоляційних блоків для захисту від вібрацій важкого устаткування (вага до 300 т, використано в Росії, Україні) та житлових будівель. Для практичного застосування систем сейсмоізоляції будівель Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України та ДП НДІБК були виконані експериментальні дослідження для обґрунтування параметрів РСБ, запатентовані їх конструкції, розроблено конструкторську документацію та виготовлено експериментальні зразки трьох типів гумовосейсмічних захисних блоків діаметром 400 мм і 500 мм і загальною висотою гумового шару: 2×120 мм, 2×70 мм і 2×50 мм. Викладено результати статичних і динамічних випробувань параметричного ряду РСБ для захисту житлових будинків від вібрацій. Розглядається конструкція палі з віброізолюючий гумовими опорами. Розроблені і випробувані конструкції РСБ були використані для віброзахисту від поїздів метрополітену та автотранспорту житлових будинків в м Києві: 10-секційного 10-поверхового житлового будинку по вул. Кіквідзе і двохсекційного 27-поверхового будинку по Оболонському проспекту. Вібросейсмоізоляція за допомогою РСБ забезпечує власну частоту коливань будівлі в горизонтальній площині менше 1 Гц, що відповідає вимогам ДБН та єврокодів 8 до проектування систем сейсмоізоляції будівель.

Ключові слова: віброізоляція, сейсмоізоляція, гумометалеві блоки, палі з гумометалевими блоками.

Abstract. The basic concept of vibroseismic isolation of heavy mining machines, buildings and structures is considered in view of the rubber seismic blocks (RSB) use. The concept of seismic insulation of structures is very relevant. In Japan, New Zealand, France, Greece, England, the USA and in number of other countries, it is successfully used for protecting against earthquakes such important facilities as nuclear power plants, schools, bridges, museums, administrative and residential buildings. The most widespread are seismic isolation systems, including rubber blocks and mechanical protectors. In the countries above, the main scientific articles were published, however, without any analytical calculations and technological specificities of the element manufacture. In Ukraine, the concept was developed in two directions: designing of seismic isolation blocks for protection of residential buildings against earthquakes; and designing of vibration isolation blocks for protection against heavy equipment (with weight up to 300 tons being in use in Russia, Ukraine) and structures vibration. With the view of practical application of the seismic isolation systems in buildings, the N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under National Academy of Science of Ukraine and the state-owned enterprise NIISK conducted experimental studies the objectives of which were to: substantiate the RSB parameters; patent the blocks design; work out the design documentation; and manufacture experimental samples of three types of the seismic rubber blocks with diameters 400 mm and 500 mm and total height of the rubber layer: 2×120 mm, 2×70 mm and 2×50 mm. The results of static and dynamic tests of the RSB parametric series for protection of residential buildings against vibrations are presented. Studyi of a design of the pile with vibration-proof rubber supports is in the process. The designed and tested structures of the RSBs were used for protection of the following residential buildings in the city of Kiev: the 10-section 10-storey residential building in the Kikvidze street and the two-section 27-storey building in the Obolonsky avenue – against vibrations caused by motor vehicles and underground trains. The vibroseismic insulation with the RSBs creates natural frequency of the building horizontal oscillation less than 1 Hz, which corresponds to the requirements of the State Construction Regulations and Eurocode 8 concerning the design of seismic insulation systems for the buildings.

Keywords: vibration isolation, seismic isolation, rubber-metal blocks, piles with rubber-metal blocks

Статья поступила в редакцию 08.05. 2017
Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко