

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ

Марьенков Н.Г., Богдан Д.В., Дунин В.А.

ГП "Государственный научно-исследовательский институт
строительных конструкций"
г. Киев, Украина

АНОТАЦІЯ: Проведено дослідження поведінки будівлі з несучим металевим каркасом при землетрусах 7...9 балів. Виконані динамічні натурні та розрахункові дослідження. Розрахунком підтверджено сейсмостійкість несучих металевих конструкцій будівлі. Для експериментальної оцінки розроблена методика та проведені випробування двох натурних фрагментів.

АННОТАЦИЯ: Проведено исследование поведения здания с несущим металлическим каркасом при землетрясениях 7...9 баллов. Выполнены динамические натурные и расчетные исследования. Расчетом подтверждена сейсмостойкость несущих металлических конструкций здания. Для экспериментальной оценки разработана методика и проведены испытания двух натуральных фрагментов.

ABSTRACT: A study of a building's behavior with steel bearing frame under earthquakes 7...9 points was fulfilled. The full-scale dynamic studies and computational modeling of three-storey building were carried out. The seismic resistance of building's steel structures during earthquake was confirmed by the calculation. For experimental evaluation of seismic resistance of the building structures a testing procedure for two full-scale frame fragments was developed.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмостойкость, динамическое воздействие, горизонтальное перемещение, частота и декремент колебаний, амплитудный спектр.

ВВЕДЕНИЕ

Более 120 тыс. км² (20% территории Украины) находятся в сейсмоопасных зонах с интенсивностью от 6 до 9 баллов [2] по шкале сейсмической интенсивности [5]. В сейсмоопасных районах проживает более 21% населения.

Сейсмическая опасность территории Украины определяется «местными» землетрясениями в отдельных регионах страны и сильными землетрясениями, распространяющимися из зоны Румынских Карпат (зоны Вранча). Землетрясения, сопровождаемые оползнями, обвалами, селями, цунами и другими опасными явлениями, являются причиной материальных и людских потерь, негативных социальных последствий.

С целью оценки сейсмостойкости малоэтажных зданий с несущим металлическим каркасом при землетрясениях 7-9 баллов, в соответствии с нормами ДБН В.1.1-12:2014 [2], был выполнен комплекс экспериментально-теоретических исследований: натурные динамические обследования здания и расчеты пространственной модели здания на совместное действие вертикальных статических и горизонтальных (сейсмических) нагрузок.

Здание представляет собой трехэтажную гостиницу, расположенную в Мисхоре (Автономная Республика Крым). Основанием здания служит железобетонное перекрытие цокольного этажа, заглубленного в склон. Размеры здания в плане 12,61x9,5 м. Высота каждого этажа составляет 3,0 м.

Несущий каркас здания состоит из следующих плоских конструкций:

- рам, которые являются элементами наружных стен и внутренних перегородок;
- ферм, которые являются элементами перекрытий и покрытия.

Все несущие элементы здания выполнены из металлического профиля (рис. 1).

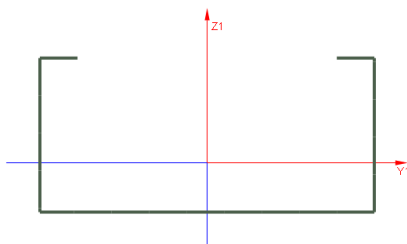


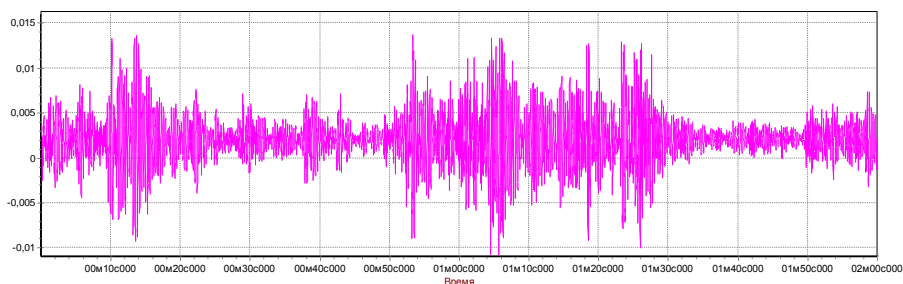
Рис. 1. Сечение металлического профиля

Металлический профиль для стоек, поясов и раскосов принят одного размера. Сборка отдельных конструктивных элементов здания и их соеди-

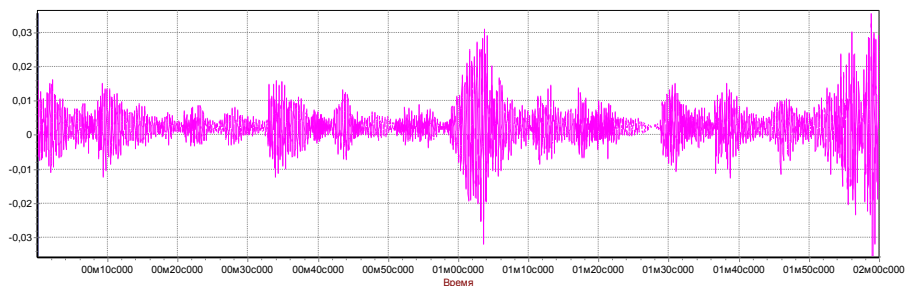
нение между собой в единую конструкцию выполняется с помощью саморезов.

ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЯ

Основными источниками динамических воздействий на здание были микросейсмические колебания грунта. Проявление других видов динамических воздействий на здания носило случайный характер (воздействие ветра, движение автотранспорта). Результаты измерений параметров колебаний представляются в графическом виде (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Временной сигнал горизонтальных виброускорений здания в уровне 3-го этажа (отметка 6.000) при микросейсмических воздействиях по направлению X (вдоль буквенных осей) – (а) и по направлению Y (вдоль цифровых осей) – (б)

Графики сигналов колебаний здания и их амплитудные спектры, полученные с помощью программы «Сейсмомониторинг» [4], позволяют

оценить уровень микросейсмических колебаний, частоты собственных и вынужденных колебаний.

При исследованиях проводились записи горизонтальных виброускорений по двум ортогональным направлениям X и Y. Графики временных сигналов горизонтальных виброускорений представлены на рис. 2. Амплитудные спектры горизонтальных виброускорений приведенных сигналов по направлениям X и Y представлены на рис. 3 и 4.

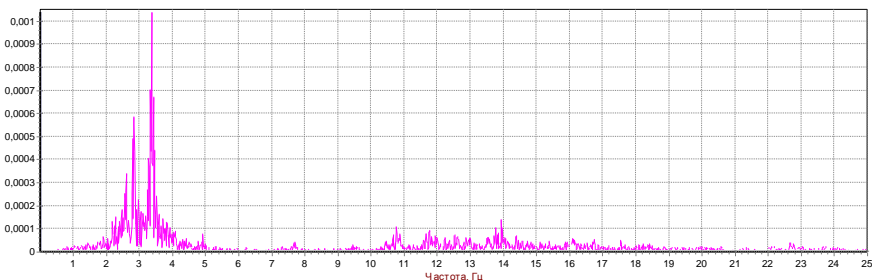


Рис. 3. Амплитудный спектр горизонтальных виброускорений здания в уровне 3-го этажа (отм. 6.000) по направлению X (вдоль буквенных осей)

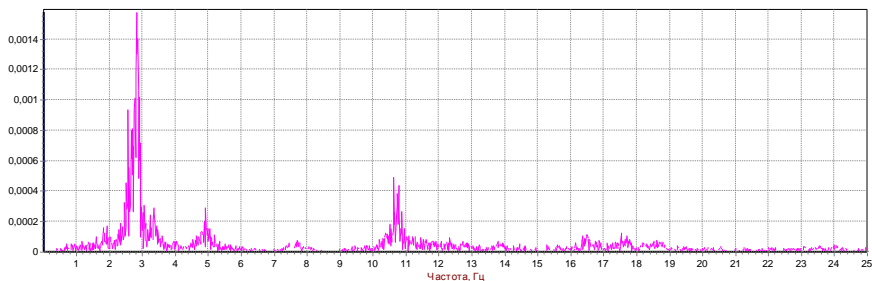


Рис. 4. Амплитудный спектр горизонтальных виброускорений здания в уровне 3-го этажа (отм. 6.000) по направлению Y (вдоль цифровых осей)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

С учетом результатов расчета для испытаний были выбраны пространственный фрагмент первого этажа здания в осях 1-2 и А-В (рис. 5), а также плоская стеновая панель (рама) первого этажа по оси В/1-2 с дверным проемом (рис. 6).

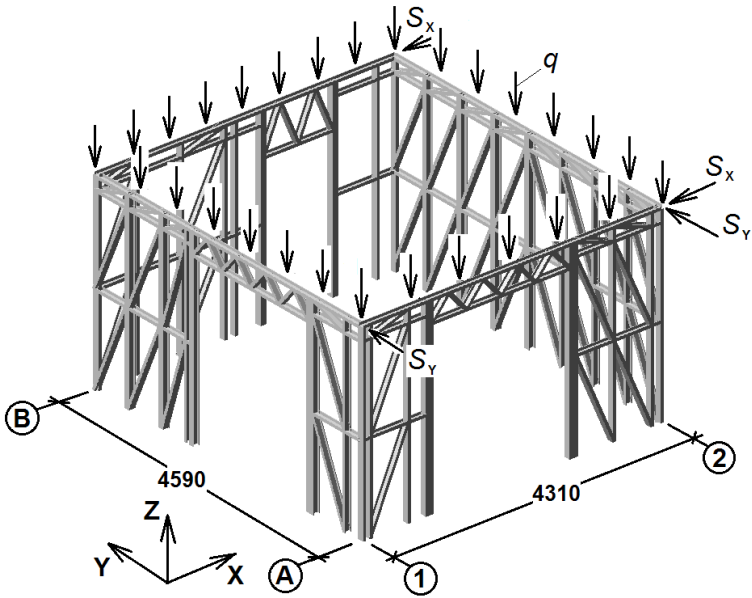


Рис. 5. Схема приложения вертикальной и горизонтальной нагрузки (вдоль осей X и Y) на пространственный фрагмент здания при его испытаниях

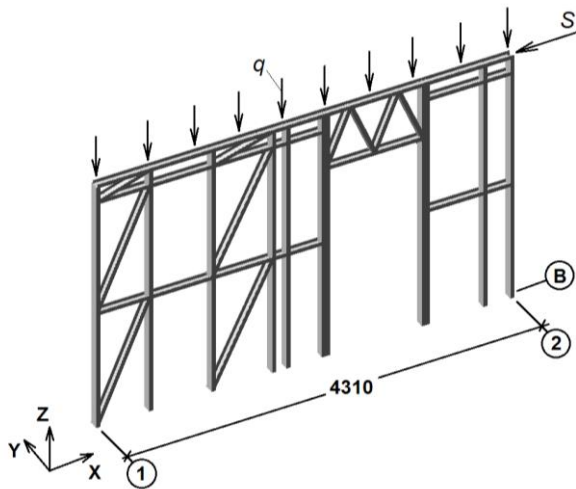


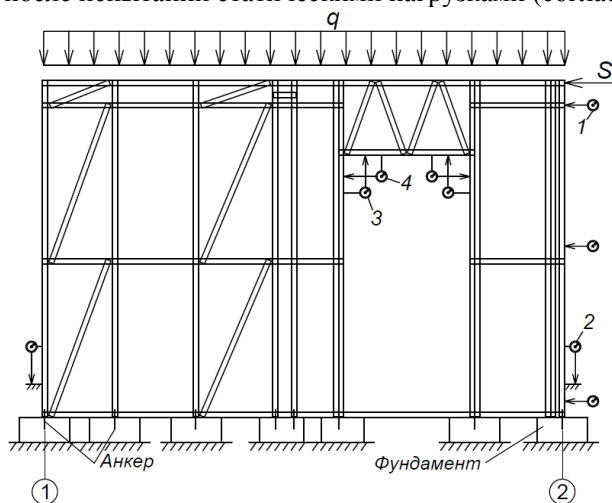
Рис. 6. Схема приложения вертикальной и горизонтальной нагрузки на плоский фрагмент рамы

Пространственный фрагмент с размерами в плане 4,16х4,6м и высотой 3,0м включает наружные стеновые панели по осям 1 и А, внутренние панели по осям 2 и В, фермы перекрытия. Разработанная методика испытаний предусматривает нагружение фрагмента вертикальными статическими нагрузками в уровне 1-го и 3-го этажей, а также знакопеременными сейсмическими нагрузками, соответствующими 7 и 8 баллов [5].

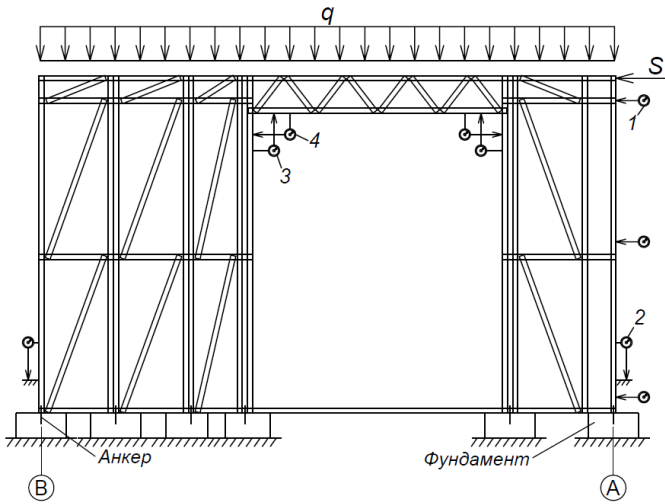
ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФРАГМЕНТОВ

При испытаниях плоского и пространственного фрагментов первого этажа предусмотрено измерение следующих параметров:

- горизонтальные перемещения в трех точках по высоте панели в плоскости действия горизонтальной силы (приборы 1 на рис. 7);
- удлинение и укорочение диагоналей стеновых панелей (рис. 8);
- углов сопряжения ферм и стоек в зависимости от ступени горизонтальной (сейсмической) нагрузки на панель (приборы 3 и 4 на рис. 7);
- углов сопряжения стеновых панелей в зависимости от ступени горизонтальной (сейсмической) нагрузки на панель (рис. 9);
- частот и декрементов колебаний пространственного фрагмента после окончания каждого цикла горизонтальной нагрузки (7, 8 и 9 баллов), а также до и после испытаний статическими нагрузками (согласно табл. 1).



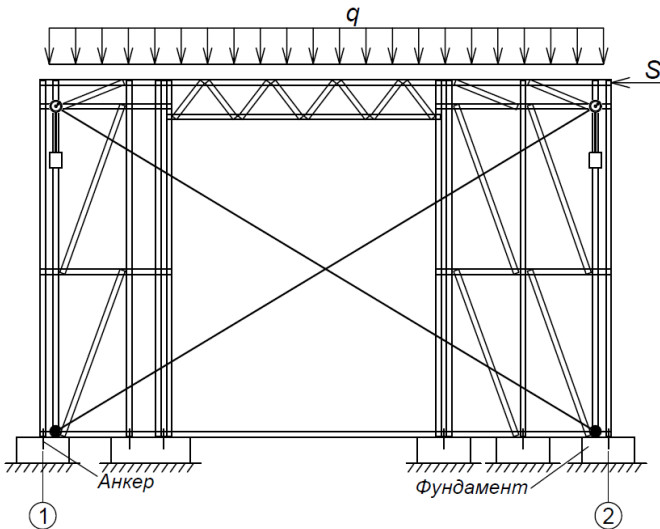
а)



б)

Рис. 7. Схема установки приборов на внешних стенах по ряду А/1-2 (а) и по оси 1/В-А (б) для измерения перемещений и деформаций конструкций:

1, 2, 3 и 4 – индикаторы часового типа



а)

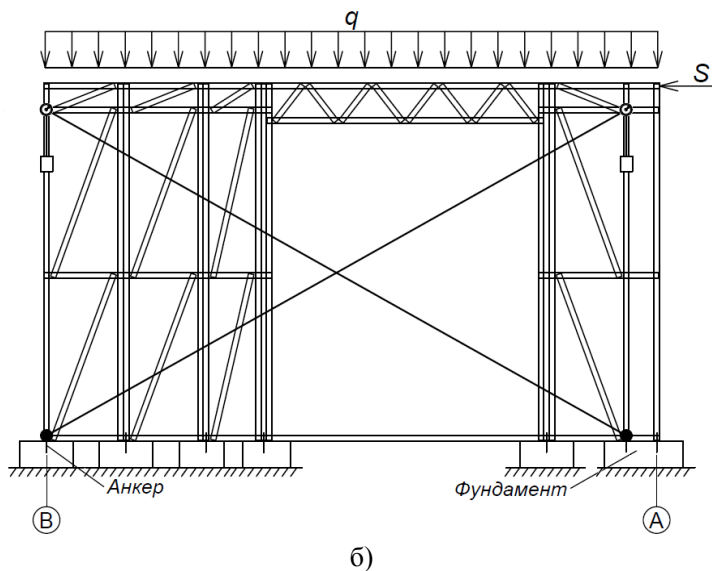


Рис. 8. Схема установки прогибомеров для измерения удлинений и укорочений диагоналей внешней стеновой панели по ряду А/1-2 (а) и по оси 1/В-А (б)

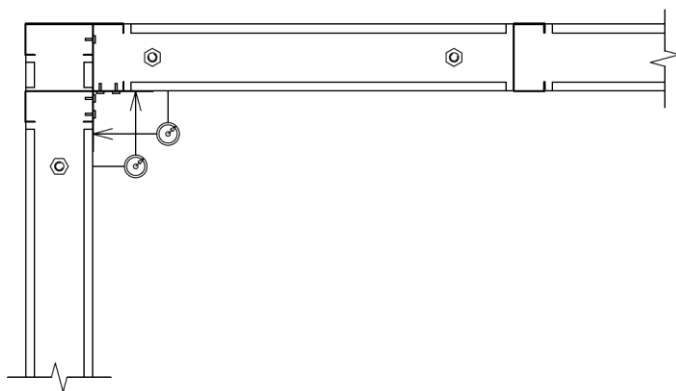


Рис. 9. Схема размещения приборов (индикаторов) для определения изменения углов сопряжения стеновых панелей пространственного фрагмента

Таблица 1

Расчетные вертикальные и горизонтальные (сейсмические) нагрузки на опытный плоский и пространственный фрагменты здания

| | Постоянная вертикальная нагрузка, кН | Сейсмическая горизонтальная нагрузка, кН | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----|----------|----|----------|-----|
| | | 7 баллов | | 8 баллов | | 9 баллов | |
| | | X | Y | X | Y | X | Y |
| Фрагмент плоской рамы по оси В/1-2 | 93 | 5 | - | 10 | - | 20 | - |
| Пространственный фрагмент в осях А-В/1-2 | 480 | 11 | 27 | 22 | 54 | 44 | 108 |

ВЫВОДЫ

1. Выполнены динамические натурные и расчетные исследования трехэтажного здания с несущими металлическими конструкциями, запроектированного и построенного в сейсмической зоне 8 баллов (на полуострове Крым, Украина). Расчетом подтверждена сейсмостойкость несущих металлических конструкций здания при интенсивности землетрясения 7 и 8 баллов. Для экспериментальной оценки сейсмостойкости конструкций здания при 8 и 9 баллах разработана методика испытаний двух натурных фрагментов.

2. Результаты проведенных вибродинамических исследований здания при микросейсмических воздействиях показали, что преобладающие частоты горизонтальных колебаний здания составляют:

- по направлению X (вдоль буквенных осей) $f_x = 3,4$ Гц,
- по направлению Y (вдоль цифровых осей) $f_y = 2,8$ Гц.

Приведенные значения частот использовались при верификации динамической модели здания, а также при определении сейсмических нагрузок на фрагменты при их испытаниях (см. табл. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект трехэтажной гостиницы в Мисхоре (АР Крым). Конструкции металлические деталировочные. – Севастополь, 2013.
2. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014 / науковий керівник Ю.І. Немчинов. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2004. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).

3. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163-2010. - [Чинні від 2011-12-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2010. – V, 202 с. – (Будівельні норми України).
4. Руководство пользователя. Программа «Сейсмомониторинг». - фирма «Диатос», Национальный Технический Университет «КПИ». - Киев, 2009.
5. Шкала сейсмической интенсивности: ДСТУ Б В.1.1-2-28:2010. - [Действует с 2011-10-01]. - Киев: Минрегион Украины, 2010. – III, 47 с. – (Государственный стандарт Украины).

REFERENCES

1. Design of three-storey hotel in Mishore (Crimea). Steel structures detail drawings . – Sevastopol, 2013.
2. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN B. 1.1–14: 2014. – Kyiv: Minbud of Ukraine, 2014 / scientific chief Yu.I. Nemchinov. - [Valid from 2014-10-01]. – K.: Minregion of Ukraine, 2014. - VI, – 110 p. – (Building norms of Ukraine).
3. Steel structures. Standards of design, fabrication and installation: DBN B.2.6-163-2010. - [Valid from 2011-12-01]. - Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. – V, 202 p. – (Building Norms of Ukraine).
4. Software "Seismic monitoring". Users manual. - Company "Diatos", National Technical University "KPI". - Kiev, 2009.
5. Seismic intensity scale: DSTU B V.1.1-2-28 : 2010 .- [Valid from 2011-10-01]. - Kiev : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. – III, 47 p. – (State Standart of Ukraine).

Статья поступила в редакцию 27.07.2015 г.