

Р.Т.АКБИЕВ, канд. техн. наук,  
М.Ж. ЧУБАКОВ, ст. науч. сотрудник  
(ЦНИИП градостроительства РААСН, Москва)

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ



*В статье рассмотрены основные требования по оценке динамической устойчивости и сейсмостойкости навесных вентилируемых фасадных систем, которые находят все большее распространение при строительстве и реконструкции зданий и сооружений благодаря своим положительным свойствам. В соответствии с установленными требованиями предложена методика проведения экспериментальных исследований, а также технические решения по устройству вибростенда для проведения динамических испытаний.*

*Ключевые слова: навесные вентилируемые фасадные системы, динамическая устойчивость, сейсмобезопасность, экспериментальные исследования, вибростенд*

В современном обществе наблюдается повышенный интерес к навесным вентилируемым фасадным системам (далее — НВФС), технические возможности массового применения которых появились в конце 80-х годов прошлого столетия.

Очевидные положительные свойства НВФС (быстрота монтажа, возможность создания выразительных архитектурных форм) стали основой их широкого распространения при строительстве объектов, включая сейсмические районы Российской Федерации.

К настоящему времени в России и Европе уже накоплен достаточный практический опыт эксплуатации НВФС, в том числе по их поведению при статических и динамических воздействиях.

Итоги таких исследований были представлены авторами на специальных секциях в рамках работы VII, VIII Сочинских Российских национальных конференций по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию 2007-2009 гг., на региональных совещаниях и научно-технических секциях.

Общие подходы и принципиальные методы решения задач по оценке и подтверждению соответствия представлены в [1-3].

Очевидны следующие проблемы применения НВФС, которые в настоящее время решаются исследователями.

1. Накоплен значительный опыт исследований их работы (элементов и соединений) при статических нагрузках, т.к. необходимость проведения таких

испытаний является основой отечественной системы по сертификации продукции. Результатами проведенных в этом направлении испытаний являются выводы о возможности обеспечения инженерными методами приемлемого уровня надежности НВФС при их массовом применении в несейсмических районах.

2. Современные исследования о поведении НВФС с конкретными конструктивными параметрами под облицовочной конструкцией и облицовкой при высоких уровнях динамических воздействий ограничены, в основном, работами отечественных ученых.

Более того, полученные выводы не подтверждены на практике, в том числе результатами последствий сильных землетрясений, происшедших за последние два десятилетия.

3. Статистика поведения и повреждений НВФС проведена исключительно в части нарушений технологии производства работ по монтажу НВФС или их эксплуатации. Аналогичные данные при воздействии динамических нагрузок высокого уровня попросту отсутствуют.

4. В современных нормах очевидны пробелы по регулированию методов оценки и подтверждения соответствия НВФС требованиям по динамической устойчивости и сейсмической безопасности.

С одной стороны, нет четких ограничений по установлению параметров конструктивной надежности данной продукции. С другой стороны, обозначить параметры

ранжирования предельных состояний НВФС необходимо, для чего следует установить соответствующие нормативные показатели и пути их достижения в процессе оценки соответствия.

Для сглаживания выявленных противоречий специалистами Научно-методического центра по целевому планированию, стандартизации и сертификации ЦНИИП градостроительства РААСН предложен порядок (общие подходы) и методология оценки НВФС на динамическую устойчивость и сейсмостойкость.

Настоящая публикация ставит целью публичное описание основных требований и методологии проведения таких исследований, которые большинством производителей навесных фасадов и специалистами испытательных лабораторий на практике игнорируется [4].

Предложенные в настоящей работе требования, методика и технические решения по моделированию динамических воздействий в процессе испытаний, последующий цикл публикаций в журнале по их использованию позволит обеспечить правильное понимание проблемы, станет основой для эффективного решения проектировщиками и строителями практических задач по обеспечению безопасности применения НВФС.

**Требования по оценке динамической устойчивости и сейсмобезопасности**  
**Состав комплексных исследований и этапы их проведения**

Требования по составу работ, необходимые для получения однозначных выводов в части обеспечения динамической устойчивости и сейсмобезопасности НВФС составлены с учетом базовых нормативно-технических требований, включая законодательство РФ по техническому регулированию, стандартизации, оценке и подтверждению соответствия, в соответствии с установившейся практикой и правилами моделирования строительных конструкций и проведения экспериментальных исследований.

Основные цели, задачи и этапы комплексных исследований, которых следует придерживаться в части оценки и подтверждения динамической устойчивости и сейсмобезопасности НВФС, приведены в табл. 1.

На динамическую устойчивость и сейсмостойкость НВФС всех типов оказывают влияние следующие факторы:

- тип конструкции НВФС и принципы ее соединений с основным каркасом (к несущим и/или ненесущим конструкциям);
- технические решения подконструкций, обеспечивающие пространственный характер работы НВФС, включая:
  - шаг расположения направляющих для крепления облицовочных плит;
  - жесткость кронштейнов для крепления к несущим конструкциям, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении (вдоль плоскости стены);
  - вид облицовки и ее крепление с подконструкцией (возможные взаимные относительные смещения должны быть минимизированы);

— уровень установки конструкции от нулевой отметки (приложение нагрузки).

Определенное влияние на состояние облицовочного покрытия НВФС оказывает характер действующих динамических нагрузок (повторяемость, режим нагружения).

Для каркасных систем важным является принцип устройства связей между несущей конструкцией и заполнением.

Дополнительно установлены следующие специфические особенности работы НВФС при динамических воздействиях:

1. Сравнительно низкая способность НВФС с облицовкой из керамогранита к рассеянию энергии колебаний (не более 1,5% от критической величины).

По данным проведенных авторами динамических исследований для НВФС

Таблица 1.

**Факторы, влияющие на динамическую устойчивость и сейсмобезопасность**

№ п/п	Цели и задачи	Методы решения проблемы
1	Предварительные исследования напряженно-деформированного состояния во всех характерных сечениях и узловых сопряжениях элементов конструкций НВФС	1). Обобщение конструктивных характеристик и особенностей НВФС различного типа (классификация в зависимости от материала, конструкции и креплений) для дальнейшего использования в реальном проектировании и при анализе. 2). Изучение и систематизация данных по динамическим параметрам НВФС 3). Расчеты на ЭВМ группы объектов капитального строительства, имеющих существенные различия (высота, этажность, несущие конструкции, конструктивные схемы, типы применяемых НВФС и пр.) — выполняются на основе математического моделирования методами строительной механики и теории упругости, с использованием современных программных комплексов
2	Выявление действительной картины распределения усилий во всех характерных сечениях и узловых сопряжениях элементов конструкций НВФС	Производственный эксперимент, который предполагает поэтапные исследования по оценке работы системы «сооружение — НВФС» на воздействие статических и динамических нагрузок: 1) на маломасштабных моделях (1/10...1/20); 2) на крупномасштабных моделях (1/1...1/5); 3) путем проведения натурных испытаний, с практическим использованием либо физического, либо аналогового, либо математического моделирования с применением комплексных методов оценки или пространственных моделей сооружения и воздействия
3	Комплексный анализ фактического напряженно-деформированного состояния НВФС в составе сложного сооружения	Производственный эксперимент и обобщение натурных данных, полученных на основе комплексных исследований на реальных объектах. Осуществляется методами вибродиагностики и мониторинга. Выполняется взамен или в дополнение к аналитическому расчету
4	Проверка правильности гипотез, положенных в основу аналитического расчета НВФС	1). Обобщение и сравнительный анализ результатов численного анализа, натурных данных и производственного опыта.
5	Уточнение расчетной схемы работы «несущая система — НВФС»	2). Проведение численного анализа (дополнительных расчетов) на реальные воздействия в виде сценарных землетрясений (синтезированных акселерограмм)
6	Определение характера разрушения и разрушающей нагрузки на элементы и конструкции НВФС	Обобщение результатов численного анализа, натурных данных и производственного опыта, выполненных с практическим использованием либо физического, либо аналогового, либо математического моделирования с применением комплексных методов оценки или пространственных моделей сооружения и воздействия (см. п.5)
7	Определение реального запаса прочности конструкций, элементов НВФС	
8	Установление влияния различных факторов на работу конструкции НВФС и узлов их сопряжений при воздействии статических и динамических нагрузок	
9	Разработка рекомендаций, направленных на повышение сейсмостойкости (долговечности, надежности, безопасности и пр.) НВФС	Выработка общих требований и перечня конструктивных мероприятий, компенсирующих недостатки НВФС, выявленные в ходе выполнения исследований по п. п.1-8.
10	Практическая реализация рекомендаций по п. 9 в действующих стандартах, правилах и нормах	Доработка конструкции НВФС и узловых сопряжений их элементов, независимая научно-техническая экспертиза принятых решений, их включение в действующие нормативно-технические документы и согласование их в установленном порядке

с облицовкой из композита это значение выше и составляет 2,0-3,2%, в зависимости от размера облицовочных плит. При этом для таких конструкций отмечены значительно меньшие повреждения при равных нагрузках.

2. Потенциальная опасность хрупкого разрушения больших фрагментов НВФС с облицовкой из керамогранита, перегруженных дополнительными вертикальными нагрузками, которые могут достигать при землетрясениях значений до 70%.

3. Значительные повреждения НВФС с облицовкой из керамогранита и других аналогичных систем в результате установки на зданиях и сооружениях, обладающих большей гибкостью.

Эти особенности работы НВФС должны быть учтены при постановке и проведении комплексных расчетно-экспериментальных исследований (рис.1, 2).

### Установление параметров предельных состояний конструкций и элементов

Основным свойством, определяющим надежность и безопасность НФС при воздействии динамических нагрузок, является их способность сохранять определенные эксплуатационные свойства, характеризующуюся предельными состояниями (контролируемыми значениями усилий, перемещений и пр.). Полученные в результате данные сравниваются с нормативными требованиями, установленными в технических регламентах, национальных стандартах, сводах правил и прочих нормативных технических документах.

По аналогии с другими конструкциями, предельные состояния НВФС предлагается условно разделить на две группы:

**Первая группа** включает предельные состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкции НВФС или к полной (частичной) потере несущей способности ее основных элементов и креплений;

**Вторая группа** включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию НВФС.

Предельные состояния первой группы характеризуются:

- разрушением креплений и элементов НВФС любого характера (пластическим, хрупким, усталостным);
- потерей устойчивости формы составных элементов НВФС, приводящей к полной непригодности системы;
- потерей устойчивости положения элементов и узлов соединений НВФС;



Рис.1. Дворец форумов «Узбекистан», Ташкент, Республика Узбекистан (НВФС «BWM ATK103/ATK 100 Minor»)

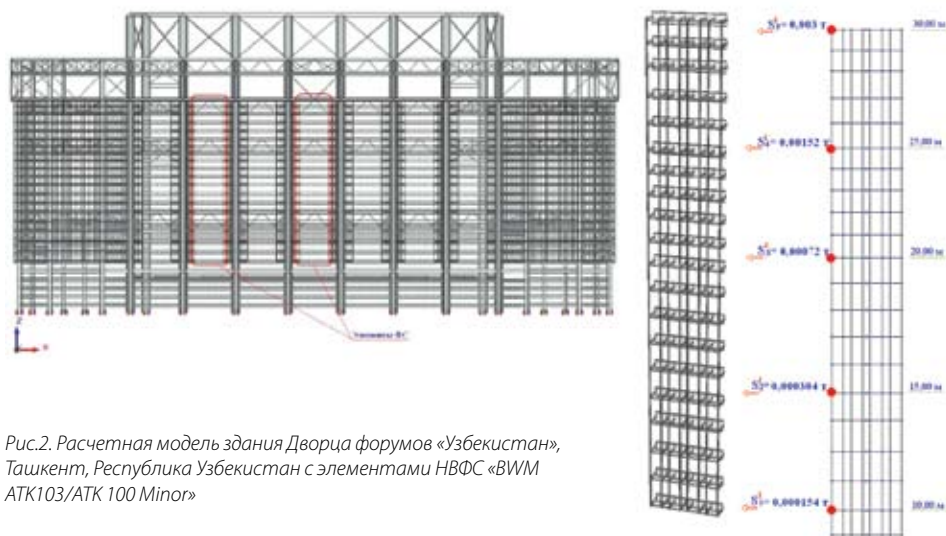


Рис.2. Расчетная модель здания Дворца форумов «Узбекистан», Ташкент, Республика Узбекистан с элементами НВФС «BWM ATK103/ATK 100 Minor»

- переходом НВФС или ее части в изменяемую систему;
- качественным изменением конфигурации;
- другими явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерными деформациями в результате сдвига в соединениях, раскрытия швов и пр.) и замены конструкции НВФС.

Как показывает практика, установление уровня повреждений необходимо назначать в зависимости от напряженно-деформированного состояния конструкции

(уровня нагружения или несущей способности и деформаций).

Примером могут служить данные, приведенные в табл.2 по установлению критериев предельных состояний НФС с облицовкой из керамогранита [1, 4].

Именно на такие данные следует ориентироваться в процессе анализа работы конструкции НВФС при сильных динамических колебаниях.

### Установление уровня динамического нагружения

Определение характеристик динами-

Таблица 2

Степень повреждений, соответствие шкале MSK-64 d	Уровень повреждений	Характерные особенности и количественные показатели повреждений НВФС	Группа предельных состояний	Максимальные ускорения $a$ ( $m/c^2$ ) и отн. смещения $\Delta/h$ кронштейнов
0	Повреждений нет	Видимых повреждений нет		
I	Легкие повреждения	— смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) не более 0,5 см; — отдельные мелкие сколы плиток.	I	-
II	Легкие повреждения конструкций	— смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) на 0,5-1,0 см; — сколы плиток на площади до 5 %.		$a < 2,0$ $\Delta/h < 1/200$
III	Умеренные повреждения конструкций	— незначительная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов НВФС; — смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) на 1-1,5 см; — сколы плиток на площади до 10%; — выпадение плиток местами; — отдельные повреждения заклепочных соединений в виде смещений осей заклепок от проектного положения.		$a = 2,0-8,0$ $1/200 \leq \Delta/h \leq 1/100$
IV	Сильные повреждения конструкций	— частичная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов соединений. В том числе: — местные прогибы отдельных элементов несущих конструкций (кронштейны, направляющие); — относительные смещения плиток НВФС более 1,5 см; — выпадение плиток на площади до 20 %.	II	$a > 8,0$ $\Delta/h \geq 0,01$
V	Обрушение	— разрушения креплений и элементов НВФС любого характера; — полная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов соединений НВФС; — переход НВФС или ее части в изменяемую систему; — качественное изменение конфигурации ФС и ее элементов; — чрезмерные деформации в результате сдвига в соединениях раскрытия швов между элементами системы, раскрытие швов; — выпадение плиток на площади более 50 %.		

ческого нагружения НВФС каждого типа рекомендуется осуществлять на основании результатов численного эксперимента, выполненного применительно к реальным объектам, на которые могут устанавливаться данные системы.

В качестве примера исследований и обработки их результатов приведем данные из работы [3], где для реальных объектов, проекты которых прошли государственную экспертизу, рассчитана динамическая реакция в местах установки НВФС.

Расчеты выполнялись для различных типов зданий (более 50) по пространственной схеме, с использованием сертифицированных программных комплексов. При выполнении численного анализа работы НВФС на сейсмическое воздействие было принято, что многоэтажные здания и, тем более, фасадные системы, в зависимости от технических решений могут обладать различной способностью к рассеянию энергии колебаний.

В реальной практике такие свойства

конструкции учитываются путем снижения коэффициента затухания в сравнении с нормативными значениями, которые составляют 5 % от критической величины.

В численном эксперименте были приняты следующие параметры динамического проведения, наиболее часто используемые на практике:

1. Значения затухания — 1; 2,5 и 5 %.

2. Воздействия (сценарные землетрясения) принимались следующих видов:

— по спектральному методу, в соответствии с требованиями СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах»;

— на реальные записи (акселерограммы) землетрясений;

— на синтезированные акселерограммы — сценарные землетрясения, построенные для указанных объектов специалистами Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии Наук.

3. Нагрузки принимались исходя из расчетной сейсмичности 7-9 баллов по шкале

MSK-64, что соответствует максимальным значениям ускорений 0,1-0,4 g.

В табл.3 приведены данные по отклику (реакции) НВФС, рассчитанные для следующих уровней их установки от нулевой отметки:

- 1 уровень — от 0 до 10 м (до 3 этажей);
- 2 уровень — от 10 до 35 м (до 10 этажей);
- 3 уровень — выше 35 м (до верха здания).

Анализ полученных данных показывает, что в реальных зданиях нагрузки на НВФС типа могут значительно (от 4 до 20 раз) превышать заданные расчетные воздействия.

Полученные данные в целом не противоречат аналогичным требованиям, предъявляемым к техническим изделиям (оборудованию) согласно ГОСТ 30546.1-98 и СНиП II-7-81\*, существенно уточняя их диапазон.

#### **Спектральные характеристики динамического воздействия**

Использование результатов экспериментальных исследований НФС любого

Таблица 3

Интенсивность землетрясения, баллы (ускорения) по MSK-64	Характеристики затухания $\zeta$ , в % от критического	Отклик системы (максимальные ускорения), $m/s^2$ для уровней установки НВФС над нулевой отметкой, м		
		1	2	3
7 (0,1 g)	1,0	1,18-2,53	5,10-6,13	8,74-15,74
	2,5	0,96-1,88	3,83-4,68	4,73-12,21
	5,0	0,64-1,25	2,55-3,12	3,15-8,14
8 (0,2 g)	1,0	2,34-9,43	4,86-12,47	6,25-15,84
	2,5	1,88-3,75	3,75-9,38	4,66-12,21
	5,0	1,25-2,50	2,50-6,25	3,12-8,13
9 (0,4 g)	1,0	5,00-9,74	9,23-25,02	12,50-31,40
	2,5	3,75-7,72	7,42-18,83	9,38-24,38
	5,0	2,50-5,15	4,95-12,55	6,25-16,25

**Примечание:** — для НВФС с облицовкой из керамогранита значения принимаются —  $1,2 \leq \zeta \leq 1,6$ ;  
— для НВФС с облицовкой из композитных плит значения принимаются —  $1,6 \leq \zeta \leq 3,5$

типа в качестве доказательной базы при оценке их динамической устойчивости и сейсмостойкости необходимо проводить при соблюдении следующих условий:

1. Спектр динамического воздействия на НВФС должен перекрывать интервал от 3,0 до 15 Гц.

2. Для получения обоснованных выводов о надежности НВФС максимальные воздействия на конструкции, с целью соответствия землетрясениям 8-9 баллов по шкале MSK-64 должны достигать значений, соответственно:

- для малоэтажных зданий и сооружений высотой до 10 м — не менее 2,5-5,0  $m/s^2$ ;
- для многоэтажных объектов, высотой в пределах значений, установленных требованиями п.2-9 табл.8 СНиП II-7-81\* — не менее 5,0-10,0  $m/s^2$ ;
- для иных объектов, в том числе высотой от 35 до 70 м — не менее 6,0-20,0  $m/s^2$ .

3. Длительность воздействия с максимальной амплитудой в резонансном режиме ( $\pm 15\%$  от заданной расчетной величины) не может быть менее 60 с.

Как показывают проведенные опыты, установленным значениям ускорений соответствуют перемещения в основании конструкции, где приложено воздействие (контрольные перемещения) — не менее 35 мм.

В процессе эксперимента соответствие качественных и количественных характеристик сейсмостойкости НВФС устанавливается на основании критериев, установленных по аналогии с данными, приведенными в табл.2.

**Принципы моделирования и создания вибростендов для испытаний**

Достижение требуемых параметров нагружения НВФС на реальных объектах требует значительных капиталовложений, в связи с чем, проведение таких исследований нецелесообразно.

Достижение поставленных задач по проведению испытаний наилучшим способом обеспечивается использованием специальных вибростендов, которые должны отличаться простой конструкции, многофункциональностью, удобством применения, минимальными затратами на их изготовление и демонтаж (рис.3).

В результате обобщения результатов исследований, проведенных с участием авторов в период с 2005 г., было предложено техническое решение по созданию надежного, относительно простого в эксплуатации и ремонте универсального вибростенда для динамических испытаний НВФС [5].

Техническое решение защищено патентом RU 100925 U1 [5], лежит в основе всех проведенных экспериментов в ЦНИ-

ИП градостроительства РААСН, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, поясняется рис.1-5, не охватывающими и, тем более, не ограничивающими весь объем возможного применения данного решения, а лишь являющихся частным случаем его выполнения.

Вибростенд для динамических испытаний НВФС (рис.4) включает каркасную конструкцию 1, фундамент, выполненный в виде отдельных опор 2 или основания, один источник вибрации 4 и датчики (не показано), причем каркасная конструкция 1 включает вертикальные и горизонтальные связи 5, пересекающиеся в узлах 6 конструкции и одно перекрытие 7. Основание 3 может быть выполнено в виде монолитной плиты, либо рамной конструкции (условно не показаны).



Рис.3. Вибростенд со смонтированной НВФС и источником вибраций (вибромашина инерционного действия (типа ВИД-12/08))

Нижняя часть каркасной конструкции 1 закрепляется на фундаменте 2 или основании. Один из источников возбуждения колебаний 4, выполняется инерционным, съемным, с возможностью изменения частот генерируемых им динамических колебаний и располагается на каркасной конструкции 1 выше уровня фундамента 2 или основания, или в пределах каркасной конструкции 1, предпочтительно, на перекрытии 7.

В качестве источника вибрации 4 может применяться вибромашина инерционного действия (типа ВИД-12/08) или иной аналогичный источник возбуждения колебаний в пределах частот, характерных для динамических, в том числе сейсмических и прочих аналогичных воздействий (см. выше), расположенный, предпочтительно, в верхней части 8 каркасной конструкции в уровне перекрытия.

Источники возбуждения могут устанавливаться на верхнем уровне (перекрытии) или в нескольких уровнях (перекрытиях) и синхронизированы по методам воздействия на конструкцию (условно не показано). При необходимости, вибростенд может устанавливаться также на специальные вибро- и сейсмоплатформы.

Узлы 6 конструкции 1 могут быть выполнены с возможностью изменения типа закрепления, например, с жесткого на шарнирное.

Связи 5 каркасной конструкции 1 могут быть выполнены жесткими или гибкими.

В другом варианте выполнения часть связей 5 каркасной конструкции 1 может быть выполнена гибкими, а часть жесткими.

Вибростенд может дополнительно содержать наклонные, в том числе перекрещивающиеся, связи (на чертежах не показано)

и другие элементы, способствующие изменению принципов динамической работы здания или сооружения во взаимодействии с элементами и конструкциями НВФС, в отношении которых проводятся испытания.

Связи могут выполняться как металлическими, так и железобетонными. По крайней мере, часть элементов со связями образуют горизонтальные или вертикальные рамы.

Вибростенд дополнительно содержит одно или несколько перекрытий, в зависимости от постановки задач по моделированию работы конструкции и целей проведения испытаний.

Вибростенд может быть выполнен в виде параллелепипеда с различным соотношением геометрических параметров (длина, ширина, высота) и соотношений жесткости горизонтальных и вертикальных конструкций стенда, характерных для раз-

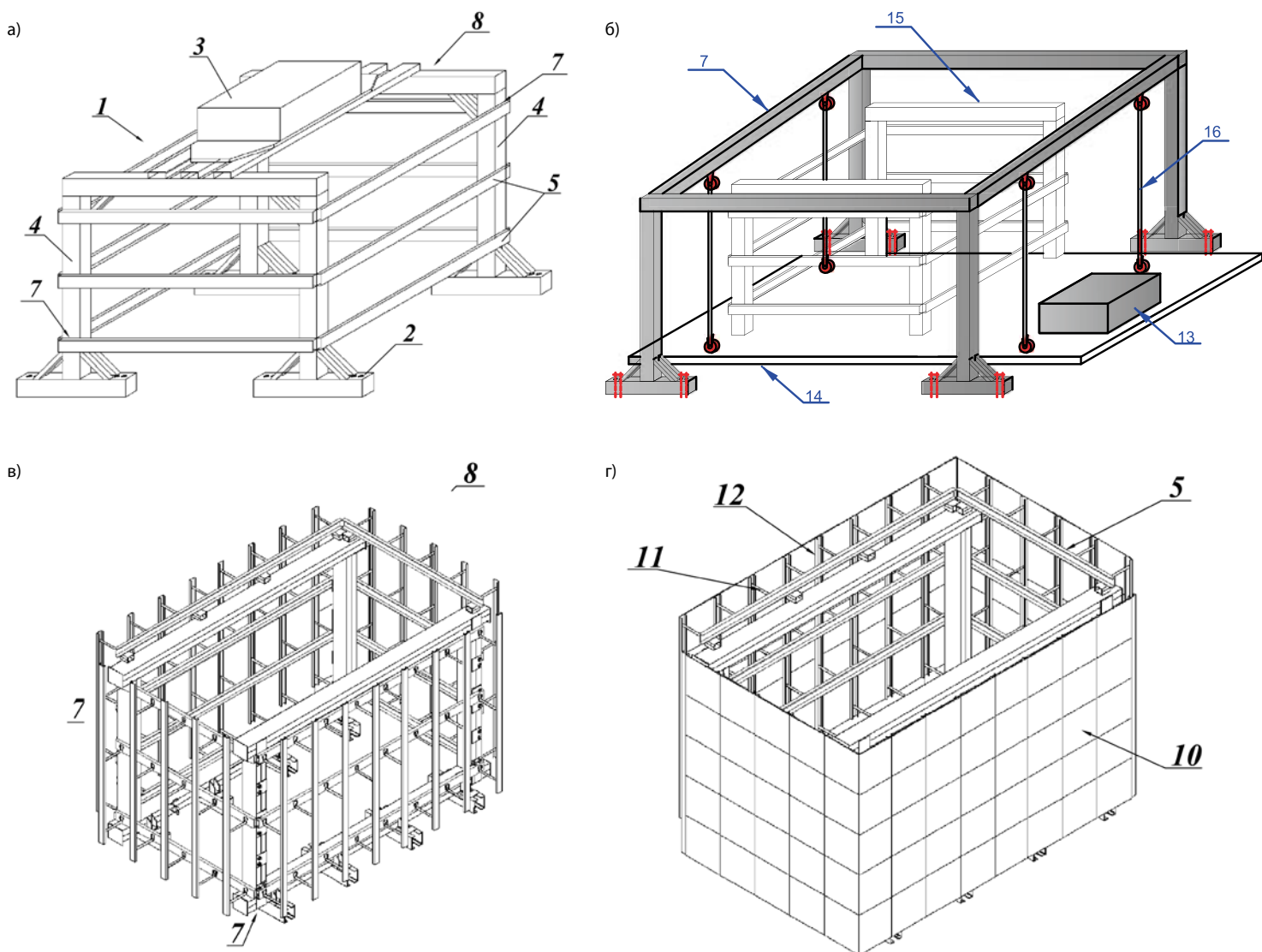


Рис.4. Схема вибростенда для динамических испытаний НВФС



Рис.5. Характерные повреждения НВФС при динамических нагрузках (облицовка из керамогранитных плит)



личных типов и конструкций зданий или сооружений.

Фундамент 2 для стенда выполнен в виде фундаментной плиты и/или в виде отдельных фундаментных опор под, по меньшей мере, часть вертикальных связей 5 каркасной конструкции. Каркасная конструкция закреплена на фундаментном основании посредством анкеров, например, механических или химических и пр. Основание может быть выполнено в виде рамной конструкции.

Вибростенд дополнительно снабжен креплениями (не показано) для фиксации НВФС, встраиваемых конструкций и оборудования.

Как минимум один уровень (например, верх каркасной конструкции 1) дополнительно может быть снабжен перекрытием, на котором размещается источник вибрации 3, предпочтительно вибромашина.

Источник вибрации 4 может представлять собой вибромашину, предпочтительно, инерционного типа, которая выполнена с возможностью изменения частот, генерируемых ее колебаний или иной источник возбуждения динамических колебаний (источник вибрации).

Источник вибрации может быть расположен на перекрытии, а при их отсутствии — на связях, например, по меньшей мере, двух балках коробчатого сечения, выполненных из сваренных между собой прокатных профилей, имеющих необходимый

запас прочности и жесткости для восприятия планируемых динамических нагрузок.

Для испытаний фасадной облицовки 10 каркасную конструкцию оснащают кронштейнами 11, консольно закрепленными на связях 5 и направляющими 12, соединенными с кронштейнами 10.

Для обеспечения вариативности колебаний моделирования и использования различных схем воздействий вибростенд может быть снабжен как минимум одним дополнительным источником вибрации 13, установленным, предпочтительно в нижней части каркасной конструкции.

Для размещения дополнительного источника вибрации 13 внутри каркасной конструкции вибростенд может быть снабжен платформой 14 или конструкцией 15, размещенной внутри каркасной конструкции 1 и закрепленной, предпочтительно шарнирно к перекрытию, предпочтительно верхнему перекрытию 7 или связям 5 каркасной конструкции 1 посредством дополнительных жестких связей 16.

Кроме источника вибраций вибростенд содержит программируемый комплекс управления (условно не показан), который, в свою очередь снабжается, по меньшей мере, одним модулем энергонезависимой памяти. Вибростенд включает измерительные датчики такие как, например, датчики деформаций и ускорений, а также тензометры.

Для измерения ускорений, частот коле-

баний динамических перемещений стенд может быть оборудован однокомпонентными датчиками. Могут использоваться иные виды измерительных приборов, включая многокомпонентные датчики ускорений и перемещений.

Вибростенд дополнительно может быть снабжен специализированным измерительно-вычислительным комплексом для сбора (на чертежах не показано), преобразования, регистрации, обработки, передачи и представления информации, поступающей с датчиков

### Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования НВФС проводятся вибрационным или резонансным методом, который позволяет измерить количественно силовую нагрузку, имитирующую сейсмическое воздействие в широком диапазоне частот, в соответствии с установленными выше требованиями.

По данным вибрационных испытаний для конкретных уровней нагружения строятся амплитудно-частотные характеристики испытываемого фрагмента НВФС, его элементов, представляющие зависимость амплитуд колебаний сооружения от частоты гармонического воздействия.

Изменяя частоту воздействия, оценивают динамические характеристики, например частоты основного тона колебаний, диссипативные свойства НВФС (изменение

конструкции) и пр., а также принципиальный характер работы системы «вибростенд — НВФС».

По результатам испытаний фиксируются количественные и качественные показатели результатов воздействия, например деформации, характер и уровень повреждений элементов и соединений НФС (рис.5).

Полученные в результате измерений повреждения, величины усилий и деформаций, динамические характеристики НВФС сравниваются с расчетными значениями и/или нормативными параметрами, а также между собой, в результате чего делаются соответствующие выводы о надежности и безопасности фасадной системы и ее составных элементов.

При этом, начальные динамические характеристики вибростенда, образцов для испытаний определяют заранее с целью выбора наиболее оптимального, с точки зрения решаемых задач, режима испытаний.

Такие испытания проводят, например, путем отяжки верхней точки вибростенда и испытуемой конструкции или иным способом, например, путем включения — выключения источника вибраций, с регистрацией режима затухания колебаний перед началом всего цикла испытаний, в процессе проведения испытаний и после их завершения. Полученные в результате частоты и периоды колебаний также сравниваются с расчетными значениями.

Одновременно с определением динамических характеристик фиксируется начальное техническое состояние конструкции, например отсутствие или наличие повреждений, их характер, размеры трещин, узлов соединений и пр. Эти характеристики также в дальнейшем используются при анализе результатов испытаний.

Параметры динамического нагружения назначают по результатам расчетного анализа, с учетом начальных динамических характеристик опытных образцов НВФС и уточняются на этапах проведения испытаний.

Этапы нагружения выбирают таким образом, чтобы иметь возможность прохождения системой резонанса как от места установки вибратора через вибростенд к НВФС.

Поэтапное изменение уровня нагружения осуществляется посредством регулировки работы вибрационного источника.

Время нагружения определяется при постановке программы испытаний.

### Заключение

В работе рассмотрены основные *требования* по оценке динамической устойчивости и сейсмостойкости навесных вентилируемых фасадных систем (НВФС), которые находят все большее распространение при строительстве и реконструкции зданий и сооружений благодаря своим положительным свойствам.

В соответствии с установленными требованиями предложена *методика* проведения экспериментальных исследований.

Техническим результатом внедренной методики стало создание надежного, относительно простого в эксплуатации и ремонте *вибростенда*, при одновременном удешевлении и повышении его надежности в рамках выполнения работ по экспериментальной оценке и подтверждению динамической устойчивости и сейсмостойкости НВФС.

Благоприятные свойства вибростенда достигаются за счет исключения необходимости обязательного использования при проведении испытаний дорогостоящих виброплатформ, повышения варибельности имитаций нагружения конструкции, при одновременной экономии электроэнергии за счет выполнения источника вибрации съемным, а вибростенда — цельным или съемным переносным.

В результате использования многофункциональных особенностей применяемого вибростенда, возможностей изменения мест установки и количества источников вибрации обеспечивается возможность регулирования частот и амплитуд генерируемых им колебаний в заранее заданных пределах.

Использование вибростенда на практике позволяет приблизить условия испытаний к реальным нагрузкам, возникающим в момент сейсмической активности и других знакопеременных воздействий, в том числе при воздействии пульсационной составляющей ветровой нагрузки и получить более полные данные о динамической устойчивости и сейсмической уязвимости НВФС. При этом, испытания могут выполняться на любой площадке и заводе, путем доставки и установки вибрационного оборудования со стендом к месту планируемых испытаний.

Использование предложенного технического решения вибростенда позволяет максимально обеспечить потребности исследователей при проведении оценки и подтверждения соответствия НВФС установленным требованиям по надежности и безопасности, полученным расчетно-экспериментальным путем.

Комплексные данные, полученные по результатам применения методики, дают возможность высказывать объективное суждение о соответствии проведенных кем-либо испытаний установленным требованиям, а также по достижению нормативных показателей, необходимых для выводов об обеспечении динамической устойчивости и сейсмостойкости НВФС.

### Литература

1. Акбиев Р.Т. *Нормативно-правовые основы экспериментальных исследований в области сейсмостойкого строительства. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. №5. С.56-70.*
2. Айзенберг Я.М., Акбиев Р.Т., Смирнов В.И., Чубаков М.Ж. *Динамические испытания и сейсмостойкость навесных фасадных систем. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №1. С.13-15.*
3. *Проведение комплексных динамических испытаний навесных вентилируемых фасадных систем (НВФС) производства ООО «Юкон Инжиниринг» с целью оценки их сейсмостойкости и повышения надежности для использования при строительстве в сейсмостойких районах Российской Федерации: Отчет о НИР./ЦНИИП градостроительства РААСН. Руководитель Я.М. Айзенберг. — М.: 2008. 60 с. Отв. исполн. Акбиев Р.Т., Чубаков М.Ж. и др.*
4. *Приложение к письму ЦНИИП градостроительства РААСН от 12 мая 2009 года №АК-175. Справка по результатам моделирования, экспериментальных исследований и оценки сейсмостойкости навесных фасадных систем. 20 с.*
5. *RU 100925 U1. Вибростенд для испытаний зданий и сооружений, их фрагментов, моделей-макетов, конструкций и оборудования на динамическую устойчивость и сейсмостойкость. / Акбиев Р.Т.. — № 2010138994/28; Заявл. 22.09.2010 // Изобретения (Заявки и патенты). 2011. № 1* ●