

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ АНКЕРНОГО КРЕПЕЖА ФИРМЫ MUNGO ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Как известно, сейсмические воздействия относятся к динамическим и возникают в связи с движением основания сооружения во время землетрясений.

Сейсмометрический анализ характера различных землетрясений позволил многим исследователям констатировать, что регистрируемый с помощью сейсмографов процесс колебаний грунтового основания и сооружения содержит три основные фазы:

■ **начальная фаза** – начальный отрезок записи, на котором фиксируются относительно небольшие амплитуды с высокой частотой колебаний;

■ **основная фаза** – наиболее интенсивный по амплитудам колебаний участок, переход к которому явно выражен на акселерограмме. На этой фазе часто наблюдаются довольно разнообразные периоды колебаний и имеют место «пиковые» циклы, в несколько раз превышающие значения, например, в спектре ускорений. При этом наибольшие ускорения грунта и, соответственно, сооружения находятся в диапазоне короткопериодного спектра: от 0,1 до 0,5 с.

Как отмечает И.Л. Корчинский (*Корчинский И.Л. и др. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1971*), внезапное изменение скорости от нуля до некоторого значения характеризует импульсный характер воздействия. Весьма большие изменения скоростей, т.е. как бы разрывы скоростей, по данным Б.К. Карапетяна (*Карапетян Б.К. Колебание сооружений, возведенных в Армении. Ереван: Айостан, 1967*), аналогичны колебаниям грунтов, вызываемым взрывом. При этом возникающие максимальные ускорения почвы до 0,4g и более (до 1,0g) соответствовали периодам 0,05 и 0,1 с, что хорошо увязывается с понятием импульсивного (одно- и многофазного) источника воздействия;

■ **конечная фаза** – участок записи, характеризующийся низкими периодами и

малыми амплитудами колебаний. Эта часть сейсмограммы имеет наименьшее практическое значение.

С.В. Медведев (*Медведев С.В., Карапетян В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. М., 1968*), рассматривая различные схемы акселерограмм, отметил общие для всех землетрясений закономерности, заключающиеся в том, что «все акселерограммы отражают периодическое колебание с переменной амплитудой и периодом».

Особенность сейсмических нагрузок состоит в том, что они могут действовать в любом направлении, вызывая в одних и тех же сечениях конструкций в один момент времени сжимающие, в другой – растягивающие или срезающие усилия (нагрузки). Однако любое сейсмическое воздействие характерно не только циклическим характером, но и ударными толчками, которые для конструкции могут быть опаснее, чем плавно меняющиеся нагрузки.

Исследования работы анкеров в России на динамические (сейсмические) воздействия до настоящего времени не проводились. За рубежом исследования в этой области связаны в основном с работами специалистов фирм FISCHER, HILTI, MKT. При этом методика динамических испытаний анкеров в европейских нормах отсутствует.

Ударные нагрузки характеризуются главным импульсом и сравнительно непродолжительны. При ударных (импульсных) нагрузках затухание сказывается значительно меньше, чем при циклических (периодических или гармонических) нагрузках. Это связано с тем, что максимальное значение ответной реакции конструкции или сооружения достигается мгновенно, за более

короткий промежуток времени, прежде чем силы затухания смогут поглотить значительную долю энергии, как это имеет место при циклическом сейсмическом воздействии.

В Лаборатории сейсмостойкости конструкций Центра исследований сейсмостойкости сооружений при консультации специалистов МГСУ (зав. кафедрой испытаний сооружений проф., к.т.н. Ю.С. Кунин) с учетом отмеченных выше факторов была разработана программа динамических испытаний анкеров, включающая два этапа:

- испытания анкеров на циклические воздействия сейсмической нагрузки;
- испытания анкеров на ударные воздействия сейсмической нагрузки.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко под руководством д.т.н. А.М. Курзанова разработан испытательный стенд (*рис. 1*), возбуждение колебаний которого может осуществляться одним из двух способов:

■ колебания платформы-маятника, на который установлен испытательный стенд, возбуждаются с помощью вибромашины ВИД-12, закрепленной на платформе. За счет инерционной силы, развиваемой ВИД-12, обеспечивается тот или иной частотный спектр воздействий на испытательный стенд и определенный уровень амплитуды колебаний платформы. Как показали испытания, максимальная величина амплитуды колебаний платформы при использовании ВИД-12 составляет 150 мм;

■ в зависимости от поставленной задачи, вместо инерционной нагрузки на платформу от вибромашины возможно возбуждение колебаний платформы обеспечить за счет ударного воздействия.

Испытания показали, что в момент удара максимальное ускорение на уровне основания стенда составляет 1,2g.

При проведении динамических испытаний были использованы анкеры марок m3, m2 и химические анкеры марки MIT-E фирмы MUNGO, включающие следующие элементы:

**Анкер марки m3 10×110/30 MUNGO:**

- рабочий орган – болт Ø 10 мм и длиной 110 мм;
- распорный элемент – в виде расклинивающегося сегментного кольца (фото на рис. 2а);

**Анкер марки m2 10×110/30 MUNGO:**

- рабочий орган – болт Ø 10 мм и длиной 110 мм;
- распорный элемент – в виде расклинивающегося сегментного кольца (фото на рис. 2б);

**Анкер марки MIT-E 10×100 MUNGO:**

- рабочий орган – резьбовая шпилька Ø 10 длиной 130 мм и глубиной заделки в стену 100 мм;
- инъекционный состав – MIT-E (фото на рис. 2в).

Программа динамических испытаний анкеров фирмы MUNGO включала в себя следующие этапы:

1. Анализ конструктивных особенностей анкеров фирмы MUNGO с учетом возможности их применения в сейсмоопасных районах РФ при действии на них сейсмических нагрузок.
2. До начала динамических испытаний проводились испытания анкеров на

действие статической нагрузки. Результаты этих испытаний служили эталонным для последующей оценки влияния динамических воздействий на несущую способность анкеров при вырыве.

3. Далее осуществлялось крепление с помощью анкеров фирмы MUNGO кронштейнов фасадной системы «ДИАТ» с облицовкой из натурального камня толщиной 30 мм и керамогранитных плит толщиной 10 мм к железобетонным стенам испытательного стенда.

Испытательный стенд представляет собой пространственную систему, собранную из отдельных сборных железобетонных стеновых панелей (рис. 1).

4. Подготовка вибростенда и измерительного оборудования для проведения динамических испытаний.

5. Назначение режимов нагружения испытательного стенда динамической нагрузкой, соответствующей силовым воздействиям на сооружения при землетрясениях различной интенсивности (от 7 до 9 баллов).

6. Проведение динамических испытаний, обработка и анализ результатов экспериментальных исследований анкерного крепежа при действии динамических нагрузок.

7. Статические испытания анкеров указанных выше марок после завершения динамических испытаний. Данные испытания позволяют оценить возможные изменения несущей способности ан-

керного крепежа при вырыве его из стеновых железобетонных панелей после завершения этапа динамических испытаний.

При монтаже фасадной системы крепление несущих элементов фасадной системы осуществлялось с помощью указанных выше анкеров.

**Средства измерения**

Регистрация и измерение сигналов проводились при помощи специализированного измерительно-вычислительного комплекса MIC-036, предназначенного для сбора, преобразования, регистрации, обработки, передачи и представления информации, поступающей с датчиков.

Комплекс выполняет следующие функции:

- измерение, регистрацию и первичную обработку сигналов (частотных, дискретных и пр.), полученных в результате испытаний;
- отображение значений измеряемых величин или преобразованных параметров на мониторе;
- контроль значений измеряемых величин или преобразованных параметров; оценка результатов их измерения и преобразования;
- самодиагностику проводимых измерений (анализ работоспособности с

Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки виброплатформы маятникового типа



Рис. 2. Общий вид анкеров марки m3 (а) и m2 (б)



Рис. 2 (в). Анкер марки MIT-E





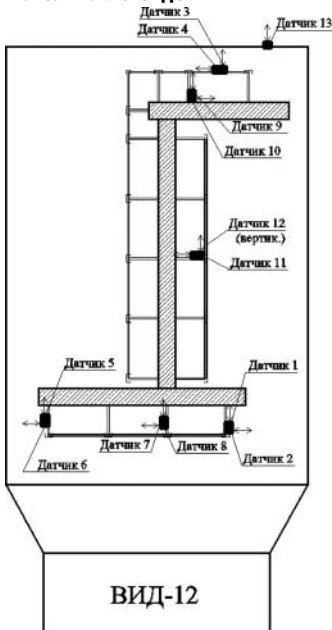
Рис. 3. Общий вид измерительного комплекса MIC-036 (а) и датчиков-акселерометров AT 1105-10м (б)

возможностью вызова диагностических программ);

- архивацию результатов измерения и преобразования (хранение данных с возможностью просмотра и анализа);
- вывод текущих значений измеряемых параметров, кодов аварий и технологических сообщений на ЭВМ верхнего уровня;
- возможность подключения печатающих устройств, в том числе для оформления протоколов результатов измерений;
- возможность связи с другими системами (подключение в существующую локальную вычислительную сеть);
- возможность выдачи сигнала типа «сухой контакт» для включения сигнализации и использования в системах защиты;
- возможность выдачи тестовых аналоговых сигналов.

Измерительно-вычислительный комплекс MIC-036 дополнительно уком-

Рис. 4. План расположения датчиков на испытательном стенде



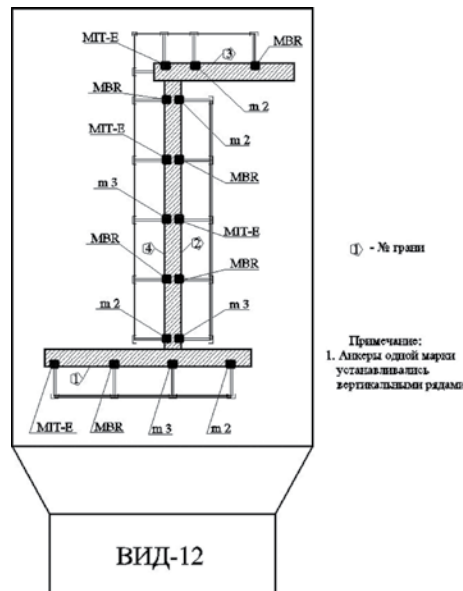
плектован ноутбуком со специализированным пакетом прикладных программ и периферийных устройств, необходимых для автоматизированного процесса обработки сигналов, а также для документирования результатов обработки (рис. 3а).

Для измерения ускорений, частот колебаний, а также динамических перемещений применяются однокомпонентные датчики – акселерометры AT 1105-10м (рис. 3б).

Монтаж несущих металлических элементов фасадной системы «ДИАТ» на сборный железобетонный стенд осуществлялся по следующей технологии. 1. Система навешивалась на железобетонные элементы стенда с помощью кронштейнов, устанавливаемых с шагом в вертикальном направлении 900 мм. При этом шаг по горизонтали составлял 600 мм.

2. Кронштейны крепились к железобетонным элементам стенда с помощью анкеров марок m3, m2 и

Рис. 5. План расстановки анкеров на испытательном железобетонном стенде



химических анкеров марки MIT-E фирмы MUNGO.

3. К кронштейнам с помощью заклепок фирмы Vralo крепились направляющие фасадной подконструкции.

План стенда с расположением фасадной облицовки и датчиков показан на рис. 4. На рис. 5 приведен план расположения анкеров на испытательном сборном железобетонном стенде.

**Результаты испытаний**

Статические испытания анкерного крепежа на вырыв из железобетонных панелей проводились по методике ETAG 001 с учетом положений ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний на нагружении. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

Динамические испытания анкерного крепежа проводились вибрационным (резонансным) методом, который позволяет измерить количественно силовую нагрузку, имитирующую сейсмическое воздействие в широком диапазоне частот.

По данным вибрационных испытаний для конкретных уровней нагружения были определены амплитудно-частотные характеристики испытуемого фрагмента, представляющие зависимость амплитуд колебаний сооружения от частоты гармонического воздействия. Кроме этого, по результатам обработки на ЭВМ с использованием специального программного комплекса WinПОС записей были построены записи зависимости изменения ускорений в различных точках модели от времени. Как уже отмечалось выше, акселерометры крепились к следующим элементам экспериментальной модели:

- к виброплатформе, что позволяло оценивать уровень динамического воз-

действия на модель и сравнивать их с нормативными значениями ускорения;

- к кронштейнам навесной фасадной системы вблизи анкерных креплений;
- непосредственно к облицовке (плиты из натурального камня, керамогранитные плиты).

Полученные характеристики ускорений и перемещений кронштейнов и облицовки позволили оценивать уровень сейсмических сил на кронштейны и облицовку и соответственно на анкеры, с помощью которых кронштейны крепились к железобетонным элементам испытательного стенда, а также возможные изменения уровня ускорений элементов облицовки при нормативном сейсмическом воздействии.

Изменяя частоту воздействия и амплитуды колебаний платформы, оценивались динамические характеристики (частоты основного тона колебаний, диссипативные свойства и пр.), а также принципиальный характер работы экспериментальной модели.



Рис. 6. Карта районирования сейсмических районов РФ

В табл. 1 приведены значения, которые по цветовой гамме соответствуют зонам сейсмичности, указанном на карте сейсмического районирования территории РФ (рис. 6). Приведенные в табл. 1 величины ускорений соответствуют показаниям акселерометров, установленных на плите виброплатформы.

По результатам динамических испытаний устанавливаются уровни воздействий, соответствующие резонансным колебаниям системы, и уровни ускорений виброплатформы, соответствующие семи-девятибалльным воздействиям по шкале MSK-64.

Табл. 1. Параметры динамического нагружения платформы

№ режима	Частота $f$ (Гц)	Амплитуда $A$ (мм)	Ускорение $a$ (см/с <sup>2</sup> )	Балльность
1	3,7	3,8	209,5	8,1
2	4,2	3,4	249,5	8,3
3	4,8	3,3	295,4	8,6
4	5,1	2,9	296,3	8,6
5	5,4	2,4	281,6	8,5
6	4,9	2,3	222,3	8,2
7	5,3	1,7	195,3	8,0
8	5,4	1,3	153,7	7,6
9	5,3	1,2	132,6	7,4
10	5,4	1,4	166,8	7,7
11	5,6	1	121,8	7,3
12	4,2	4,2	289,8	8,5
13	3,8	5,1	293,2	8,6
14	3,1	6,8	268,9	8,4
15	3	8,7	311,9	8,6
16	3,5	7,8	373,8	8,9
17	3,9	7,3	439	9,1
18	4,2	7,2	508,3	9,3
19	4,4	6,7	507	9,3
20	4,5	6,6	517,2	9,4
21	4,5	6,6	521,1	9,4
22	5,3	2,4	268,8	8,4
23	5,4	1,9	224,5	8,2

Таблица 2. Параметры динамического нагружения анкеров (по данным датчика №1)

№ Режим	Частота $f$ (Гц)	Амплитуда $A$ (мм)	Ускорение $a$ (см/с <sup>2</sup> )
1	3,7	4,8	270,3
2	4,2	5,1	368,8
3	4,8	5,9	525,9
4	5,1	6,3	654,8
5	5,4	6,6	773,7
6	4,9	5,4	514,9
7	5,3	6,3	703,3
8	5,4	7,2	826,3
9	5,3	8,2	920,5
10	5,4	5,6	646,9
11	5,6	6,7	822,1
12	4,2	7,6	521,3
13	3,8	7,8	450,2
14	3,1	8,7	342,6
15	3	10,8	386,9
16	3,5	10,9	519,5
17	3,9	11,5	694,1
18	4,2	12,7	901,5
19	4,4	12,8	965,7
20	4,5	13,4	1048
21	4,5	13,8	1093,4
22	5,3	7	799,5
23	5,4	8	921,1

После завершения этапа динамических испытаний анкерных креплений производилась визуальная оценка технического состояния анкеров и возможности их испытания на действие статической нагрузки вырыва. При отсутствии признаков разрушения анкера, изменения его конфигурации или видимых перемещений анкера он допускался к последнему этапу испытаний статическим нагружением до его разрушения для определения влияния динамической нагрузки на его несущую способность при вырыве.

В табл. 2 для сравнения с данными табл. 1 приведены параметры загрузки и достигнутые в ходе испытаний величины ускорений и амплитуды кронштейнов фасадной системы в уровне верха испытательного стэнда.

Анализ результатов динамических испытаний анкерных креплений фирмы MUNGO позволяет отметить следующее:

- в процессе испытаний ускорение виброплатформы по данным акселерометров, установленных на ней, изменялось в интервале от 121,8 до 521,1 см/с<sup>2</sup>, что эквивалентно сейсмическому воздействию 7,3÷9,4 балла. Частоты колебания системы изменялись в интервале от 3,0 до 5,6 Гц. Амплитуды колебаний виброплатформы изменялись от 1,0 до 8,7 мм. При этом ускорения анкеров изменялись в интервале от 270,3 до 1129,9 см/с<sup>2</sup> в продольном относительно оси анкеров направлении и от 11,0 до 788,8 см/с<sup>2</sup> в поперечном относительно оси анкеров направлении (ускорения по датчикам, установленным на кронштейне). Суммарная длительность воздействия на образцы составила:

$$23 \times 30 = 690 \text{ с}$$

(23 этапа нагружения по 30 с).

Продолжительность записи ускорений на каждом этапе динамического нагружения – 10 с;

- на рис. 7 показана акселерограмма при ударном воздействии на анкеры на последнем этапе испытаний интенсивностью 1093,4 см/с<sup>2</sup> ≈ 1,1g. Соответствующее этому ускорению усилие, приходящееся на анкеры при ударном воздействии на них от веса облицовки из натурального камня, составило:

$$N = m \times a = 25 \times 10,93 = 273 \text{ кг} \times \text{м/с}^2 = 273 \text{ Н} = 0,27 \text{ кН};$$

- при указанных выше параметрах динамического воздействия повреждений анкеров и их узловых соединений не выявлено.

После завершения динамических испытаний фасадной системы была произведена разборка элементов фасадной системы (облицовки и несущих элементов подконструкции) и проведены статические испытания ранее установленных анкеров на действие продольной относительно их оси нагрузки.

Результаты комплексных лабораторных испытаний указанных выше анкеров в процессе воздействия на них статической нагрузки вырыва после приложения динамической нагрузки представлены в табл. 3.

**Выводы**

При применении в сейсмических районах анкеров марок **m3** и химических анкеров марки **MIT-E** фирмы **MUNGO** при установке их в стены из тяжелого бетона для крепления фасадных систем с облицовкой из натурального камня толщиной до 30 мм и керамогранитных плит толщиной до 10 мм их несущая способность может приниматься такой же, как и в случае использования этих анкеров в обычных районах. Для анкеров марки **m2**, рекомендуемых для применения только в сжатой зоне бетона, расчетная нагрузка на анкер должна приниматься с коэффициентом безопасности K=0.9

**А.В. ГРАНОВСКИЙ**, к.т.н.,  
**Д.А. КИСЕЛЕВ**,  
инженер ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Рис. 7. Общий вид акселерограммы при ударном воздействии на стэнд

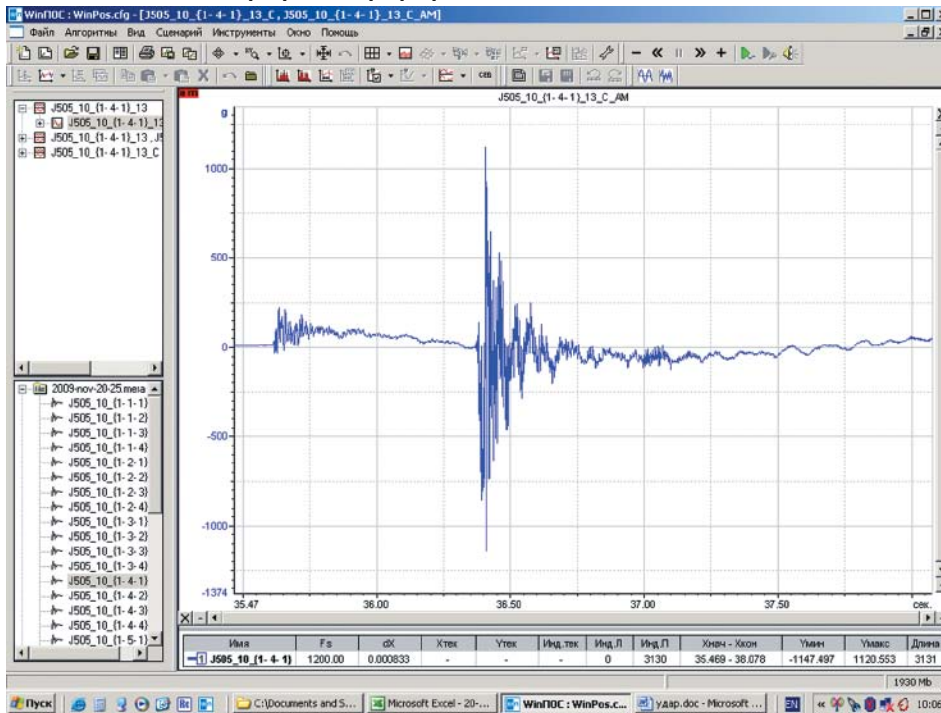


Табл. 3. Сводная таблица результатов испытаний анкеров фирмы MUNGO

Вид нагрузки		Наименование анкера		
		m2 10×110/30	m3 10×110/30	MIT-E 10×100
Статическая нагрузка вырыва до динамических испытаний, кН		N <sub>пред.</sub> 36,0-38,0-37,0	N <sub>пред.</sub> 32,0-32,0-30,0	N <sub>пред.</sub> 36,0-36,0-36,0
Динамические испытания (вырыв), кН	f = 3÷5,6 Гц длительность нагрузки на 23 этапах нагружения – 690 с	N <sub>динамич.</sub> = (0,05 ÷ 0,27) Kн		
Статическая нагрузка вырыва после динамических испытаний на действие продольной силы, кН		N <sub>пред.</sub> 32,0-36,0-32,0	N <sub>пред.</sub> 32,0-32,0-30,0	N <sub>пред.</sub> 36,0-36,0-36,0