

**Г. Н. ВАХРИНА**  
заведующий ЛССИМС

**М. Р. ЧУПАНОВ**  
старший научный сотрудник ЛССИМС

**И. Р. ГИЗЯТУЛЛИН**  
инженер ЛССИМС

АО «НИЦ «Строительство», ЦИСС ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко

УДК 624.042.7

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЗДАНИЯ ПРИ РЕАЛЬНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*В процессе работы по мониторингу за динамическим поведением зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, Центром исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко была осуществлена установка станций динамического мониторинга в Камчатском крае.*

*За период эксплуатации станций произошло одно землетрясение магнитудой 7,7 и эпицентром в 200-х километрах от населенного пункта Никольское.*

**Ключевые слова:** мониторинг, сейсмоизоляция, резинометаллическая опора (РМО), спектр ускорений, акселерограмма.

**Е**жегодно мир потрясают новости о сильных землетрясениях, катастрофических обрушениях зданий и сооружений, влекущих за собой гибель людей.

Примерно 20% территории Российской Федерации относится к сейсмоактивным районам, при этом часть территорий подвержена чрезвычайно опасным 8-10 бальным землетрясениям. Сейсмически опасные районы РФ включают в себя территории Сахалинской области, Дальнего Востока, Северного Кавказа, побережья Черного моря, южной части Восточной Сибири и др.

Некоторая часть из этих территорий особо привлекательна для их освоения, поскольку обладает богатыми запасами природных ископаемых, другая часть территорий представляет собой зоны активного отдыха населения. Несмотря на труднодоступность, сейсмическую опасность, сложные грунтовые и климатические условия, строительство зданий и сооружений в сейсмоактивных районах активно развивается.

Совершенствование теории расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия, а также использование систем сейсмозащиты нуждается в апробации их на практике, в связи с чем остаются актуальными вопросы исследования поведения зданий и сооружений в условиях реальных сейсмических воздействий.

Такие исследования проводятся Центром Исследований Сейсмостойкости Сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». На сегодняшний день в Камчатском крае установлены 4 активные станции сейсмометрического мониторинга. Такие станции динамического мониторинга актуальны, в первую очередь, для больниц, т.к. очень важно в первые часы землетрясений иметь информацию об их состоянии для быстрого принятия решения об эвакуации людей или возможности принять пострадавших при стихийном событии.



Рисунок 1 — Общий вид административного блока



Рисунок 2 — Общий вид установленных резинометаллических опор

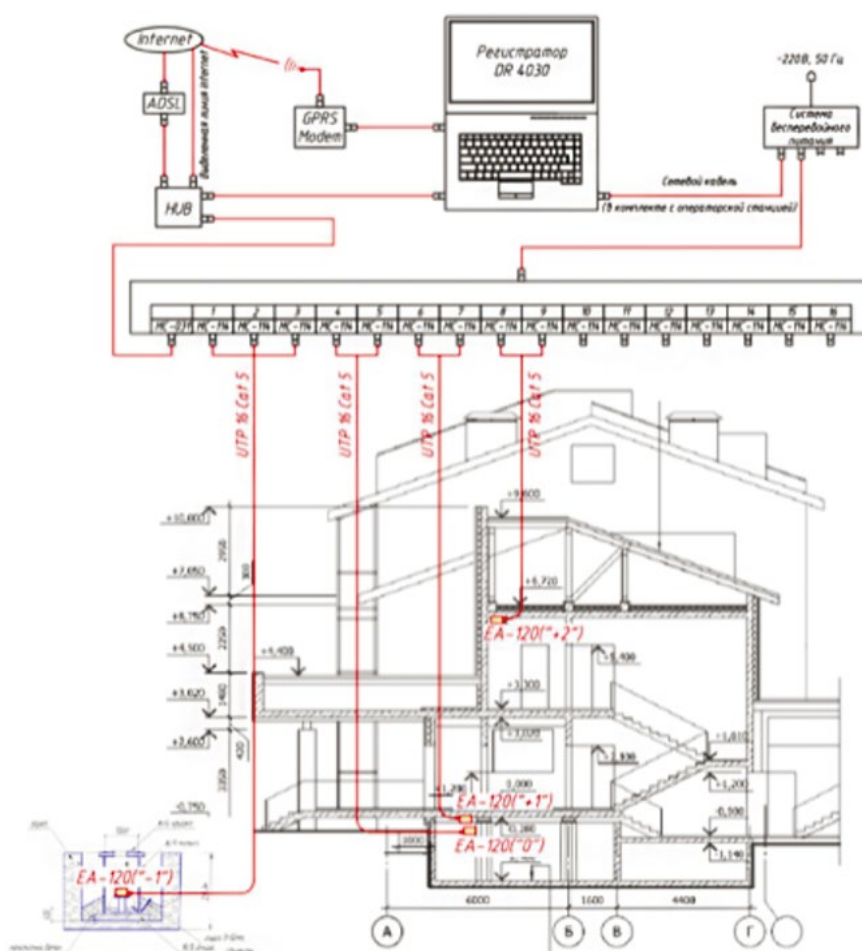


Рисунок 3 — Блок-схема станции динамического мониторинга и расположение датчиков ускорений

В настоящей статье приведен анализ динамического поведения здания «Пост береговой охраны «Никольский» с сейсмоизоляцией в виде резинометаллических опор (РМО) в результате реального сейсмического воздействия интенсивностью 4-5 баллов по шкале MSK-64, зарегистрированно в селе Никольское 17 июля 2017 года.

Здание поста береговой охраны «Никольский» состоит из трех блоков: административный блок, жилой блок и гараж. Здание имеет сложную П-образную форму в плане. Каждый блок разделен антисейсмическим швом. Станция

динамического мониторинга располагается в административном блоке.

Административный блок – двухэтажное здание прямоугольной формы в плане, с размерами в цифровых осях 15,6 м, в буквенных осях 12 м. Высота этажей 3,3 м. В здании имеется цокольный этаж. Высота цокольного этажа 2,4 м.

В конструктивном отношении здание выполнено перекрестно-стеновой конструктивной системой с несущими наружными и внутренними стенами из монолитного железобетона. Устойчивость каркаса обеспечивается совместной



**Рисунок 4** — Общий вид колодца для грунтового датчика ускорений



**Рисунок 5** — Общий вид датчиков ускорений в уровне «0», «+1»



**Рисунок 6** — Внешний вид операторской станции

работой монолитных перекрестных стен и монолитных плит перекрытий с жесткими узлами сопряжения элементов.

Наружные и внутренние несущие стены выполнены толщиной 200 мм, монолитные перекрытия – толщиной 200мм. Перегородки кирпичные толщиной 120 мм. Теплоизоляция наружных стены выполнена утеплителем толщиной 120 мм.

Кровля – двускатная стропильной конструкции с покрытием из металлочерепицы. Утепление чердачного перекрытия выполнено минераловатными плитами в два слоя: нижний слой толщиной 100 мм, верхний слой толщиной 50 мм.

Система сейсмоизоляции в административном блоке принята в виде резинометаллических опор со свинцовыми сердечниками (GZY-350-V5A). Общий вид установленных опор представлен на рисунке 2.

Станция динамического мониторинга представляет собой устройство, обеспечивающее получение достоверной информации об интенсивности колебаний зданий и сооружений, а также прилегающих участков грунта при сейсмических воздействиях.

Опорные точки регистрации ускорений колебания здания располагаются в нескольких характерных уровнях.

*Уровень «-1»* – грунтовой датчик ускорений, необходим для регистрации неискаженных сейсмических волн, подходящих к сооружению.

*Уровень «0»* – низ резинометаллической опоры» (отм.-



**Рисунок 7** — Очаговая область землетрясения

1 – эпицентр Ближне-Алеутского землетрясения; 2 – форшоки; 3 – область форшоков, зарегистрированных 17.07.2017 г.; 4 – сильнейшие афтершоки с  $M \geq 5.0$  (с привлечением данных NEIC); 5 – очаговая область по облаку афтершоков, зарегистрированных в течение одного месяца после основного события; 6 – диаграммы механизмов очагов в равноплощадной проекции нижней полусферы; 7 – векторы косейсмической подвижки GNSS-пунктов

0.440), необходим для регистрации сейсмических волн, подходящих к системе сейсмоизоляции.

*Уровень «+1»* – верх резинометаллической опоры» (отм.-0.280), необходим для регистрации сейсмических волн на выходе из системы сейсмоизоляции.

*Уровень «+2»* – низ чердачного перекрытия» (отм.+6.320), необходим для регистрации сейсмических волн в уровне верха здания.

На рисунке 3 приведена блок-схема станции и расположение датчиков ускорений.

Установленные в точках регистрации датчики преобразуют физические параметры, обусловленные внешними динамическими воздействиями, в электрические сигналы. Данные сигналы передаются по кабелям FTP на установленные в приборе DR-4030, и далее, через объединительную кросс-плату, к управляющему модулю. От модуля по локальной сети сигнал поступает на операторскую станцию.

Установленная на операторской станции программа «Recorder» регистрирует поступающие сигналы и преобра-

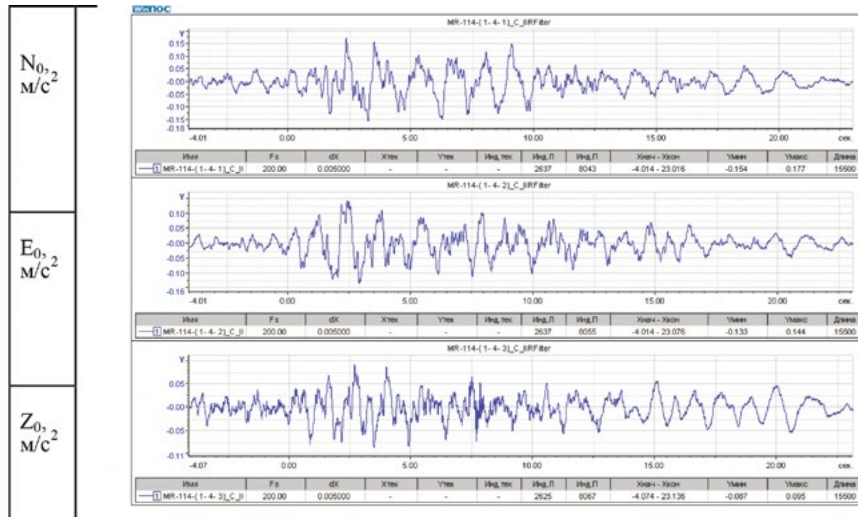


Рисунок 8 — Записи ускорения колебаний на грунте в диапазоне частот от 0,5 до 30 Гц

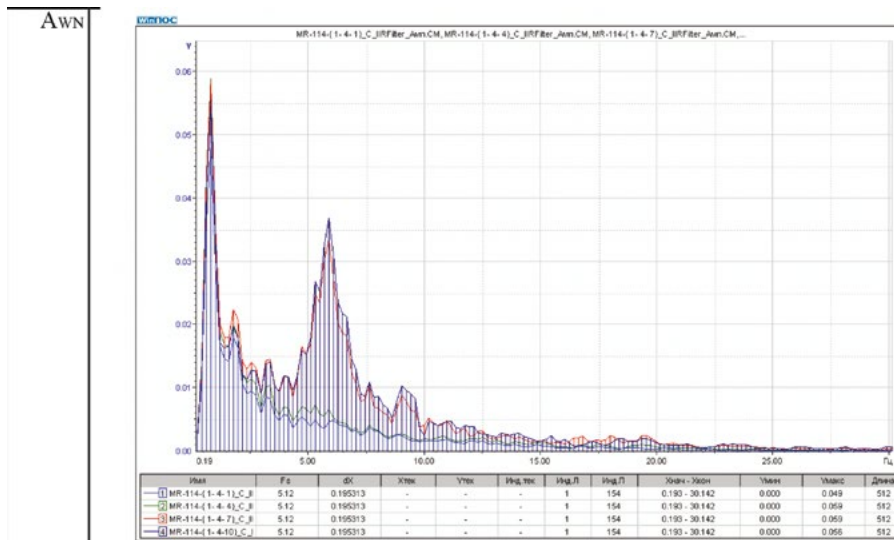


Рисунок 9 — Спектры ускорения горизонтальных колебаний в направлении N: 1 – на грунте, 2 – под РМО, 3 – над РМО и 4 – на чердачном перекрытии

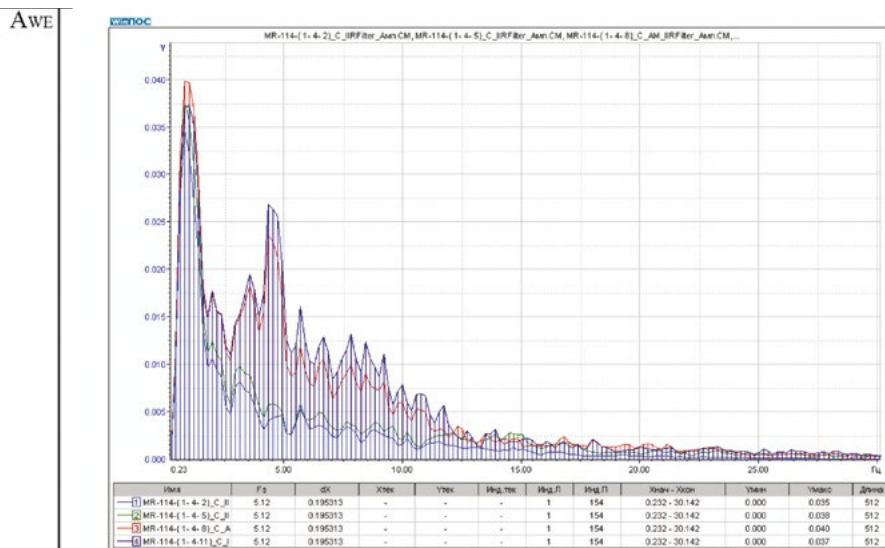
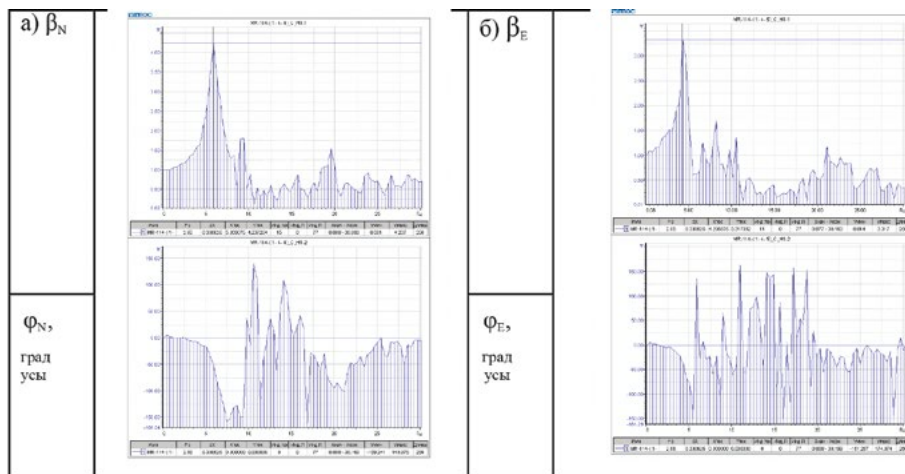
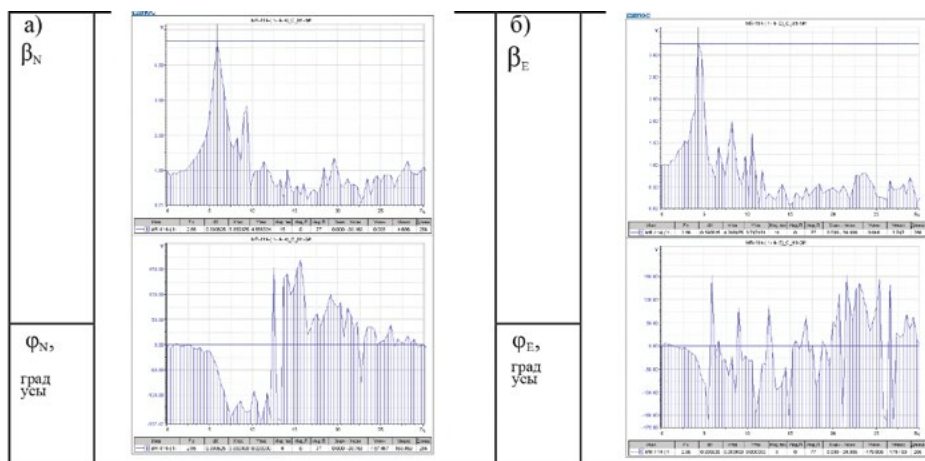


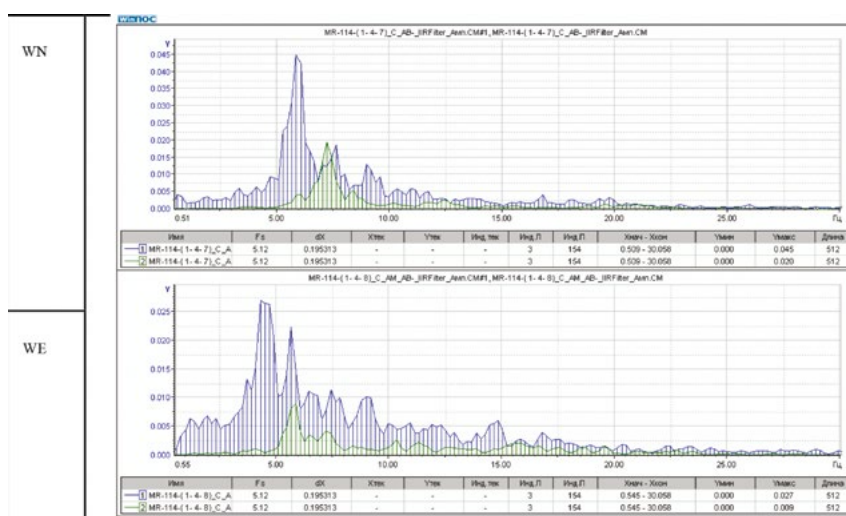
Рисунок 10 — Спектры ускорения горизонтальных колебаний в направлении E: 1 – на грунте, 2 – под РМО, 3 – над РМО и 4 – на чердачном перекрытии



**Рисунок 11**— Передаточные функции (модуль и фаза) горизонтальных колебаний с нижнего уровня на верхний уровень РМО в направлениях N (а) и E (б)



**Рисунок 12**— Передаточные функции (модуль и фаза) горизонтальных колебаний для системы «фундамент – перекрытие чердака» в направлениях N (а) и E (б)



**Рисунок 13**— Спектры ускорения горизонтальных колебаний верхнего уровня РМО по отношению к его нижнему уровню полученные по фрагменту записи длиной 9,7 сек: 1 – от начала основных колебаний (от  $T = 0,236$  сек); 2 – до начала основных колебаний (колебания от воздействия микросейсм).

зует эти сигналы в конкретные физические параметры (ускорения, перемещения). В этой же программе производится сравнение измеренных параметров с установленными предельными и недостоверными значениями. Если показания датчика, установленного на грунте, превышают установленные для него предельные значения ( $0,1\text{ м/с}^2$ ), станция переходит в режим регистрации.

В понедельник 17 июля 2017 года в 23:34 по Гринвичу (18 июля в 11:34 по местному времени) было зафиксировано землетрясение магнитудой  $M_w=7,8$  (широта  $54.352^\circ\text{с.ш.}$ , долгота  $168.897^\circ\text{в.д.}$ ) у побережья Командорских островов.

Данное землетрясение произошло в результате процесса субдукции на границе плиты Тихого океана и Северной Америки в северо-западной части Тихого океана или вблизи нее. Землетрясению предшествовал форшок  $M 6.3$  примерно на 12 часов раньше и в 15 км к северо-востоку. В течение 2,5 часов после основного землетрясения  $M 7.8$  были зарегистрированы десятки афтершоков  $M 4,4$ . Очаг землетрясения был зарегистрирован на глубине 11 км. Эпицентр землетрясения находился в 200 км к юго-востоку от п. Никольское, расположенного на о. Беринга, где интенсивность сотрясений достигала VI баллов по шкале MSK-64. Оценки параметров сейсмического события были выполнены в РИОЦ «Петропавловск» КФ ФИЦ ЕГС РАН [5].

Очаговая область землетрясения представлена на рисунке 7.

На станции динамического мониторинга были получены инструментальные записи указанного землетрясения. На записях разработанного аппаратного комплекса весь сигнал сосредоточен в интересующем нас спектральном диапазоне от 0,5 до 30 Гц, остальные составляющие отфильтрованы и ослаблены до незначительного уровня.

На рисунке 8 приведена запись горизонтальных (N, E) и вертикальных (Z) ускорений колебаний грунтового датчика. Максимальное ускорение в горизонтальном направлении составило  $15\text{ см/с}^2$ , в вертикальном  $8,4\text{ см/с}^2$ . Такое значение ускорения соответствует расчетной сейсмичности порядка 4-5 баллов.

Результаты обработки выполнены на основе интерпретации сейсмометрических данных, включая гармонический, корреляционный анализы, определение амплитудных спектров Фурье.

На рисунках 9, 10 приведены амплитудные спектры мощности относительных горизонтальных ускорений в направлениях N, E.

В спектре колебаний здания по направлению E (рис. 10) обозначился пик на частоте 4,30 Гц, в спектре колебаний здания по направлению N (рис. 9) преобладающий пик на частоте 5,66 Гц. Данные частоты находятся в диапазоне наиболее вероятной частоты собственных колебаний для данного типа здания.

Пиковые частоты (около  $\sim 1,1$  Гц), наблюдаемые в спектрах ускорений, вероятно, являются микросейсмами. При больших амплитудных движениях с более высоким отношением сигнал / шум, ожидается снижение низкочастотных амплитуд.

При построении передаточных функций пики на частотах 4,3 и 5,66 Гц также прослеживаются (рис. 11, 12)

На рисунке 13 приведены спектры ускорения горизонтальных колебаний верхнего уровня РМО по отношению к его нижнему уровню на разных фрагментах записи. На графиках видно, при основных колебательных воздействиях происходит сдвиг частотного пика влево по отношению к колебательным воздействиям от микросейсм. Это говорит о том, что, несмотря на незначительную амплитуду колебаний, сейсмоизоляция включается в работу системы, при этом оценить эффективность работы на низких амплитудах колебаний достаточно сложно.

## Выводы

1. Собственная частота здания по результатам мониторинга близка к 4,3 Гц и находится в пределах ожидаемой величины.
2. Максимальные значения ускорений колебаний несущих конструкций здания незначительны по своей величине. Ускорения колебаний такого уровня не могут вызвать появление каких-либо повреждений в конструкциях здания, при этом такие воздействия помогают оценить и настроить работу инженерно-сейсмометрической станции.
3. Система динамического мониторинга позволяет собирать и анализировать данные по поведению здания в условиях реальных сейсмических воздействий.

## Литература

1. Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быховский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. Изд-во литературы по строительству. М., 1968. 191с.
2. Поляков С.В. К оценке спектрального состава колебаний сооружений при землетрясениях по данным зарубежных исследований и норм. Сб. «Строительная механика и расчет сооружений» М., 1978. №2. С. 12-14.
3. Смирнов В.И. Применение инновационных технологий сейсмозащиты зданий в сейсмических районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2009. № 4. С. 16-21.

4. Смирнов В.И., Никитина В.А. Демпфирование как элемент сейсмозащиты сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 4. С. 44-47.
5. Чебров Д. В. [и др.]. Сильные землетрясения на Камчатке в 2016-2017 гг. // Сборник трудов Шестой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. 2017. С. 89-96.
6. Смирнов В.И., Бубис А.А., Юн А.А., Петряшев С.О., Петряшев Н.О. Методика расчета здания на сейсмическое воздействие с

системой сейсмоизоляции//Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 3. С. 17-20.

7. Бубис А.А., Юн А.А., Петряшев С.О., Петряшев Н.О. Методика расчета здания с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012. № 2. С. 31-35.

Материалы хранятся по адресу:  
109128, г. Москва, ул. 2-я институтская, 6, корп. 37  
ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко  
АО «НИЦ Строительство»

VAKHRINA G., Head of Laboratory JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK  
CHUPANOV M., Research Officer, JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK  
GIZYATULLIN I., Engineer, JSC Research Center of Construction, CREE V.A. Kucherenko TSNIISK

## ANALYSIS OF DYNAMIC REACTION OF THE BUILDING AT ACTUAL SEISMIC INFLUENCE

### Abstract

In compliance with amount of works on monitoring of dynamic behavior of buildings and constructions in seismodangerous areas the CREE TSNIISK named after V.A. Kucherenko carried out of installation work of station of dynamic monitoring in Kamchatka region.

During operation of stations there was one earthquake measuring 7,7 and epicenter in the 200th kilometers from the settlement of Nikolskoye.

**Keywords:** monitoring, seismic isolation, elastomeric isolators, acceleration spectrum, accelerogram.

### References

1. Medvedev S.V., Karapetian B.K., Bikhovski V.A. Seismicheskie vozdeistviia na zdaniia i sooruzheniia [Seismic impacts on buildings and constructions]. Izd-vo literatury po stroitel'stvu. M., 1968. 191 p. (In Russian).
2. Poliakov S.V. K otsenke spektral'nogo sostava kolebanii sooruzhenii pri zemletriaseniakh po dannym zarubezhnikh issledovaniu i norm [To assessment of a spectral distribution of fluctuations of constructions at earthquakes according to foreign researches and norm]. Sb. «Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii» M., 1978. No. 2. Pp. 12-14. (In Russian).
3. Smirnov V.I. Primenenie innovatsionnykh tekhnologii seizmozashchity zdaniu v seismicheskikh raionakh [Application of Innovative Technologies of Seismoisolation of Buildings in Seismic Zone] // *Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2009. No. 4. Pp. 16-21. (In Russian).
4. Smirnov V.I., Nikitina V.A. Dempfirovanie kak element seizmozashchiti sooruzhenii [Seismoisolation Structures Using Dampers] // *Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2007. No. 4. Pp. 44-47. (In Russian).
5. Chebrov D. V. [i dr.]. Sil'nye zemletriaseniia na Kamchatke v 2016-2017 gg. [The strong earthquakes on Kamchatka in 2016-2017's] // V sb. trudov Shestoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii». Petropavlovsk-Kamchatskii. 2017. Pp. 89-96. (In Russian).
6. Smirnov V.I., Bubis A.A., Iun A.Ia., Petriyshev S.O., Petriyshev N.O. Metodika rascheta zdaniia na seismicheskoe vozdeistvie s sistemoi seizmoizolatsii [Design Procedure of a Building with Seismic Isolation System for Seismic Impact] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2012. № 3. Pp. 17-20. (In Russian).
7. Bubis A.A., Iun A. Ia., Petriiashev S.O., Petriiashev N.O. Metodika rascheta zdaniia na seismicheskoe vozdeistvie s sistemoi seizmoizolatsii v vide rezinimetallicheskih opor [Methods of Dessign of Buildings with a Seismoisolating Sistem in the Form of Metal-Ribber Support] // *Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety] 2012. № 2. Pp. 31-35. (In Russian).

**Для цитирования:** Вахрина Г.Н., Чупанов М.Р., Гизятуллин И.Р. Анализ динамической реакции здания при реальном сейсмическом воздействии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 2. С. 39-45.

**For citation:** Vakhrina G.N., Chupanov M.R., Gizyatullin I.R. Analysis of dynamic reaction of the building at actual seismic influence. *Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 2, pp. 39-45. (In Russian).

24-30 июня 2018 года

в г. Бишкек и в Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан состоится

## ВТОРАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ.

Научно-практическая Конференция призвана привлечь к диалогу специалистов, экспертов и всех заинтересованных лиц к вопросу формирования единого пространства и разработке эффективных подходов повышения сейсмической безопасности.

В Конференции примут участие крупные ученые и ведущие специалисты в области сейсмостойкого строительства из Кыргызстана, России, Казахстана, Азербайджана, Узбекистана, Таджикистана, Китая и других стран.

Заявки для участия в работе Конференции принимаются до 30 мая, тезисы докладов – до 10 июня 2018 года.

2018.iaeee.kg