



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел. (495) 781-80-07, факс (499) 183-44-38



УТВЕРЖДАЮ
Директор НТП

О.В. Кабанцев
2022 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

**«Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной
фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»**

Шифр № К.812-21

Арх. № 105461 /

VENTFASAD 24

Директор НИИ ЭМ, к.т.н.

Шувалов А.Н.

Старший научный сотрудник НИИ ЭМ, к.т.н.

Грановский А.В.

МОСКВА 2022

*Подготовка к заключению договоров на разработку проектной документации и выполнение
инженерных изысканий от имени НИУ МГСУ осуществляется только*

*Научно-техническим управлением
тел.: +7 (495) 739-03-14; e-mail: ntuinfo@mgsu.ru*



Список исполнителей

Директор НИИ ЭМ, к.т.н.

(подпись, дата)

Шувалов А.Н.

Заместитель директора НИИ ЭМ

(подпись, дата)

Корнев О.А.

Заведующий ЛДС, к.т.н.

(подпись, дата)

Смирнов В.А.

Старший научный сотрудник
НИИ ЭМ, к.т.н.

(подпись, дата)

Грановский А.В.

Инженер 2 кат. ЛДС

(подпись, дата)

Смоляков М.Ю.

Нормоконтролер

(подпись, дата)

Ковалев М.Г.

VENTFASAD 24



Содержание

Введение.....	4
1 Конструктивное решение навесных фасадных систем.....	6
2. Описание процесса монтажа несущих конструкций с различными видами облицовок НФС.....	30
3. Экспериментальные исследования сейсмостойкости.....	32
НФС «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок	
3.1 Объект исследования.....	32
3.2 Программа и методика испытаний. Измерительные приборы и оборудование.....	32
3.2.1 Силовое оборудование и измерительные приборы.....	32
3.2.2. Программа и методика динамических испытаний.....	48
3.3. Результаты динамических испытаний НФС и их анализ.....	52
3.3.1 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 7 баллов (по полной - 1-20 Гц и укороченной -2,5-6 Гц программам испытаний).....	52
3.3.2 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов (по полной - 1-20 Гц и укороченной -2,5-6 Гц программам испытаний).....	62
3.3.3 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 9 баллов.....	71
Заключение.....	81
Список использованных источников.....	84
Приложение 1 Техническое задание.....	85
Приложение 2 Таблицы результатов динамических испытаний НФС. Акселерограммы ускорений и перемещений элементов НФС.....	88
Приложение 3 Огибающие кривых коэффициента динамичности.....	1300
Приложение 4 Методика расчетной оценки сейсмостойкости фасадной системы.....	1388
Приложение 5 Свидетельства о проверке измерительной и испытательной аппаратуры.....	142
Приложение 6 Видеозапись эксперимента.....	145



Введение

Настоящий Технический отчет составлен в соответствии с ТЗ к договору № К.812-21 от 29 ноября 2021 г. по результатам проведенных экспериментальных исследований сейсмостойкости конструкции навесных фасадных систем «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок.

Цель работы: оценка сейсмостойкости фрагмента навесной фасадной системы (далее – НФС) «РЕВЕНТАЛ» при использовании в качестве облицовок фиброцементных и керамогранитных плит, клинкерной плитки из мелкозернистого бетона и плит из натурального камня – известняка марки Cassiopea (White) толщиной 25 мм.

Необходимость проведения экспериментальных исследований НФС связано с требованиями Федерального Закона ФЗ 384 (гл.3, ст.15, п.6): «Расчеты и (или) испытания должны быть выполнены по сертифицированным или апробированным способам и методикам» и СП 14.13330.2018 (с изменением №1, п.16 а11) [2]: «Применение фасадных конструкций должно соответствовать условиям, для которых в отношении данного типа НФ выполнялись испытания на сейсмостойкость».

Экспериментальные исследования включали в себя проведение динамических испытаний НФС, в которых были использованы указанные выше виды облицовок, на действие нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7-9 баллов по шкале MSK-64. Элементы подсистем и облицовок приняты в соответствии с Альбомом [1].

Динамические испытания проводились с использованием специального испытательного оборудования, разработанного в НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

Для проведения динамических испытаний НФС Заказчиком были доставлены в Лабораторию натурных испытаний НИИ ЭМ НИУ МГСУ по адресу: г. Мытищи, Олимпийский проспект, 50 – необходимые несущие элементы подконструкции НФС и различные виды облицовок. Проведенный анализ используемого в Европе и странах СНГ экспериментального оборудования по сейсмическим испытаниям навесных фасадных систем (см. Раздел 3 настоящего отчета) позволяет сделать вывод, что применяемый в НИИ ЭМ НИУ МГСУ стенд для испытания НФС и оборудование к нему обеспечивает получение необходимой информации о поведении элементов НФС при динамических воздействиях с учетом уровня состояния на сегодняшний день науки по сейсмостойкому строительству.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата		4



Все испытательное оборудование и измерительные приборы имеют действующие сертификаты о поверке (см. Приложение 4 настоящего технического отчета).

Монтаж несущих элементов подконструкций НФС «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок осуществлялся силами Заказчика при одновременном контроле качества монтажа непосредственно Исполнителем – НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

Монтаж и динамические испытания фасадной системы проводились в период с 27.12 по 30.12.2021г.



					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		5



1 Конструктивное решение навесных фасадных систем

Для проведения динамических испытаний Заказчиком были доставлены в Лабораторию натурных испытаний НИИ ЭМ НИУ МГСУ несущие и ограждающие элементы подконструкций НФС «РЕВЕНТАЛ». В соответствии с ТЗ при монтаже были использованы фрагменты навесных фасадных систем с использованием видов облицовок, указанных ниже. На рисунке 1.1 показана схема расположения вариантов НФС с использованными в эксперименте видами облицовок.

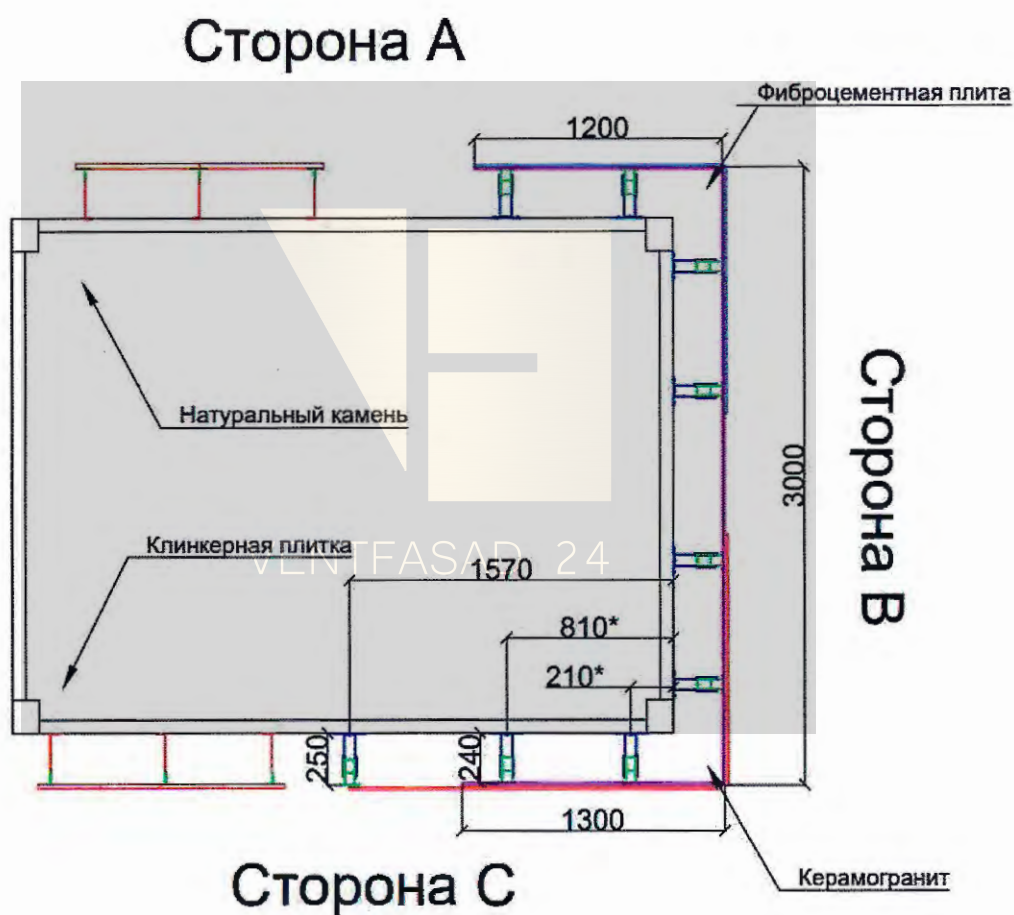


Рисунок 1.1 План расположения различных НФС на стене

С учетом вида облицовок панелей при испытаниях использовались следующие конструктивные варианты НФС.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Док. №	Подп.	Дата		6



Сторона А. Облицовка из натурального камня (рисунки 1.1, 1.2)

На рисунке 1.2 показан общий вид стенда в зоне установки облицовки из фиброцементных плит и натурального камня. Для монтажа использована НФС марки «REVENTAL-RLS-HIS-V-130», предназначенная для облицовки фасадов зданий плитами из натурального камня. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялась по классической схеме с расположением кронштейнов с шагом 515×600 (1200) мм (рисунок 1.3). Кронштейны (несущие и опорные) марки RLS-BR-XL-220150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060Т66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.4).

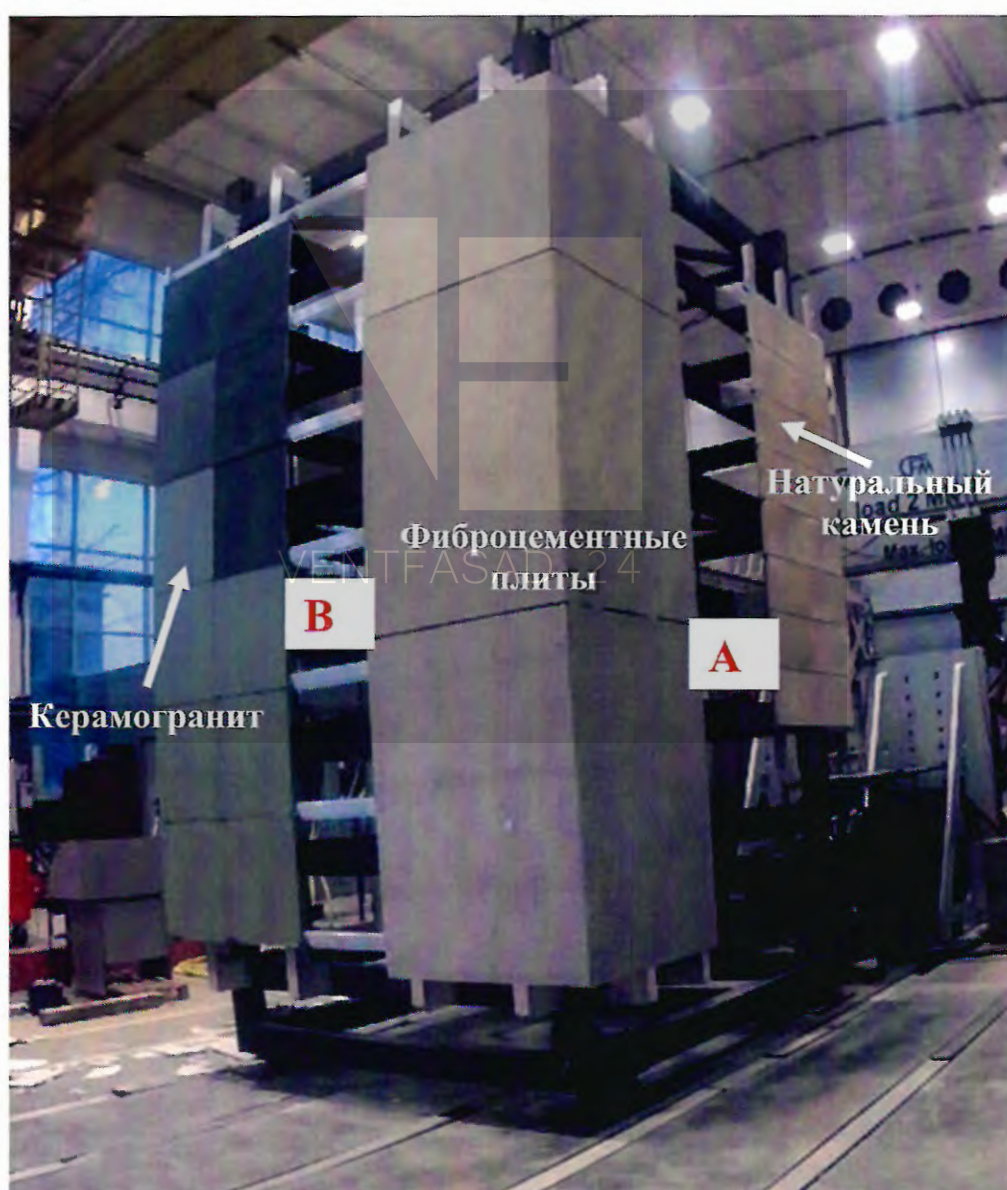
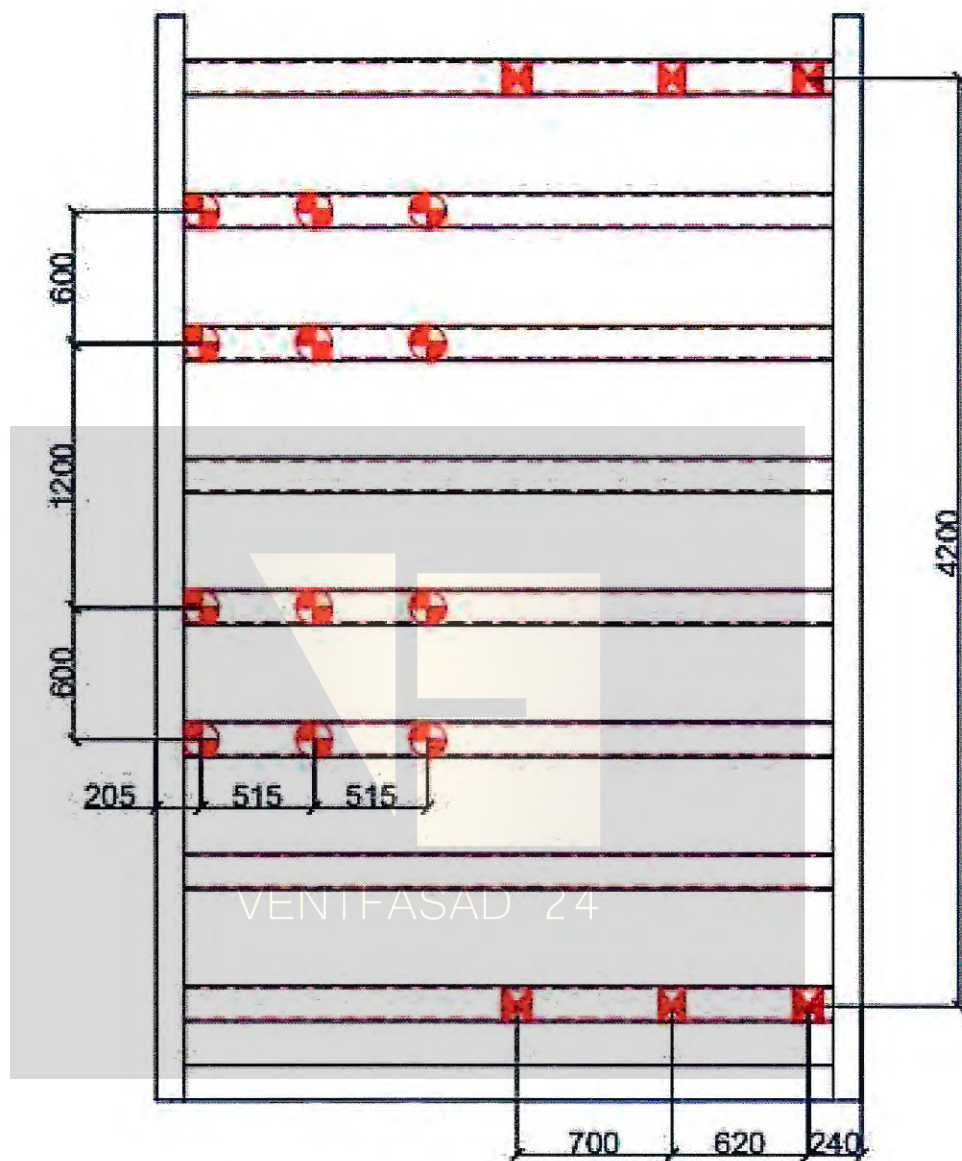


Рисунок 1.2 Общий вид смонтированного участка стенда
(стороны «А» и «В» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						7
Изм.	Лист	Модокум.	Подп.	Дата		



- ☒ - Кронштейн HIS-BR-XL-210150
☐ - Кронштейн RLS-BR-XL-220150

Рисунок 1.3 Схема расстановки кронштейнов (Сторона «А» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 8
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



Рисунок 1.4 Узел крепления направляющих к кронштейну и кронштейна – к стенду.

Вертикальные направляющие марки RLS-GU-T-608218, выполненные из того же алюминиевого сплава, крепятся к кронштейнам с помощью вытяжных заклепок марки 4,8×12 A2/A2 из коррозионностойкой стали с сердечником из коррозионностойкой стали (рисунок 1.4). Горизонтальные направляющие из алюминиевого сплава марок EQ-ST-F-10 и EQ-ST-H-10 (рисунок 1.5) крепятся к вертикальным направляющим.

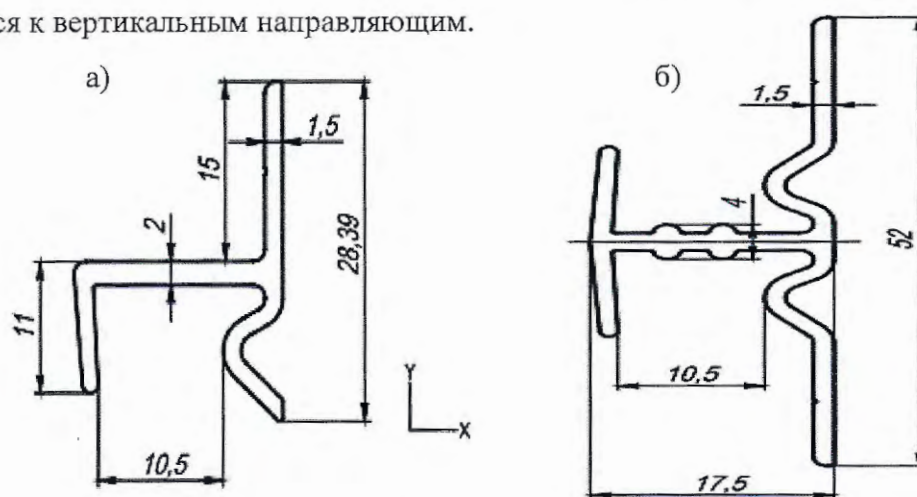
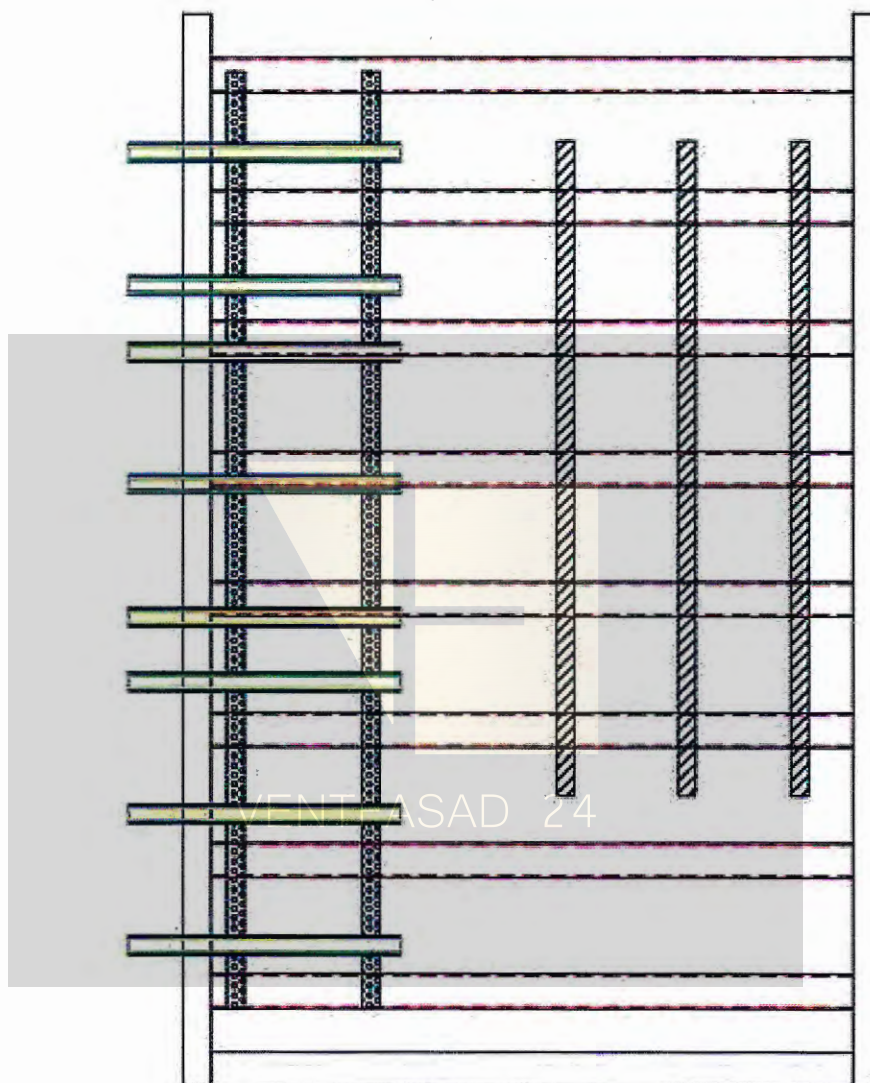


Рисунок 1.5 Горизонтальные направляющие: завершающая (а) и рядовая (б)



На рисунках 1.6, 1.7 приведены схемы расположения на стенде вертикальных и горизонтальных профилей перед монтажом облицовки из натурального камня. На фото рисунка 1.8 изображен фрагмент фасада в зоне установки облицовки из натурального камня.



-  - профиль RLS-GU-T-608218
-  - профиль HIS-GU-12582
-  - профиль EQ-UNI-1085

Рисунок 1.6 Схема расстановки профилей (Сторона «А» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 10
Изм.	Лист	Налогок.	Подп.	Дата		

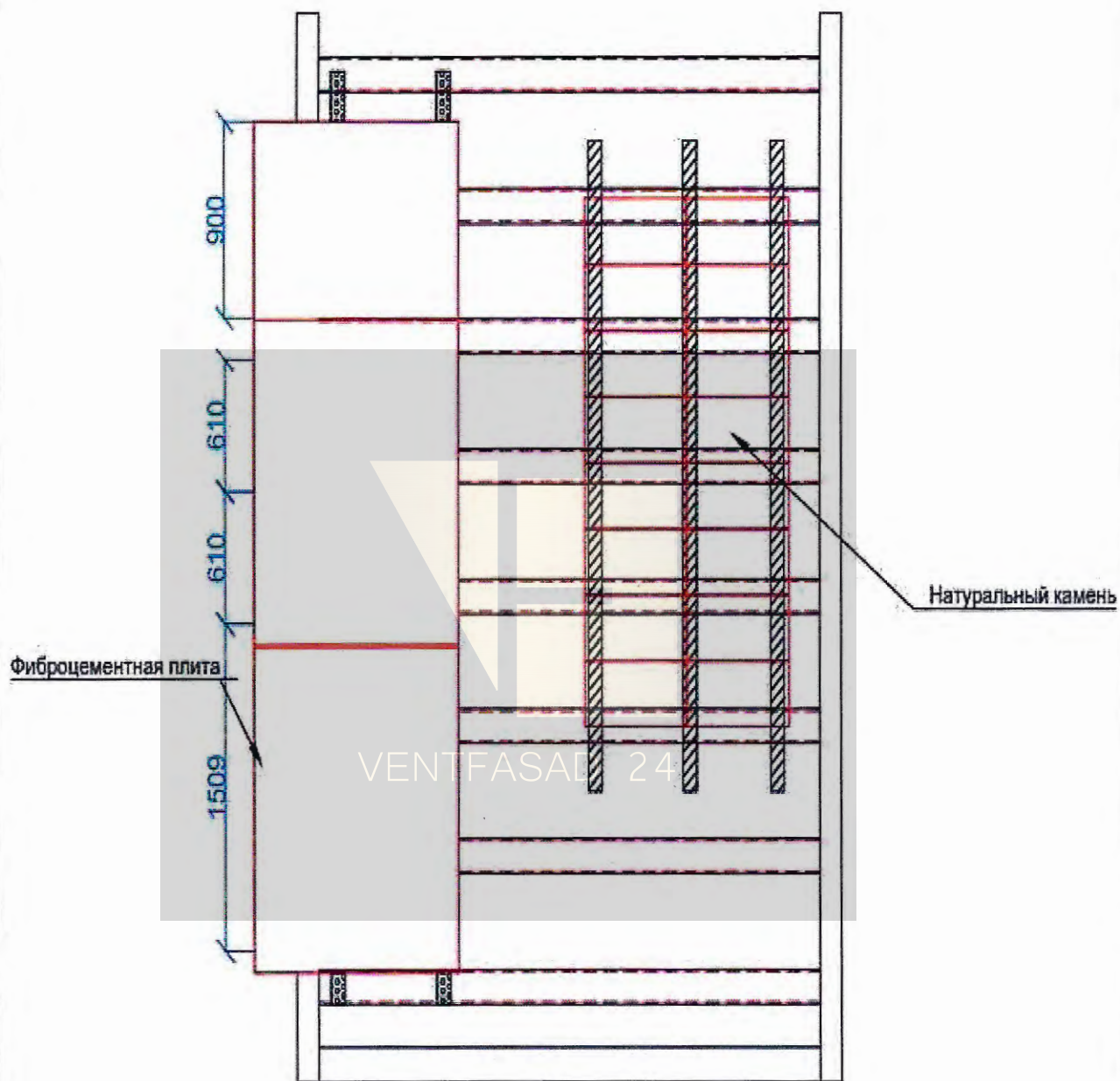


Рисунок 1.7 Схема расположения облицовок (сторона «А» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		11



Рисунок 1.8 Узел крепления облицовки из натурального камня к элементам подсистемы НФС

Стороны А и В. Облицовка из фиброцементных плит (рисунки 1.1, 1.2, 1.9).

На рисунках 1.2, 1.9 показан общий вид стенда со стороны «В» в зоне установки облицовки из фиброцементных плит. Для монтажа облицовки из фиброцементных панелей использована НФС марки «REVENTAL-RLS-HIS-V-121», предназначенная для облицовки фасадов зданий фиброцементными плитами. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялась по межэтажной схеме с расположением кронштейнов с шагом 620 (700) × 4200 мм (рисунок 1.3). Кронштейны марки HIS-BR-XL-210150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060Т66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.10) с овальными отверстиями 11×22 мм. В зонах температурных швов используются кронштейны, имеющие овальные отверстия в зоне крепления к направляющим. Для крепления фиброцементных панелей к подсистеме запроектированы вспомогательные горизонтальные направляющие (рисунки 1.10,



1.11). Для крепления элементов подсистемы между собой использовались алюминиевые заклепки из нержавеющей стали 4,8×12 A2/A2. Для крепления облицовки к вспомогательным горизонтальным направляющим использовались заклепки из нержавеющей стали марки 4,8×22 A2/ A2 K14— рисунок 1.12.



Рисунок 1.9 Общий вид смонтированного участка стенда (сторона «В» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Несдокум.	Подп.	Дата		13

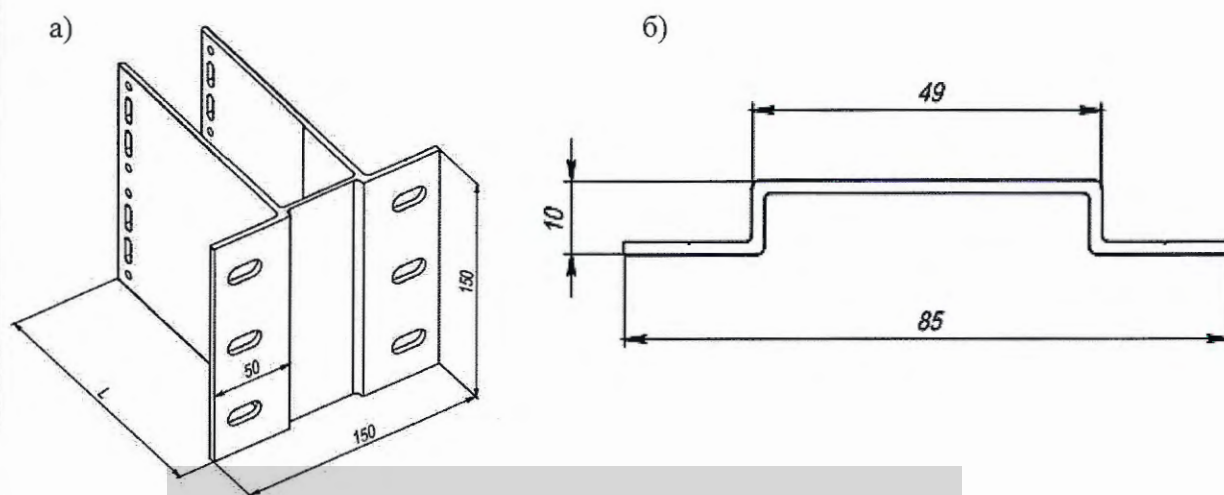


Рисунок 1.10 Элементы подсистемы: кронштейн (а) и вспомогательный профиль (б)



Рисунок 1.11 Общий вид узловых соединений в зонах крепления облицовки к вспомогательным горизонтальным направляющим и вертикальным направляющим – к кронштейнам

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		14

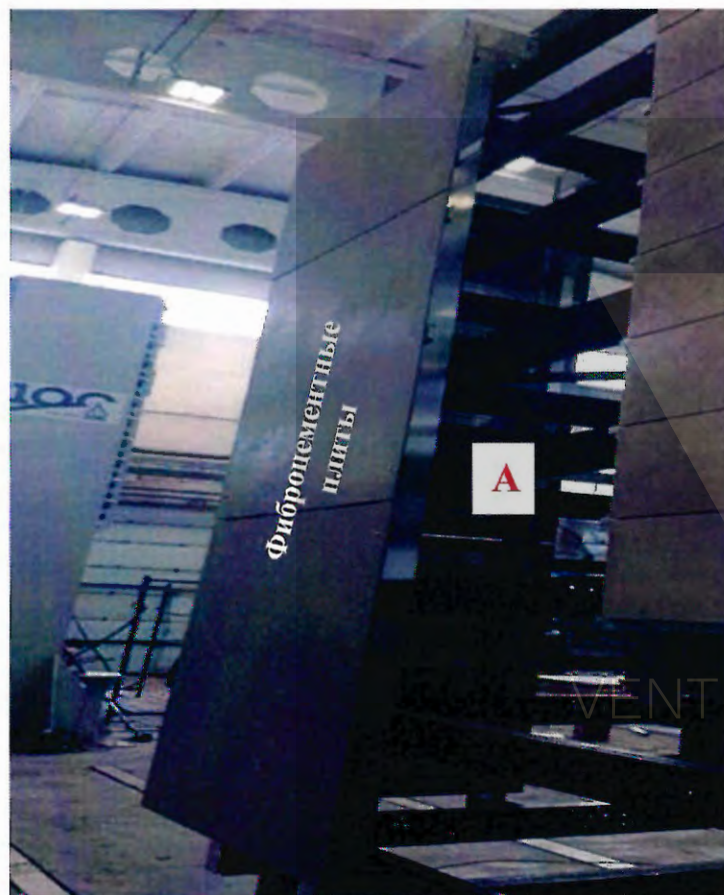
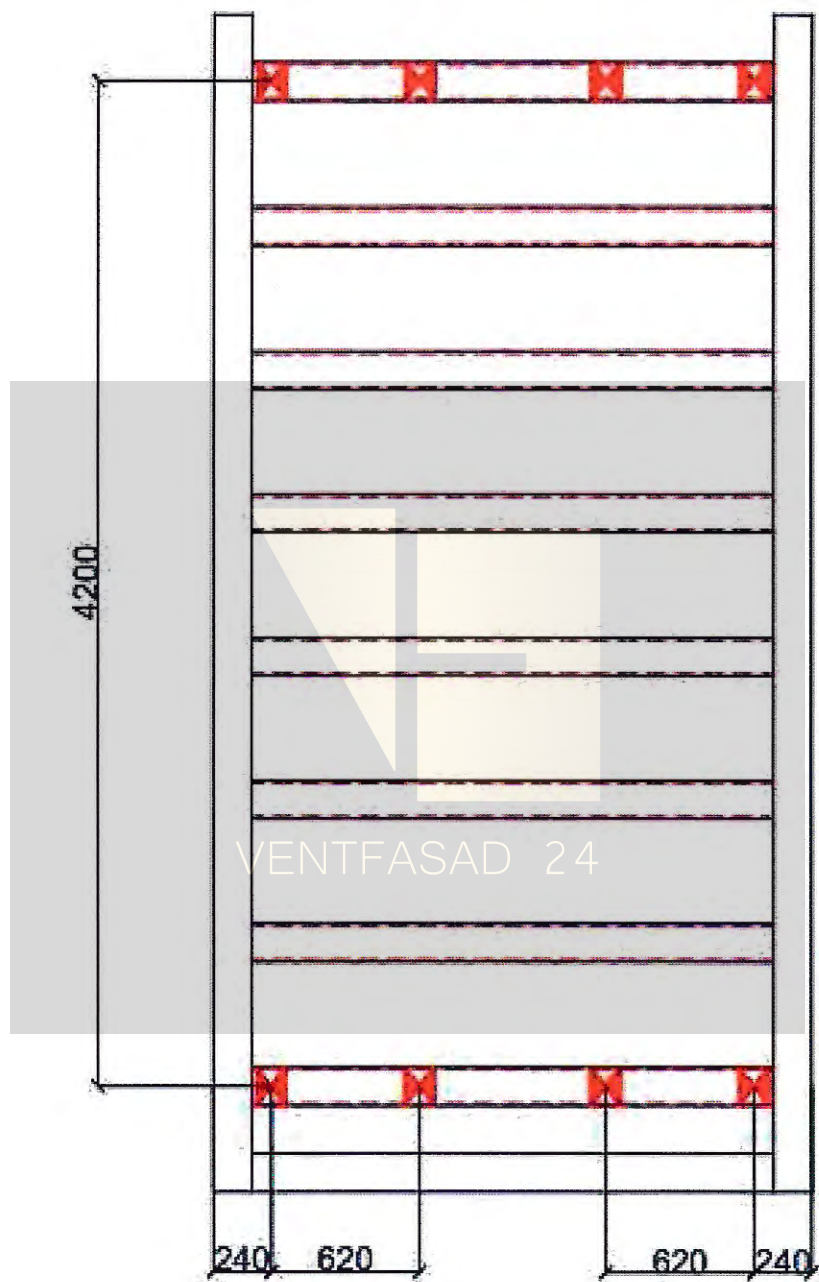


Рисунок 1.12 Фрагменты фасада (сторона «А») в зоне установки облицовки из фиброцементных плит

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата



На рисунках 1.13-1.15 показаны, соответственно, схемы расположения кронштейнов, направляющих и облицовки.



- Кронштейн HIS-BR-XL-210150

Рисунок 1.13 Схема расстановки кронштейнов (Сторона «В» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 16
Изм.	Лист	Летокум.	Подп.	Дата		

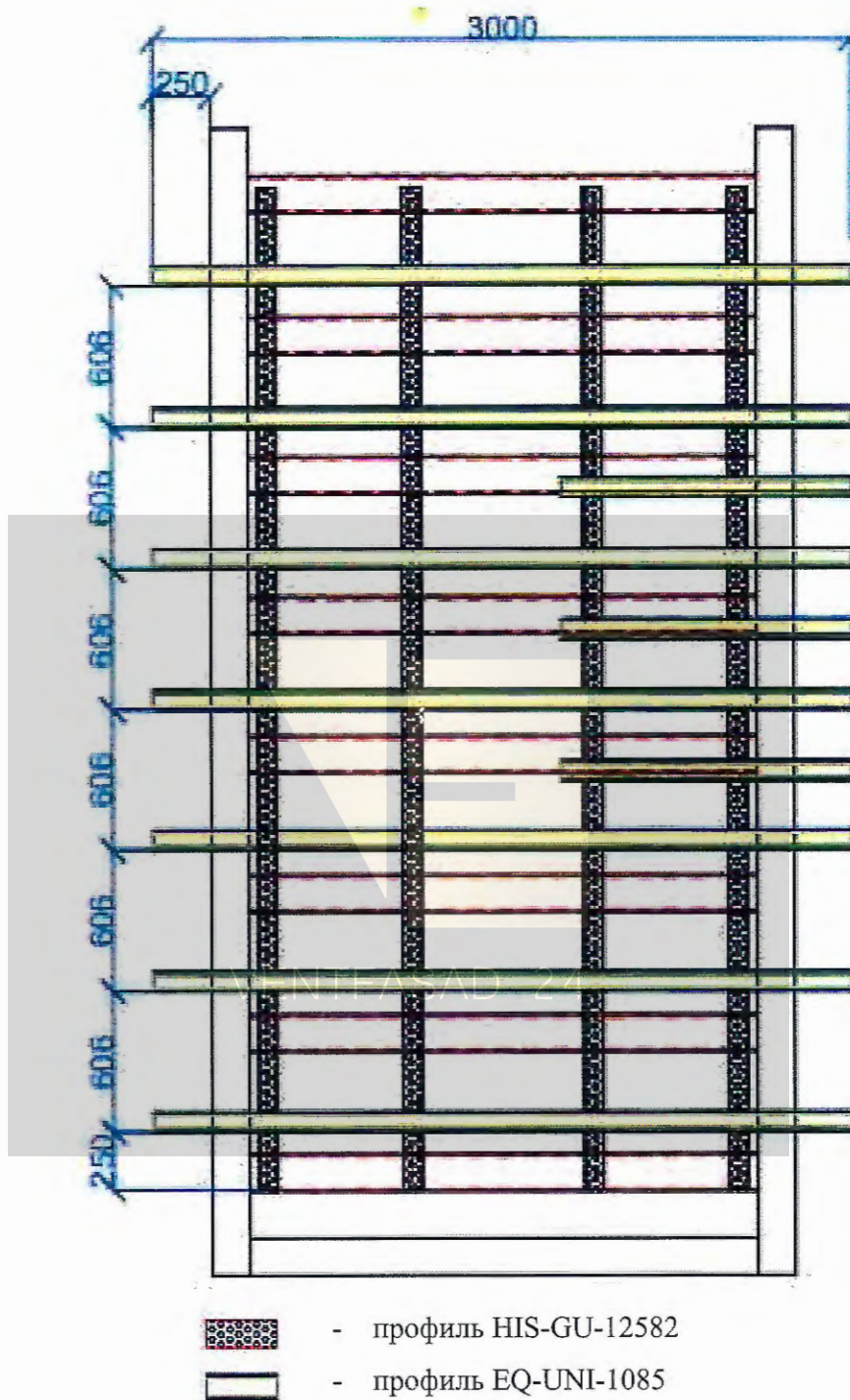


Рисунок 1.14 Схема расстановки профилей (Сторона «В» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист 17
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

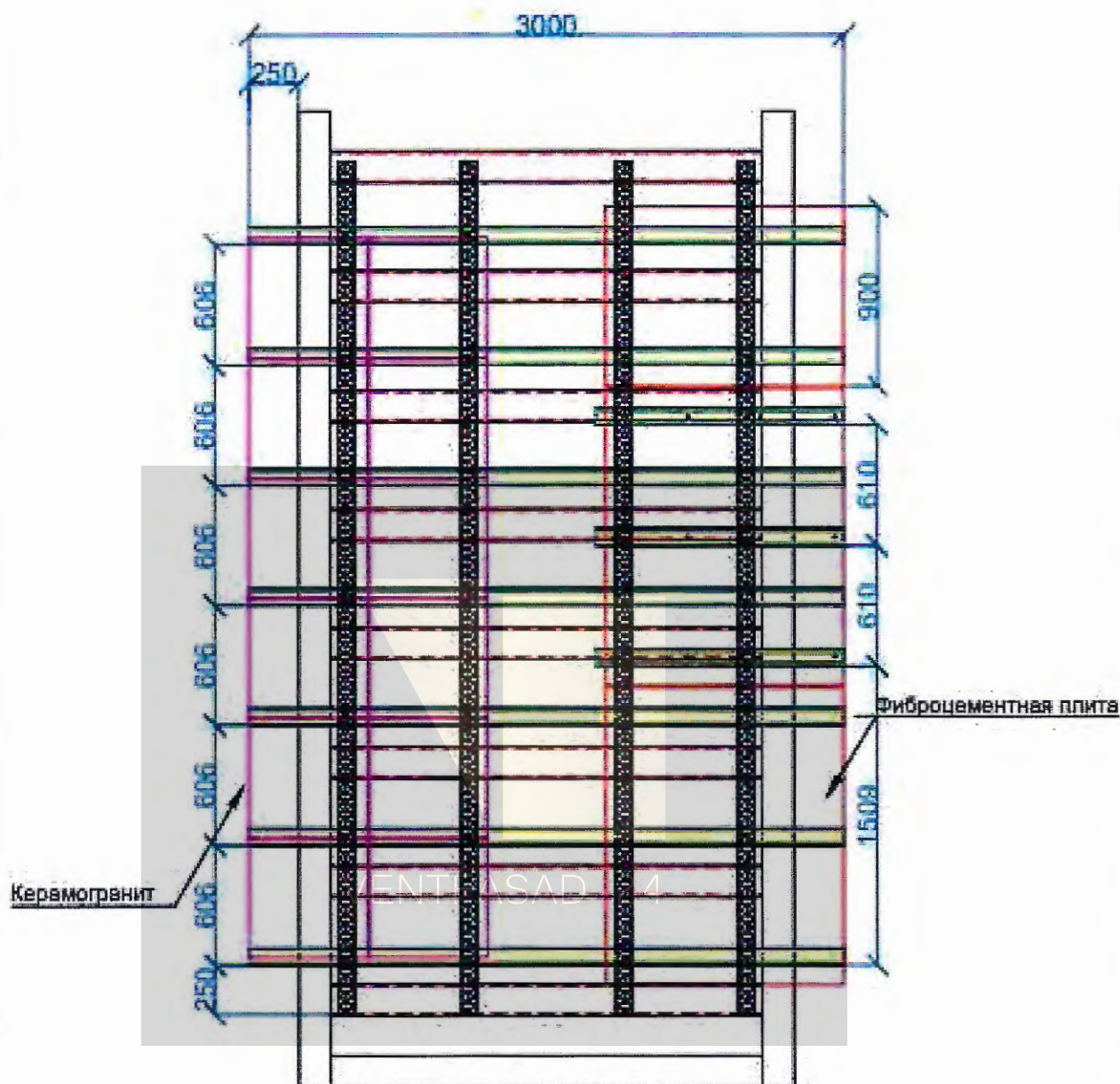


Рисунок 1.15 Схема расположения облицовок (Сторона «В» - рисунок 1.1)

Стороны В и С. Облицовка из керамогранитных плит (рисунки 1.1, 1.9, 1.16).

На рисунках 1.9, 1.16 показаны общий вид стенда со сторон «В» и «С» в зоне установки облицовки из керамогранитных плит размером 600×600 мм. Для монтажа облицовки из керамогранитных плит использована НФС марки «REVENTAL-RLS-HIS-V-130», предназначенная

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 18
Изм.	Лист	Лодокум.	Подп.	Дата		



для облицовки фасадов зданий керамогранитными плитами. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялась по межэтажной схеме с расположением кронштейнов с шагом 620 (700) × 4200 мм (рисунок 1.3). Кронштейны марки HIS-BR-XL-210150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060T66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.10) с овальными отверстиями 11×22 мм. В зонах температурных швов используются кронштейны, имеющие овальные отверстия в зоне крепления к направляющим. Для крепления фиброцементных панелей к подсистеме запроектированы вспомогательные горизонтальные направляющие (рисунки 1.10, 1.11). Для крепления элементов подсистемы между собой использовались алюминиевые заклепки марки 4,8×12 A2/A2. Для крепления кляммеров к вспомогательным горизонтальным и вертикальным направляющим применялись заклепки марки 4,0×12 A2/A2. На рисунке 1.17 показана схема крепления клинкерной плитки с помощью подсистемы НФС к стеновому основанию. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялось по межэтажной схеме с расположением кронштейнов с шагом 620 (700) × 4200 мм (рисунок 1.18). Кронштейны марки HIS-BR-XL-210150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060T66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.10) с овальными отверстиями 11×22 мм. В зонах температурных швов используются кронштейны, имеющие овальные отверстия в зоне крепления к направляющим. Для крепления фиброцементных панелей к подсистеме запроектированы вспомогательные горизонтальные направляющие (рисунки 1.10, 1.11). Для крепления элементов подсистемы между собой использовались алюминиевые заклепки марки 4,8×12 A1/A1. Для крепления кляммеров к вспомогательным горизонтальным и вертикальным направляющим применялись заклепки марки 4,0×12 A2/A2. На рисунках 1.19-1.20 приведены схемы крепления направляющих к кронштейнам и расположение облицовки из керамогранитных плит относительно направляющих. На рисунках 1.21-1.23 показаны конструкция рядового и углового кляммеров и их узловые соединения.



для облицовки фасадов зданий керамогранитными плитами. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялась по межэтажной схеме с расположением кронштейнов с шагом 620 (700) × 4200 мм (рисунок 1.3). Кронштейны марки HIS-BR-XL-210150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060Т66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.10) с овальными отверстиями 11×22 мм. В зонах температурных швов используются кронштейны, имеющие овальные отверстия в зоне крепления к направляющим. Для крепления фиброцементных панелей к подсистеме запроектированы вспомогательные горизонтальные направляющие (рисунки 1.10, 1.11). Для крепления элементов подсистемы между собой использовались алюминиевые заклепки марки 4,8×12 А2/А2. Для крепления кляммеров к вспомогательным горизонтальным и вертикальным направляющим применялись заклепки марки 4,0×12 А2/А2. На рисунке 1.17 показана схема крепления клинкерной плитки с помощью подсистемы НФС к стеновому основанию. В принятой НФС крепление элементов несущего каркаса (кронштейнов) осуществлялось по межэтажной схеме с расположением кронштейнов с шагом 620 (700) × 4200 мм (рисунок 1.18). Кронштейны марки HIS-BR-XL-210150 запроектированы из алюминиевого сплава марки 6060Т66 по ГОСТ 4784-2019 (рисунок 1.10) с овальными отверстиями 11×22 мм. В зонах температурных швов используются кронштейны, имеющие овальные отверстия в зоне крепления к направляющим. Для крепления фиброцементных панелей к подсистеме запроектированы вспомогательные горизонтальные направляющие (рисунки 1.10, 1.11). Для крепления элементов подсистемы между собой использовались алюминиевые заклепки марки 4,8×12 А1/А1. Для крепления кляммеров к вспомогательным горизонтальным и вертикальным направляющим применялись заклепки марки 4,0×12 А2/А2. На рисунках 1.19-1.20 приведены схемы крепления направляющих к кронштейнам и расположение облицовки из керамогранитных плит относительно направляющих. На рисунках 1.21-1.23 показаны конструкция рядового и углового кляммеров и их узловые соединения.

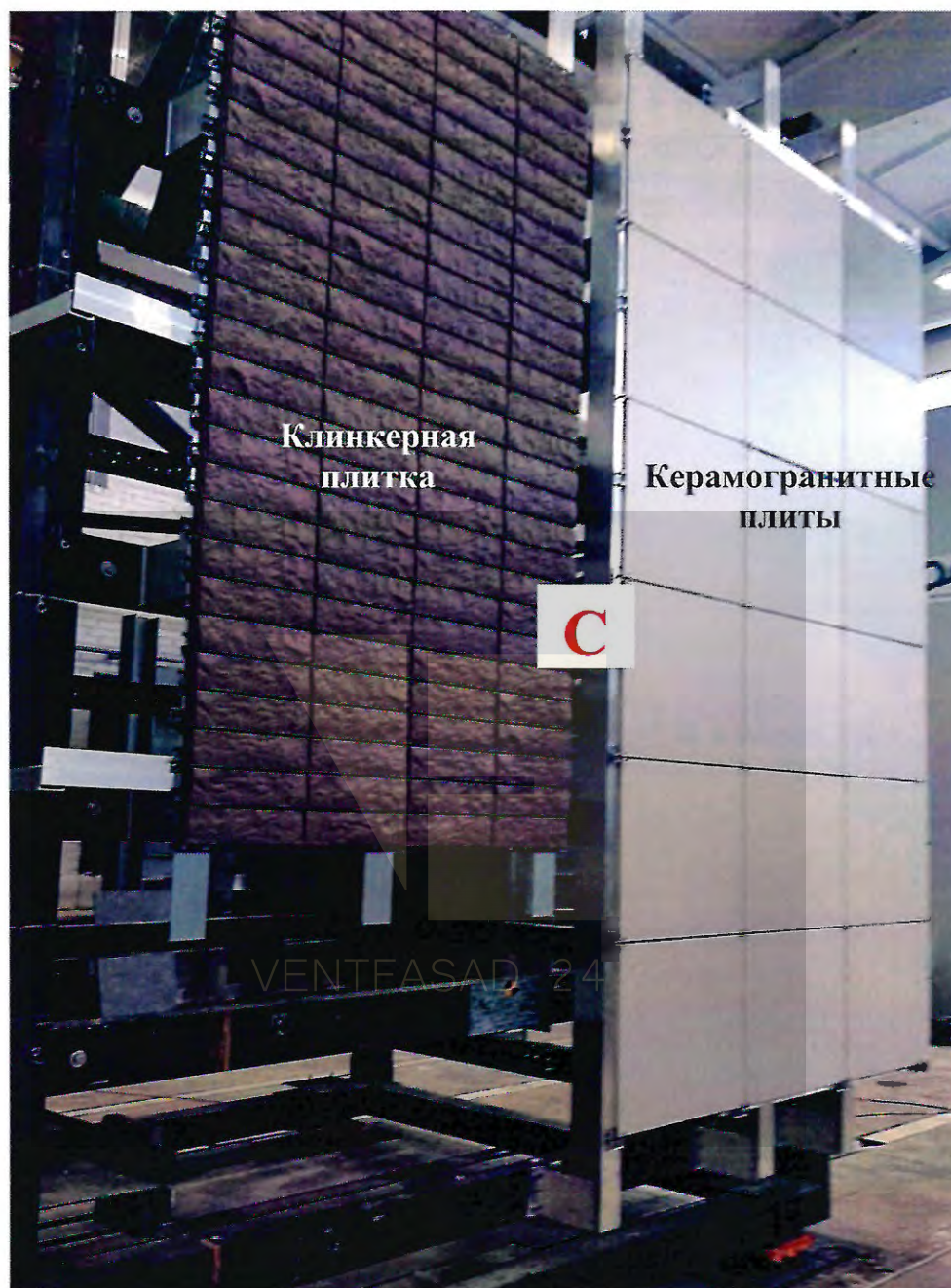


Рисунок 1.16 Общий вид смонтированного участка стенда (сторона «С» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						20
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

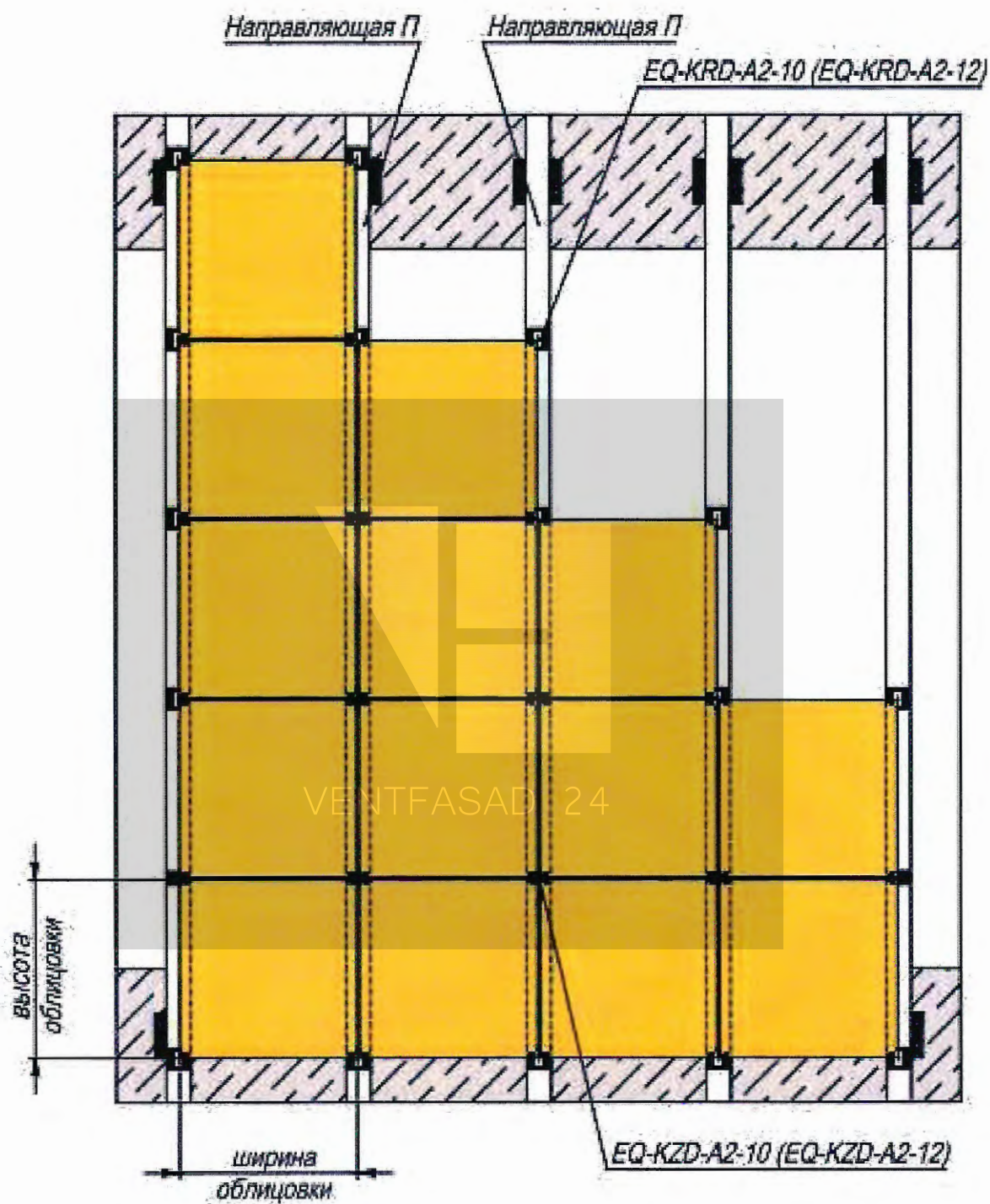
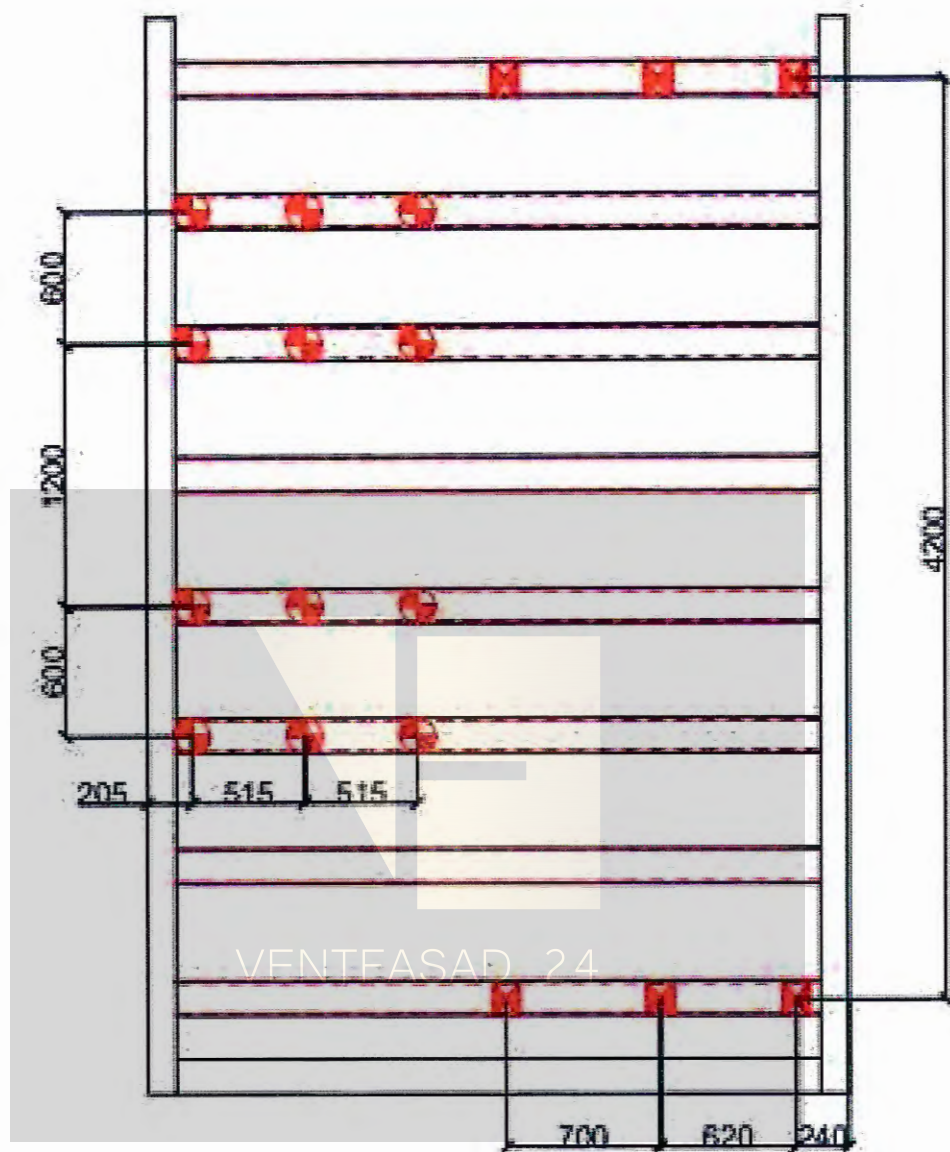


Рисунок 1.17 Проектное решение расположения облицовки из
керамогранитных плит на фасаде

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 21
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

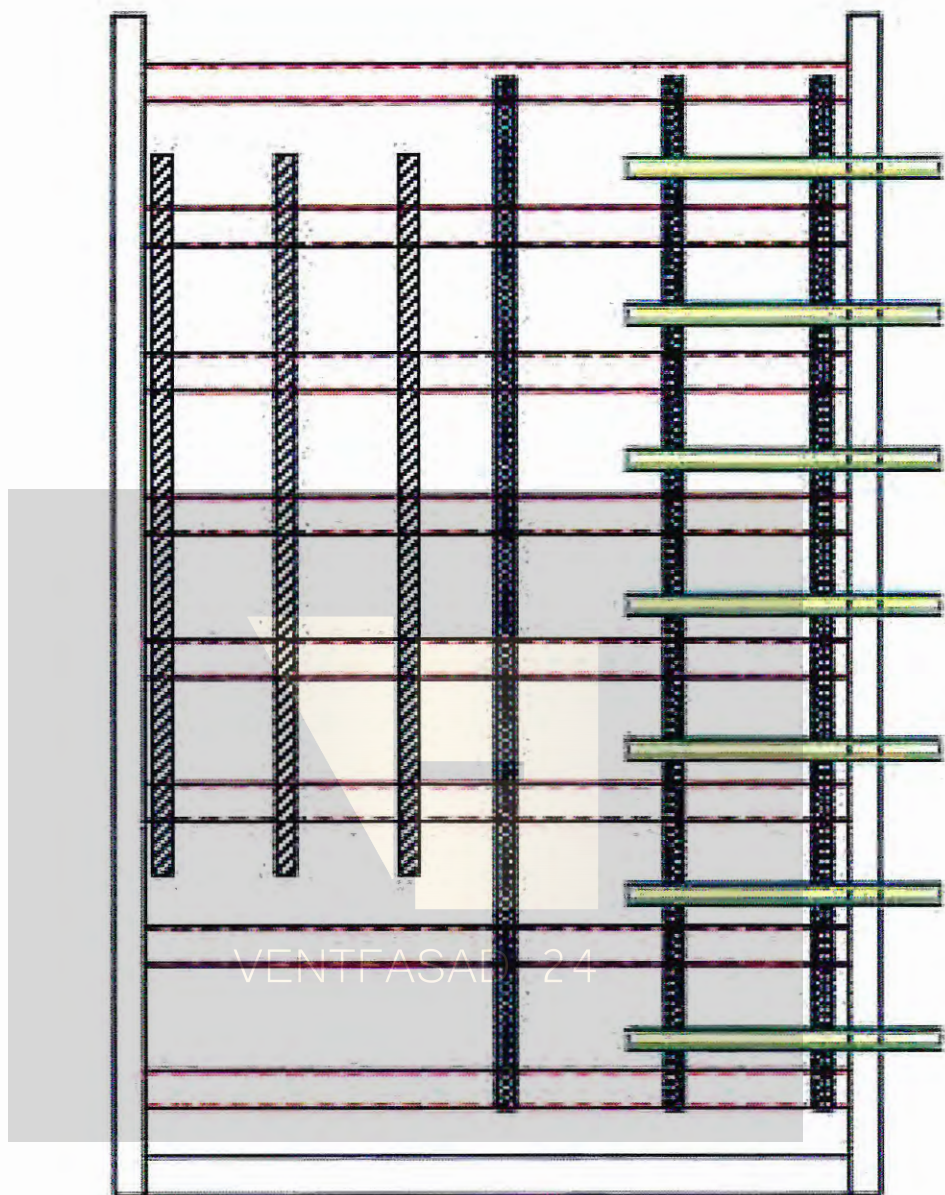


☒ - Кронштейн HIS-BR-XL-210150

⊕ - Кронштейн RLS-BR-XL-220150

Рисунок 1.18 Схема расположения кронштейнов (Сторона «С» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата		22



-  - профиль RLS-GU-T-608218
-  - профиль HIS-GU-12582
-  - профиль EQ-UNI-1085

Рисунок 1.19 Схема расположения профилей (Сторона «С» - рисунок 1.1)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		23

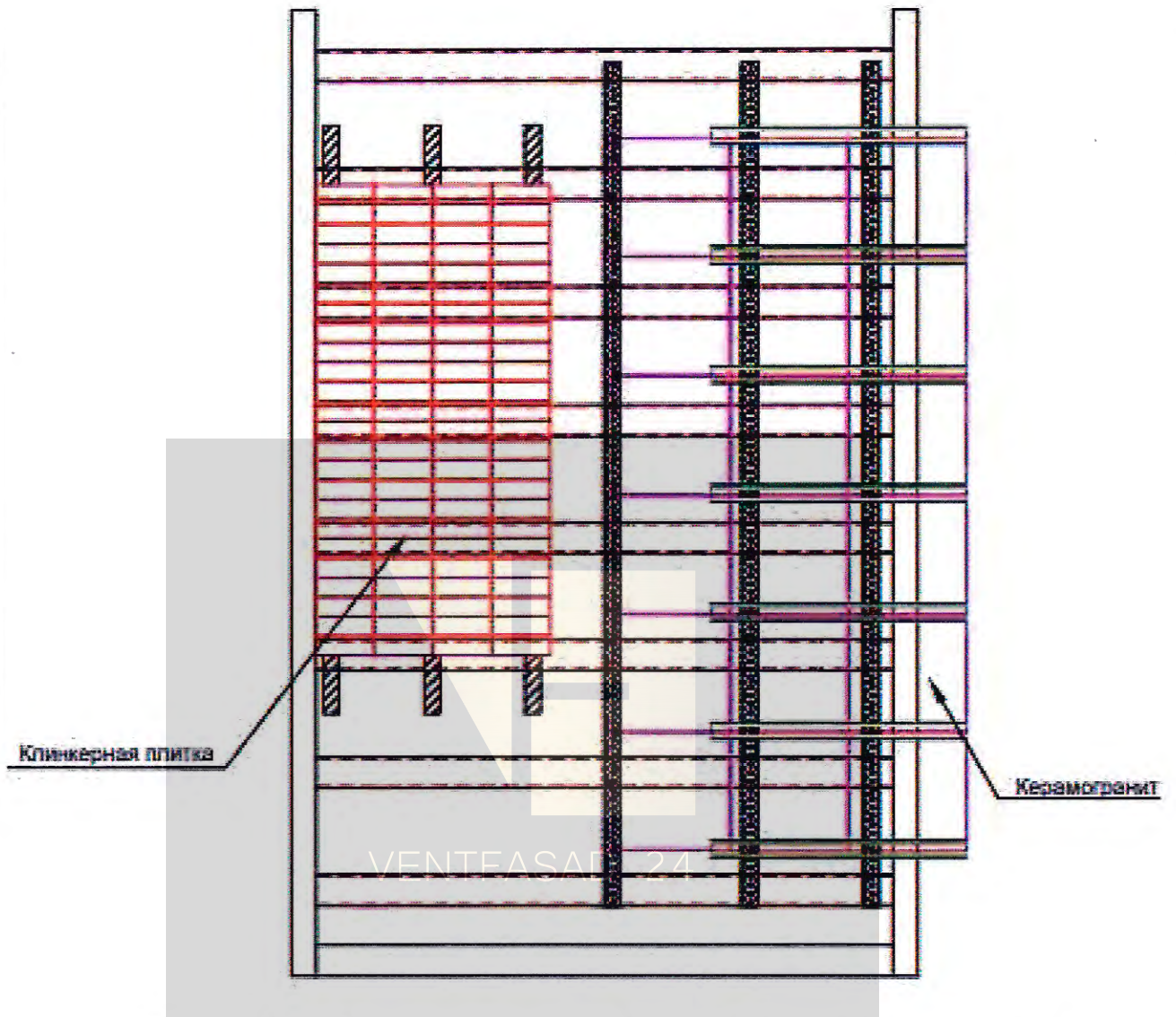


Рисунок 1.20 Схема расположения облицовки (Сторона «С» - рисунок 1.1)

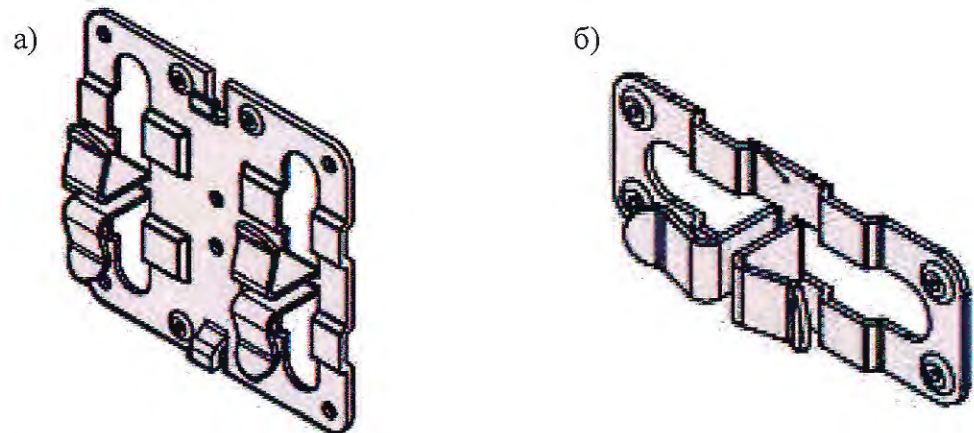


Рисунок 1.21 Общий вид рядового (а) и углового (б) кляммеров

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

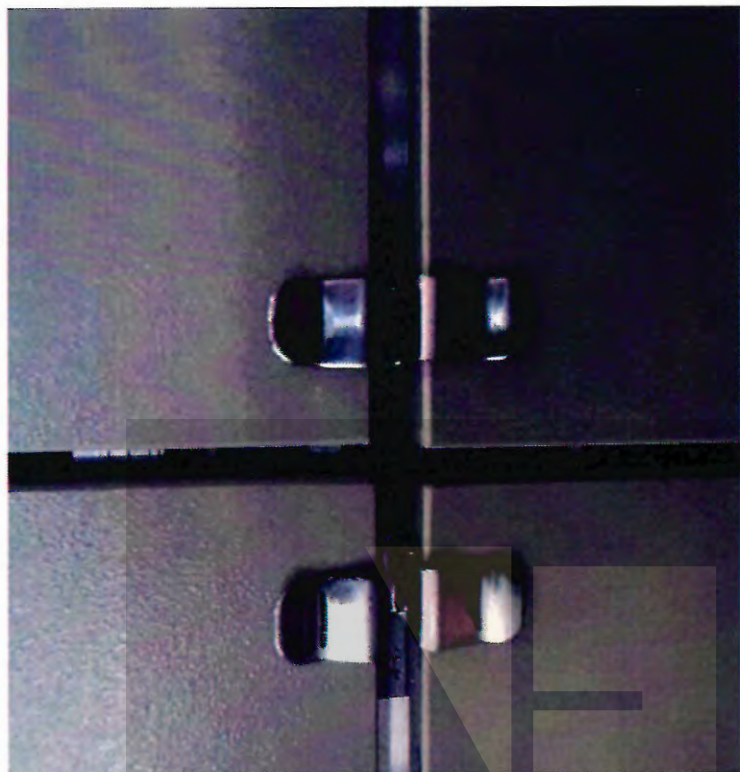
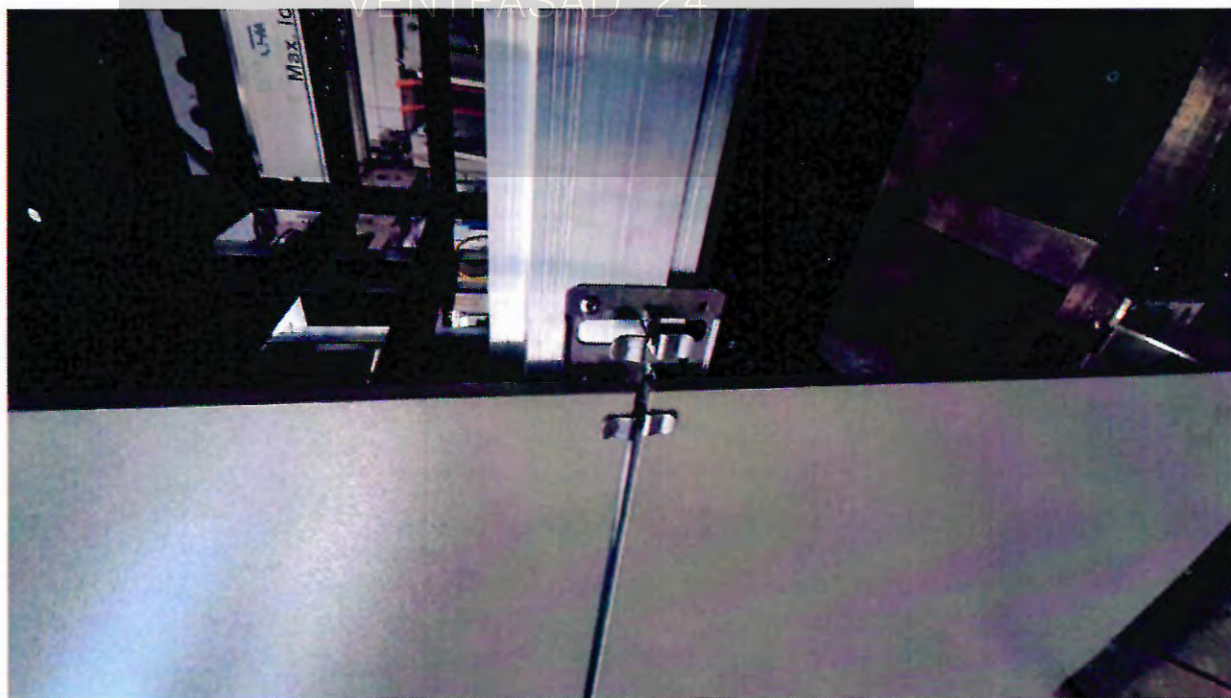


Рисунок 1.22 Узлы крепления керамогранитных плит с помощью клипмеров к несущим элементам подсистемы НФС



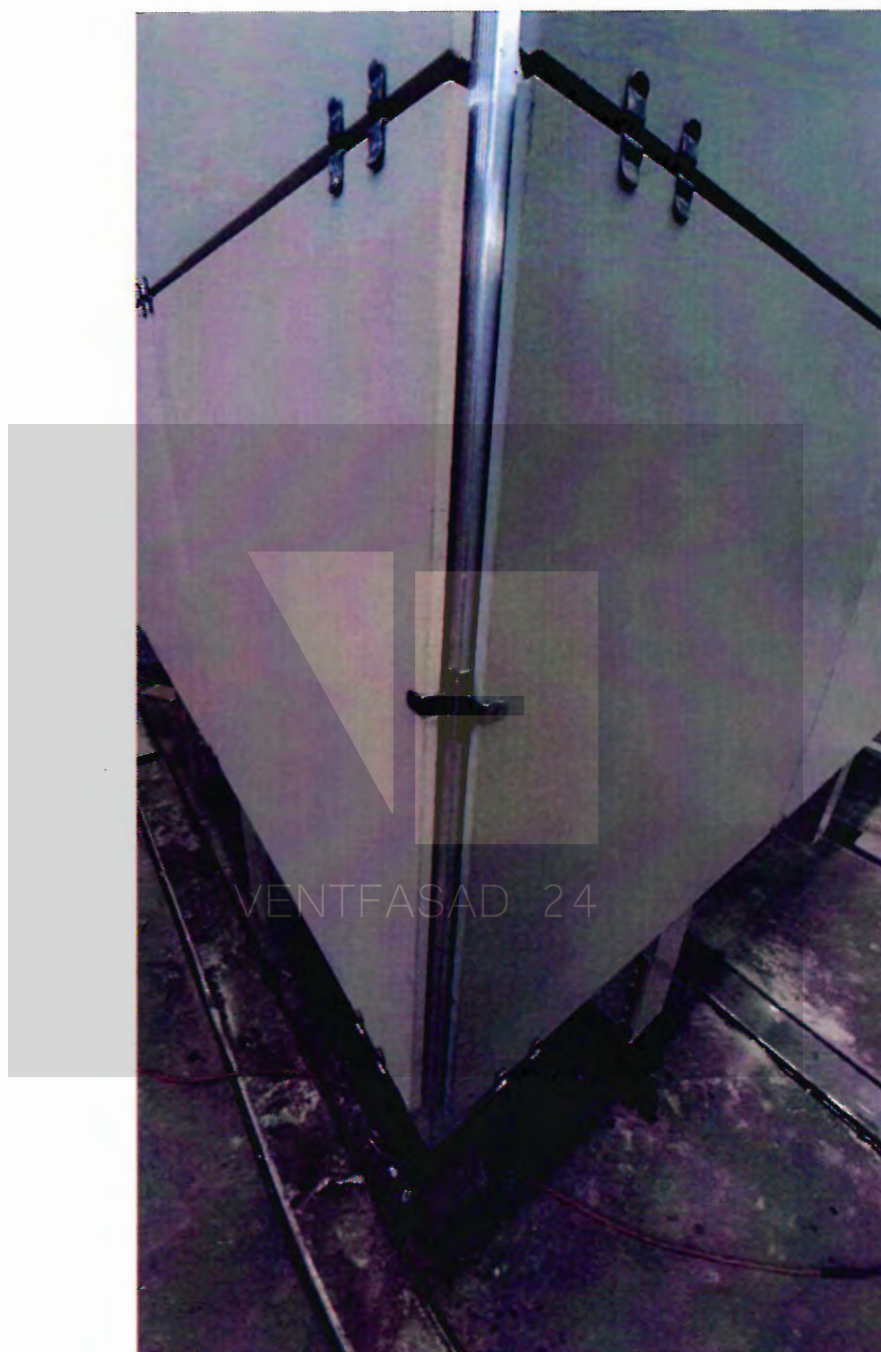


Рисунок 1.23 Фрагмент крепления облицовки в угловой зоне НФС



Сторона С. Облицовка клинкерной плиткой (рисунки 1.1, 1.16).

На рисунке 1.16 показан общий вид стенда со стороны «С» в зоне установки облицовки из клинкерной плитки. Для монтажа облицовки из клинкерной плитки использована НФС марки «REVENTAL-RLS-HIS-V-130». На рисунках 1.18-1.20 приведены схемы расположения кронштейнов на стенде, направляющих и облицовки. На рисунках 1.24, 1.25 показаны проектные решения расположения горизонтальных направляющих при использовании в качестве облицовки клинкерной плитки. На рисунке 1.26 изображен стенд в зоне расположения облицовки из клинкерной плитки.

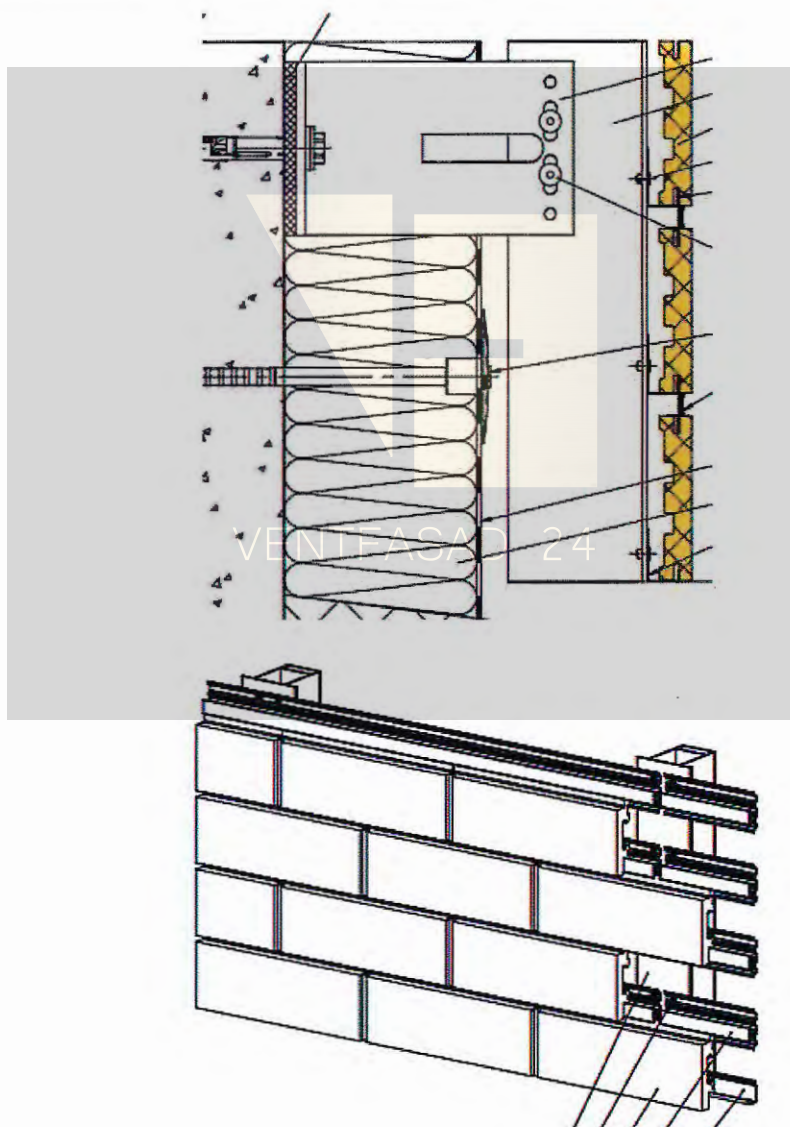


Рисунок 1.24 Проектное решение крепления горизонтальных направляющих к вертикальным при использовании облицовки из клинкерной плитки

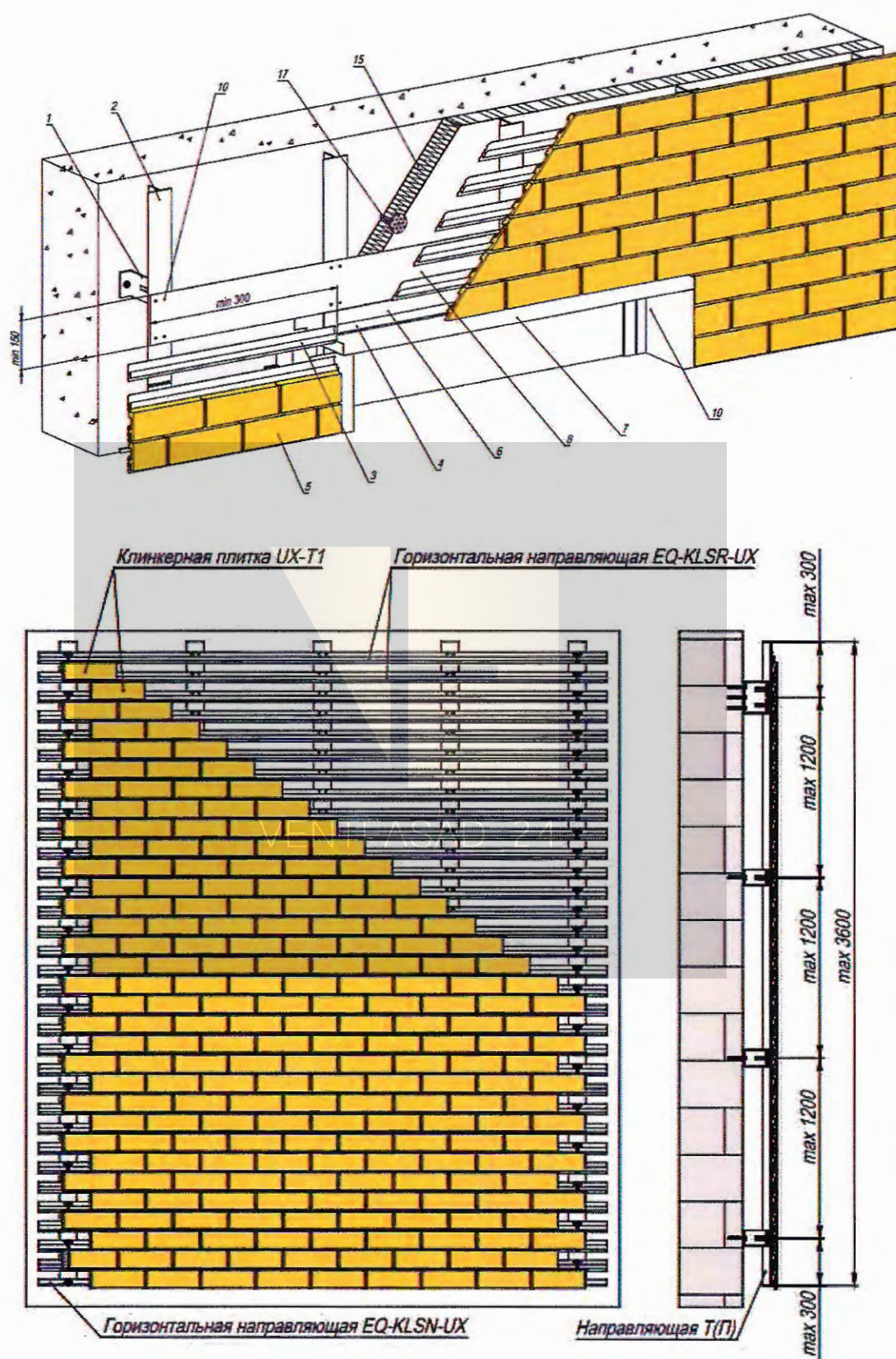


Рисунок 1.25 Проектная схема крепления клинкерной плитки с помощью горизонтальных направляющих к стеновому основанию (надоконная и сплошная зоны стен)

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»



Рисунок 1.23 Общий вид фрагмента стенда в зоне расположения облицовки из клинкерной плитки



Описание процесса монтажа несущих конструкций с различными видами облицовок НФС

Процесс монтажа НФС на экспериментальный стенд включал в себя следующие этапы.

1. В соответствии с Программой испытаний Заказчиком осуществлялся монтаж несущих элементов подсистемы (кронштейнов, вертикальных и горизонтальных направляющих). Стенд до начала монтажа конструкций устанавливался на специальные катки.

2. На бетонное основание лабораторного корпуса устанавливались металлические опорные пластины толщиной 30 мм, на которые монтировались 4 подкатные опоры марки CRA-4 грузоподъемностью 60 кН каждая (рисунок 2.1). К опорам крепились нижняя продольная опорная балка стенда. Опоры располагались в угловых зонах стенда. Стенд с помощью специальных стальных стержней-захватов жестко крепился к подкатным опорам (рисунок 2.2).

3. В соответствии с проектным решением осуществлялась разметка стенда с последующим креплением к нему кронштейнов.

4. После установки кронштейнов осуществлялся монтаж вертикальных направляющих. Соединение вертикальных направляющих с кронштейнами осуществлялось с помощью вытяжных заклепок.

5. К вертикальным направляющим с помощью крепежных элементов крепились горизонтальные направляющие и элементы крепления облицовки фасадных систем (кляммеров).

6. Далее осуществлялась установка различных видов облицовок, указанных выше.



Рисунок 2.1 Общий вид опорных подвижных катков.



Рисунок 2.2 Общий вид узлов крепления катков к опорной раме.



Экспериментальные исследования сейсмостойкости НФС «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок

3.1 Объект исследования

Как отмечалось в Разделе 1 настоящего отчета, динамические исследования НФС «РЕВЕНТАЛ», производства фирмы ООО «ИНТЕРНОВА» включали в себя испытания 4-х фрагментов НФС.

Схема расстановки на экспериментальном стенде различных систем НФС «РЕВЕНТАЛ», производства фирмы ООО «ИНТЕРНОВА», описание конструктивного решения систем и тип облицовочного слоя каждой из систем приведены в Разделе 1 настоящего технического отчета.

3.2 Программа и методика испытаний. Измерительные приборы и оборудование

Для оценки сейсмостойкости навесных фасадных систем с использованием указанных выше видов облицовок была разработана методика динамических испытаний, позволяющая определить динамические характеристики воздействий на НФС, а также параметры напряженно-деформированного состояния конструкции НФС при динамических воздействиях, эквивалентных сейсмическому. Данная методика была разработана и используется в настоящее время в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Основные ее положения изложены в работах [6-10].

3.2.1 Силовое оборудование и измерительные приборы

Для проведения динамических испытаний НФС в НИИ ЭМ НИУ МГСУ была запроектирована и изготовлена установка для крепления фрагментов фасадной системы, а также использованы специальное динамическое оборудование и измерительные приборы.

Испытательный стенд включал в себя следующие элементы:

- металлический стенд для крепления несущей подконструкции НФС и облицовки (рисунк 3.1);
- подкатную опору марки CRA-4 (грузоподъемностью 60кН) (рисунок 3.2);
- динамические гидроцилиндры марки MTS (рисунки 3.3 - 3.5), предназначенные для создания динамического воздействия с различным ускорением на каждом этапе нагружения от 0.2 м/с^2 до 4 м/с^2 с частотой от 1 до 50 Гц, амплитуда перемещений от ± 50 до ± 250 мм; максимальное усилие при динамическом воздействии – ± 800 кН. Контроль перемещения штока осуществлялся с помощью датчика перемещения типа LVDT. Следует отметить, что в настоящее



время в европейских исследовательских центрах динамические гидроцилиндры находят широкое применение при проведении динамических испытаний как отдельных фрагментов конструкций, так и моделей здания (рисунок 3.6, 3.7);

- 2 стальных упора (быка), не связанных с силовой рамой и обеспечивающих передачу динамической нагрузки от гидроцилиндров на металлический стенд (рисунок 3.8);

- измерительную аппаратуру:

- акселерометры одно- и трехосные фирмы РСВ, позволяющие определить величину ускорений с частотой съема данных до 4000 Гц (рисунок 3.9);
- комплекс оборудования NI PXIe-1082 с модулями NI PXI-4496 (для регистрации данных акселерометров) и NI PXIe-4330 (для регистрации и записи данных с тензорезисторов) – см. рисунок 3.10;
- цифровой контроллер MTS Flex Test 60 Digital Controller (рисунок 3.11), предназначенный для управления динамическими гидроцилиндрами с возможностью контроля и изменения параметров их работы в процессе проведения испытаний.

На рисунках 3.9 б и 3.12 показаны места крепления акселерометров к элементам каркаса и облицовки.

Следует обратить внимание на то, что аналогичные стенды для испытаний фасадных систем используются во многих исследовательских центрах Европы и странах СНГ. На рисунках 3.13, 3.14 показаны испытательные стенды для исследований НФС, используемые в Научно-исследовательском центре фирмы «Fischer» и в АО «КазНИИСА». В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко используется два типа виброплатформ: однокомпонентная виброплатформа выпуска 2007 г. и двухкомпонентная виброплатформа маятникового типа, разработанная проф. А.М. Курзановым при участии автора настоящего отчета (рисунок 3.15).

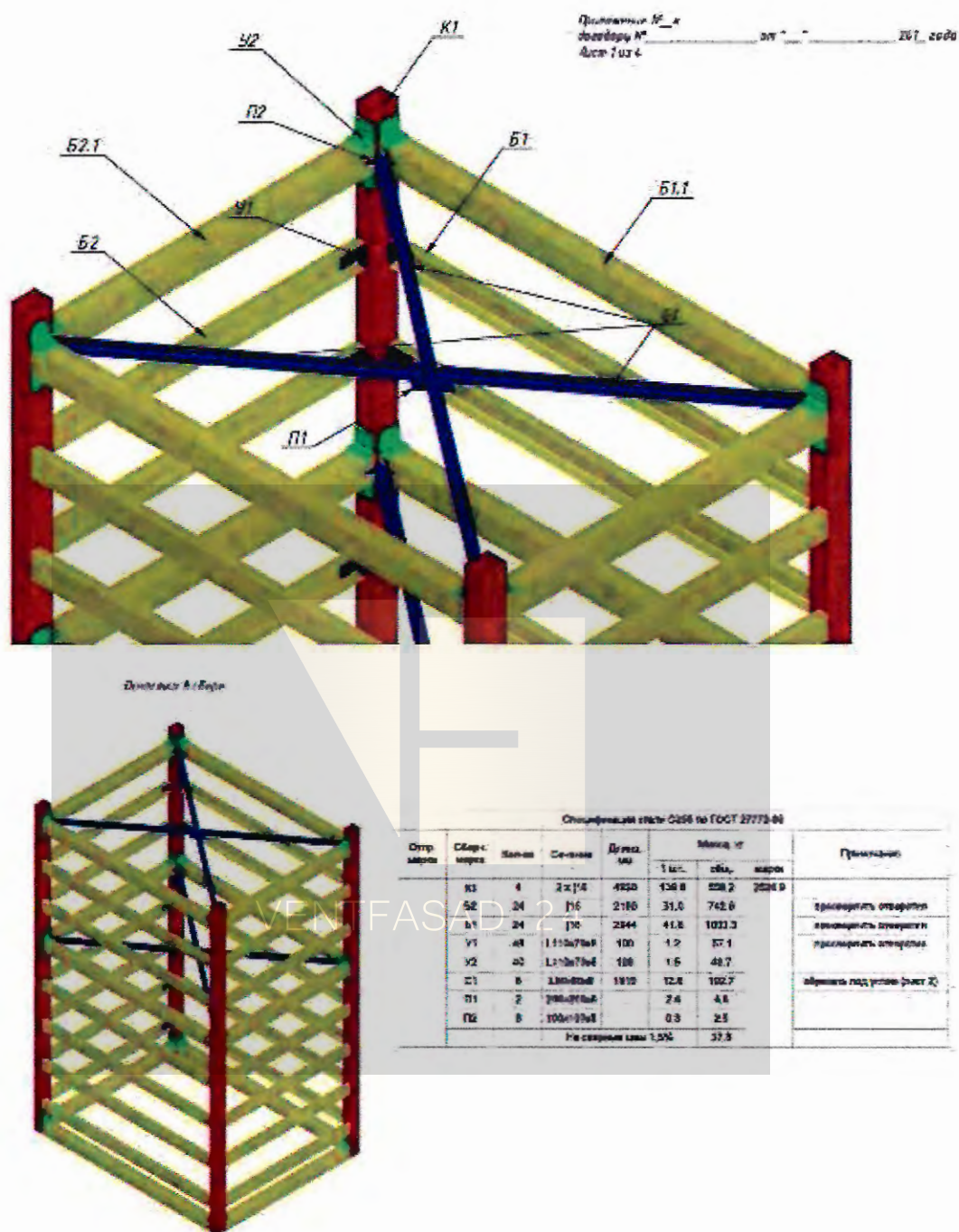
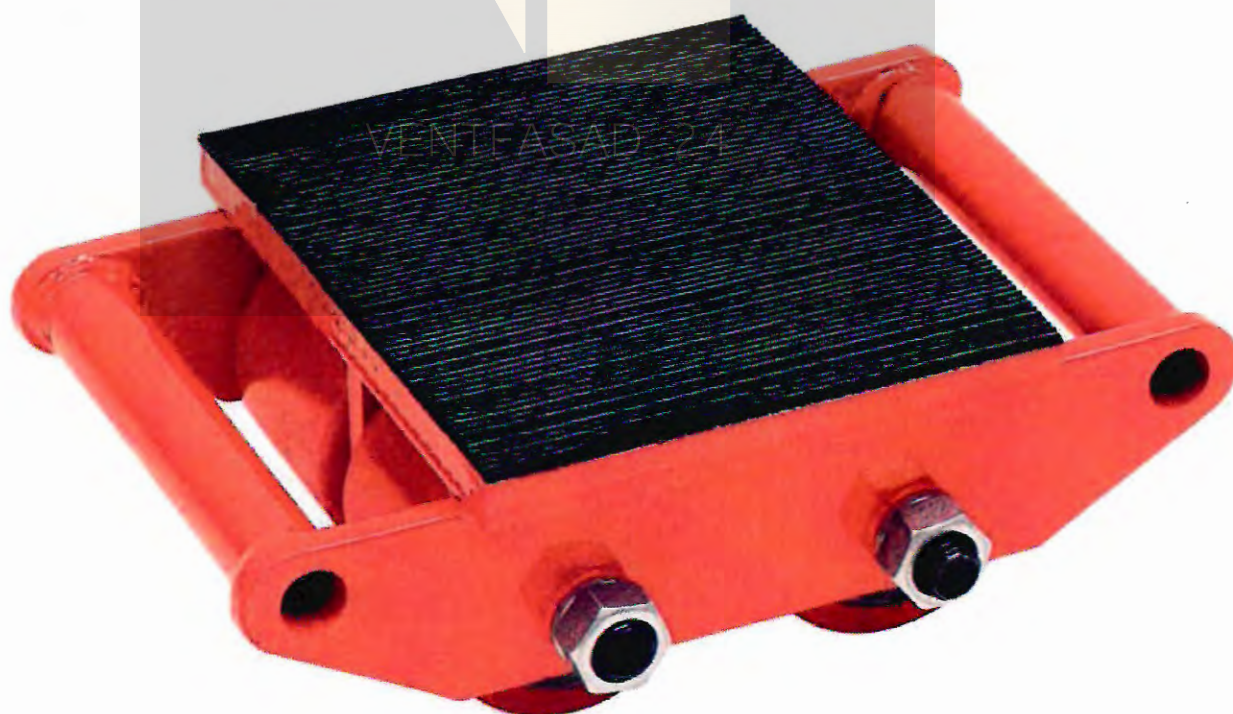
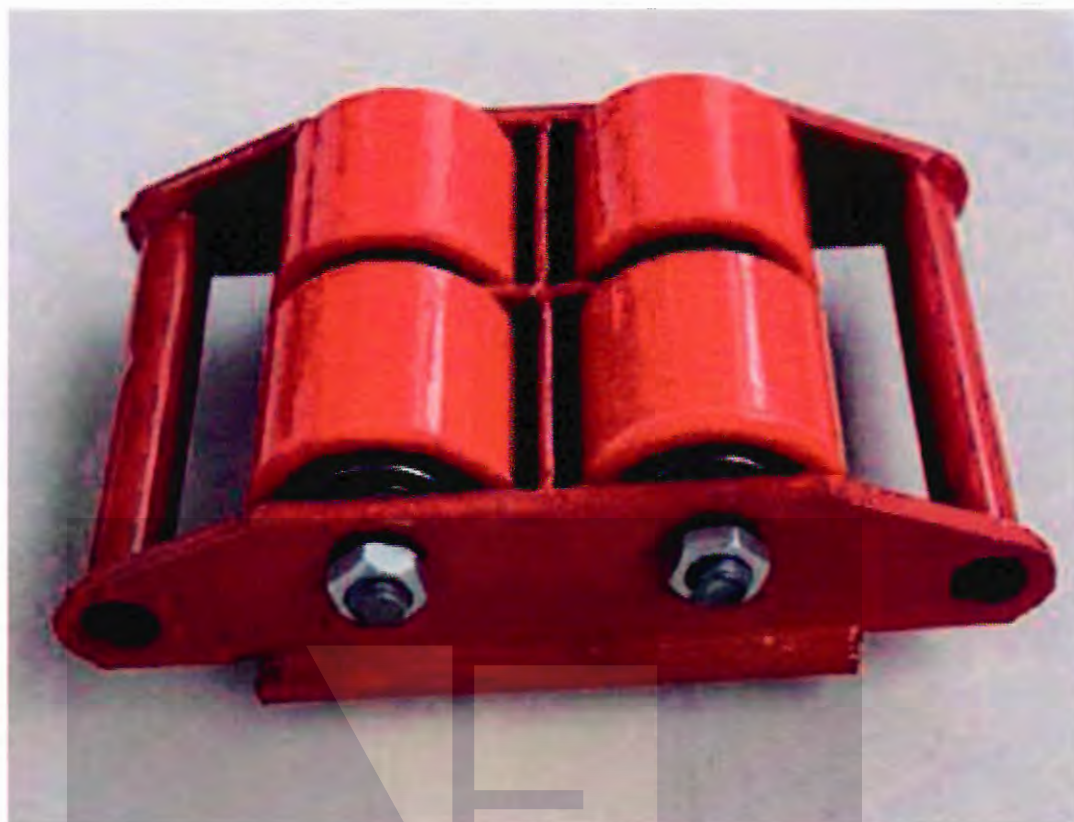


Рисунок 3.1 Общий вид испытательного стенда для НФС



3.2 Конструкция подкатных опор

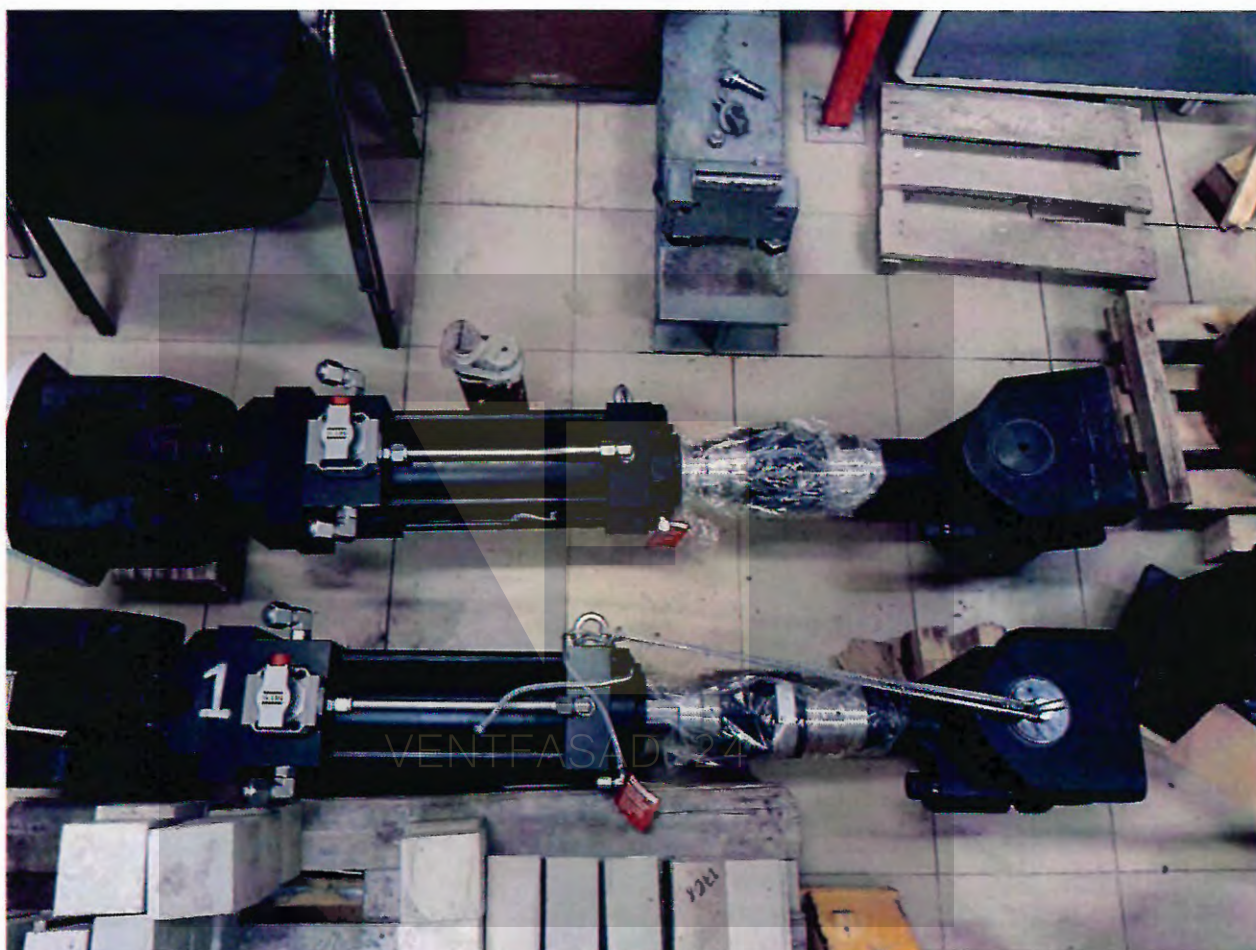


Рисунок 3.3 Общий вид гидроцилиндров

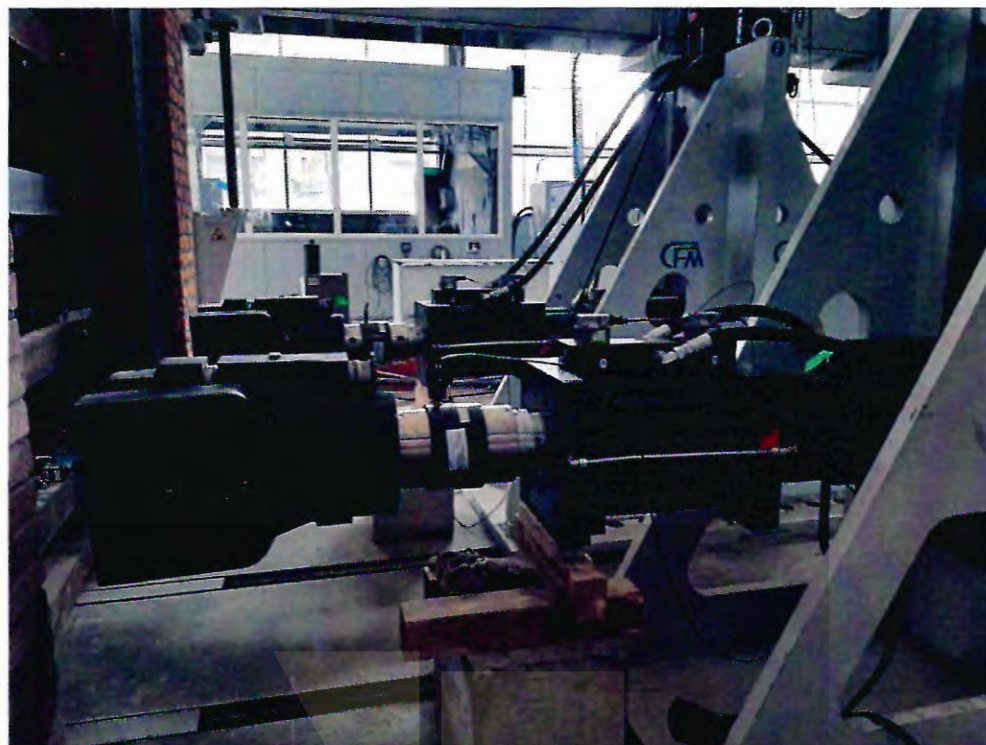


Рисунок 3.4 Расположение гидроцилиндров относительно стенда

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		37



Рисунок 3.5 Упоры под гидроцилиндры

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		38

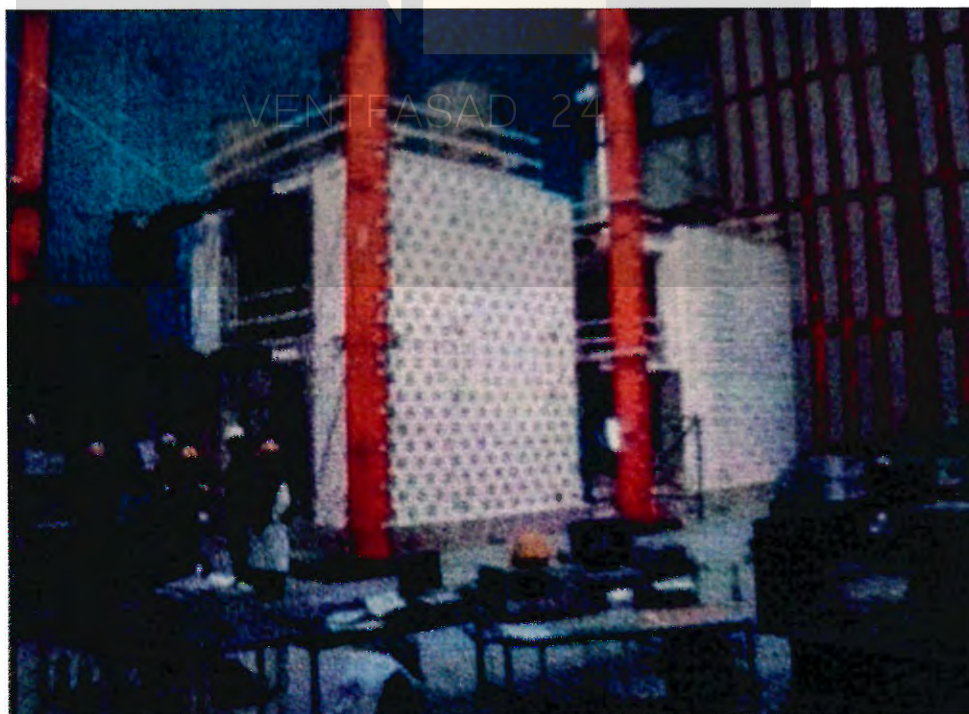
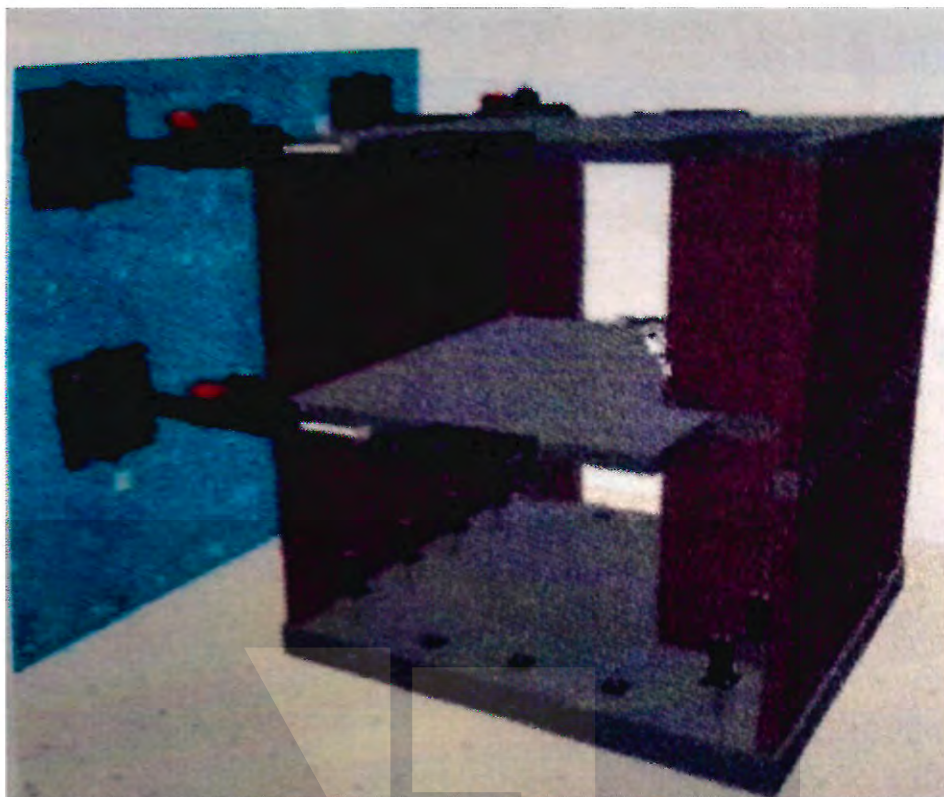


Рисунок 3.6 Применение гидравлических гидроцилиндров при проведении испытаний
в европейских исследовательских центрах

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 39
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		



Рисунок 3.7 Применение гидравлических гидроцилиндров при проведении испытаний
в европейских исследовательских центрах

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						40
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

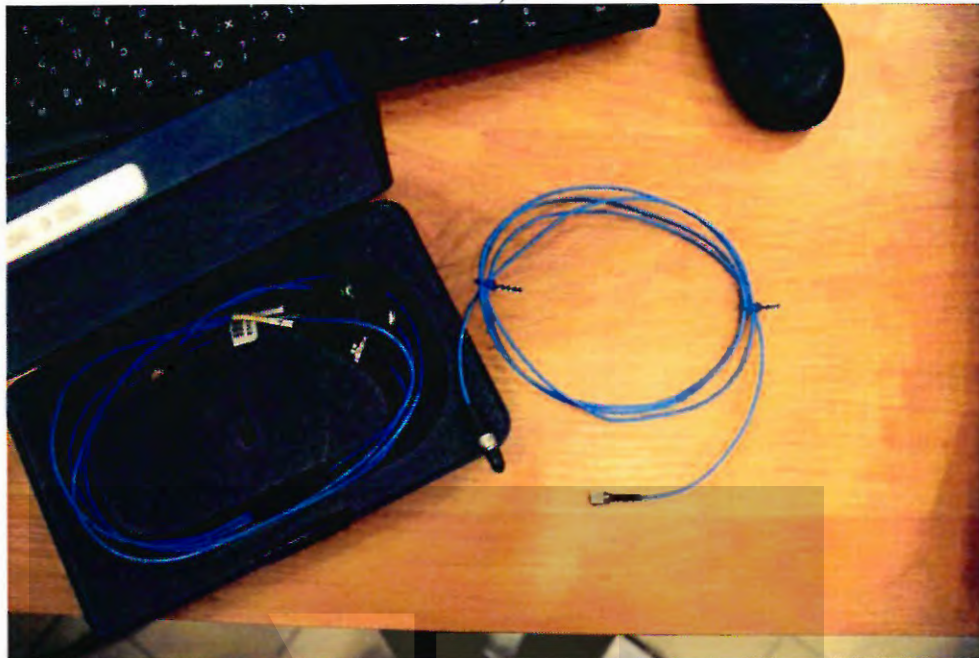


Рисунок 3.8 Упоры для динамических гидроцилиндров

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
						41
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



а)



б)



Рисунок 3.9 Акселерометры одно- трехосный фирмы РСВ (а)
и фрагмент их установки на конструкцию НФС (б)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		42

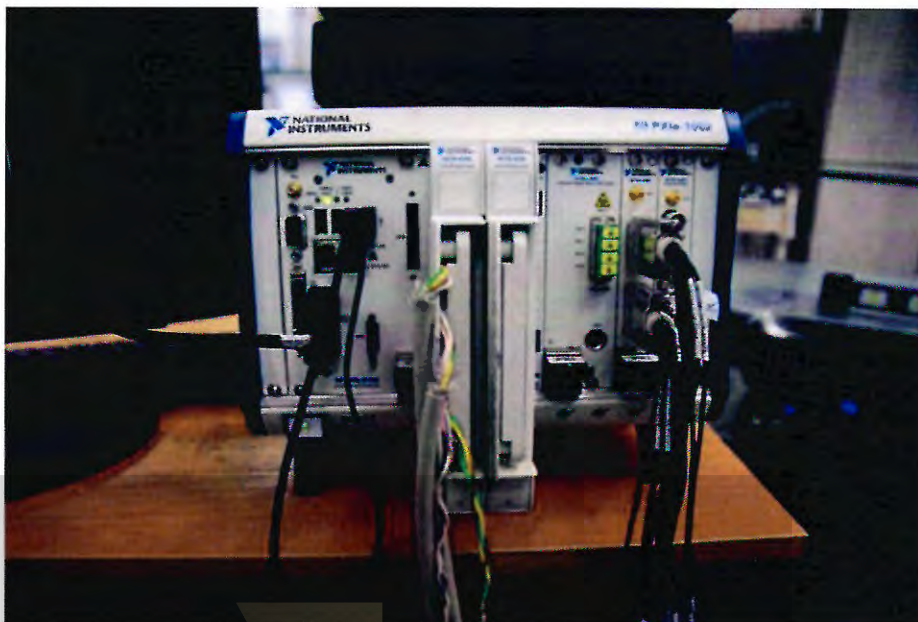


Рисунок 3.10 Комплекс оборудования NI PXIe-1082 с модулями NI PXI-4496
(для регистрации данных акселерометров) и NI PXIe-4330
(для регистрации и записи данных с тензорезисторов)



Рисунок 3.11 Цифровой контроллер MTS FlexTest 60 Digital Controller

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		43

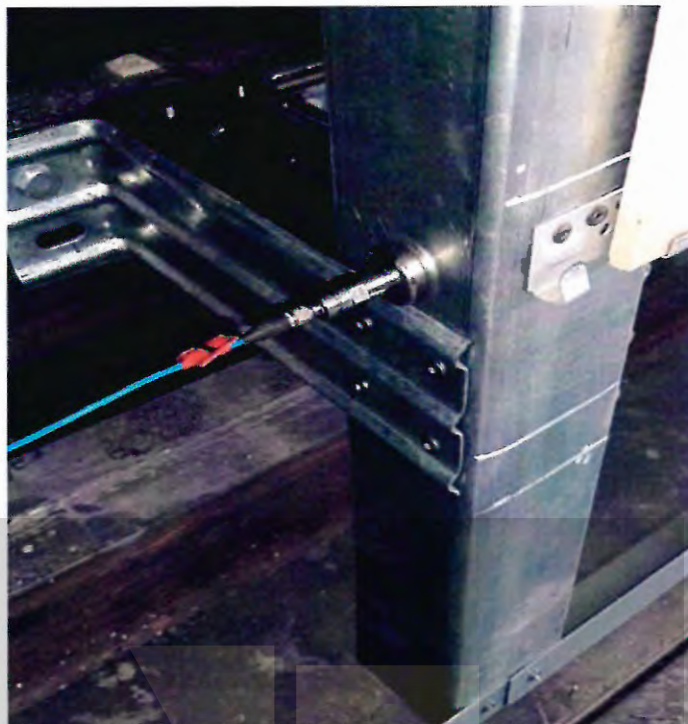


Рисунок 3.12 Участок крепления акселерометра к направляющей.



Рисунок 3.13 Общий вид испытательного стенда для динамических исследований конструкций НФС (снимок сделан одним из авторов отчета во время посещения НИЦ фирмы «Fischer»)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист 44
Изм.	Лист	Ндодкум.	Подп.	Дата		

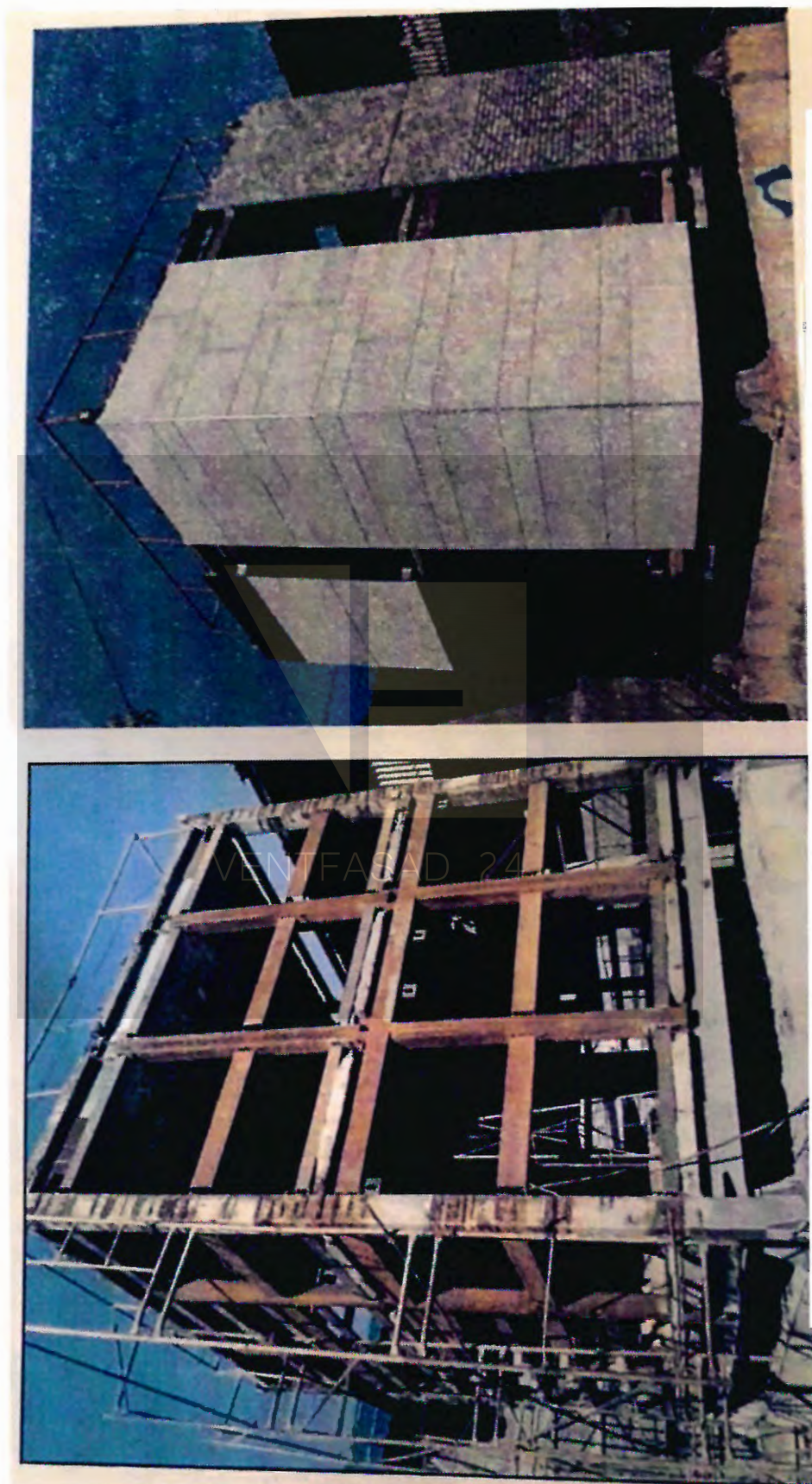


Рисунок 3.14 Виброплатформа в АО «КазНИИСА»

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Ндокум.	Подп.	Дата		45



Рисунок 3.15а Общий вид двухкомпонентной виброплатформы маятнкового типа

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		46

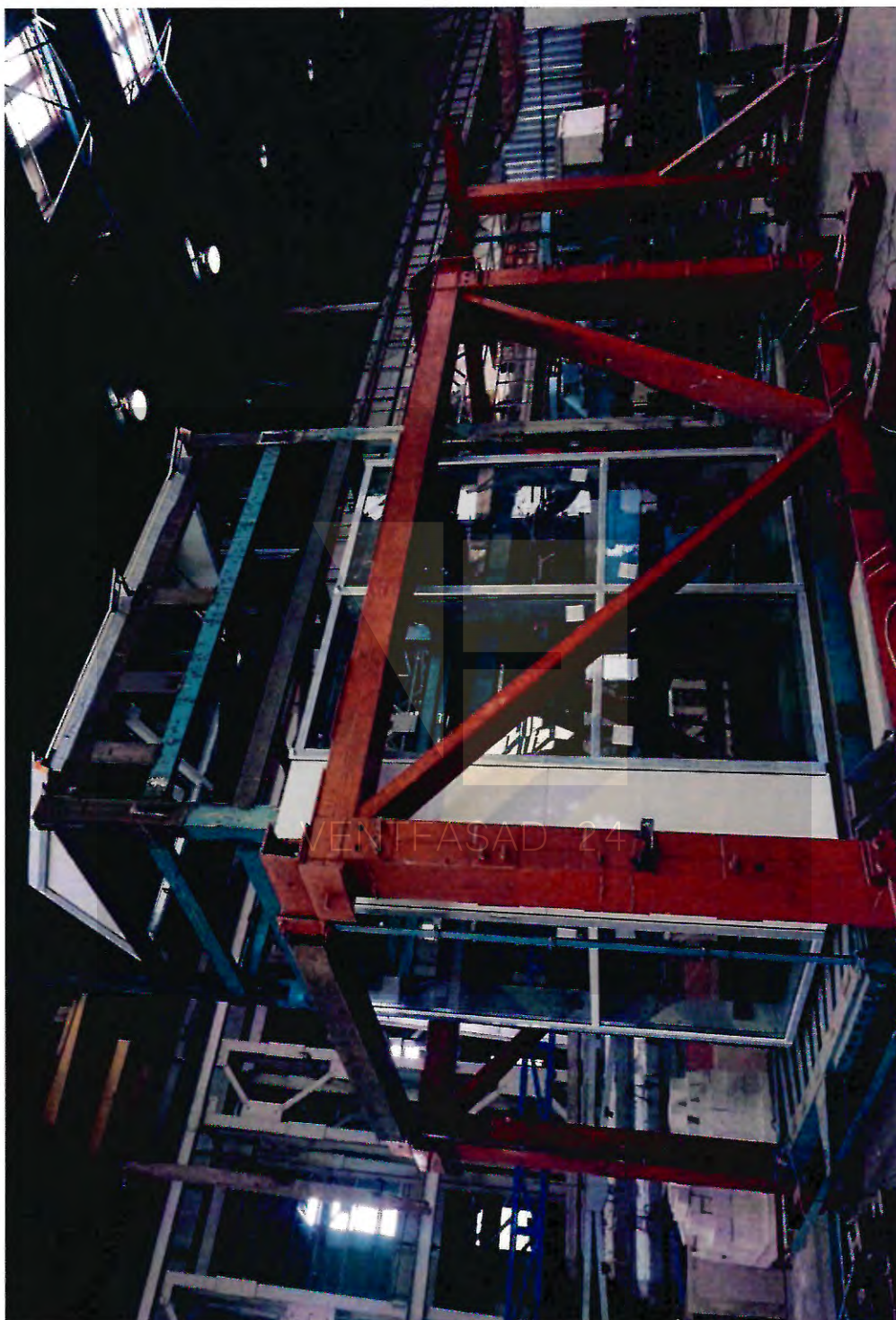


Рисунок 3.15б Общий вид двухкомпонентной виброплатформы после установки фасадной системы

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Докум.	Подп.	Дата		47



3.2.2. Программа и методика динамических испытаний

Эквивалентное сейсмическое воздействие моделировалось горизонтальными синусоидальными колебаниями платформы с установленным фрагментом фасадной системы, которые возбуждались перемещением с заданной частотой и амплитудой штоков гидроцилиндров, жестко закрепленных к конструкции стенда. Управление гидроцилиндром осуществлялось при помощи цифрового контроллера MTS Flex Test с возможностью контроля и изменения параметров работы в процессе проведения работ.

Уровень динамического воздействия задавался в соответствии с Программой испытаний и включал в себя следующие этапы с величинами ускорений, приведенными ниже.

1. Ускорение $a_1 = 1,0 \text{ м/с}^2$.
2. Ускорение $a_2 = 2,0 \text{ м/с}^2$.
3. Ускорение $a_3 = 4,0 \text{ м/с}^2$.

На каждом этапе испытаний частотный спектр воздействий изменялся в интервалс от 1 до 20 Гц. Кроме этого, для возможности оценки поведения конструкций в зоне резонанса на каждом из 3-х этапов нагружения были проведены укороченные испытания в интервале частот от 2,5 до 6 Гц с шагом изменения частотного спектра через 0,5 Гц. Длительность испытания на укороченных этапах испытания на каждом шаге нагружения была увеличена до 40-50 с.

Величина виброускорения на основе использования программного комплекса пересчитывалась в величину виброперемещения и задавалась гидроцилиндрам в качестве входного воздействия (сигнала). Контроль задаваемого виброускорения осуществлялся с помощью датчиков перемещений, являющихся контрольными элементами гидроцилиндров.

Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 30630.0.0-99 [3] и ГОСТ 30630.1.2 – 99 [4]. Испытания проводились в режиме увеличения частоты внешнего воздействия ступенями по 1 Гц, при этом на каждой частоте отрабатывалось не менее, чем по 200 циклов колебаний.

На элементах стенда и НФС устанавливались акселерометры для определения ускорений в ортогональных направлениях. Акселерометры устанавливались на элементах стенда и облицовки на высотах 800 - 4200 мм.

Крепление акселерометров к элементам конструкции НФС осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 5348-2002 [5] с помощью жёстких уголковых упоров и на специальный воск. При этом соединительные провода (во избежание трибоэлектрического эффекта) крепились к стенду с помощью клеевой ленты с шагом 500-800 мм.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
						48
Изм.	Лист	Докум.	Подп.	Дата		

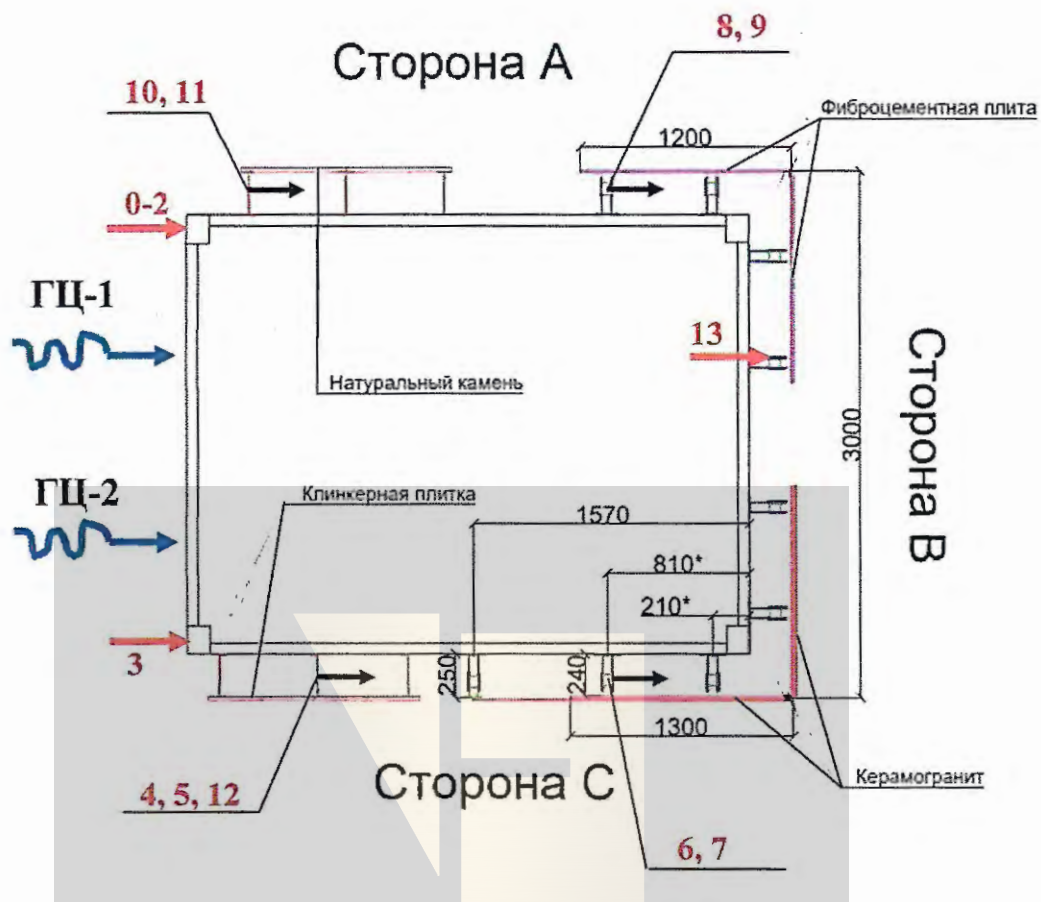


Рисунок 3.16 Схема расположения акселерометров на стенде и элементах НФС
(виды облицовок по граням стенда)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						49
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



Сторона А

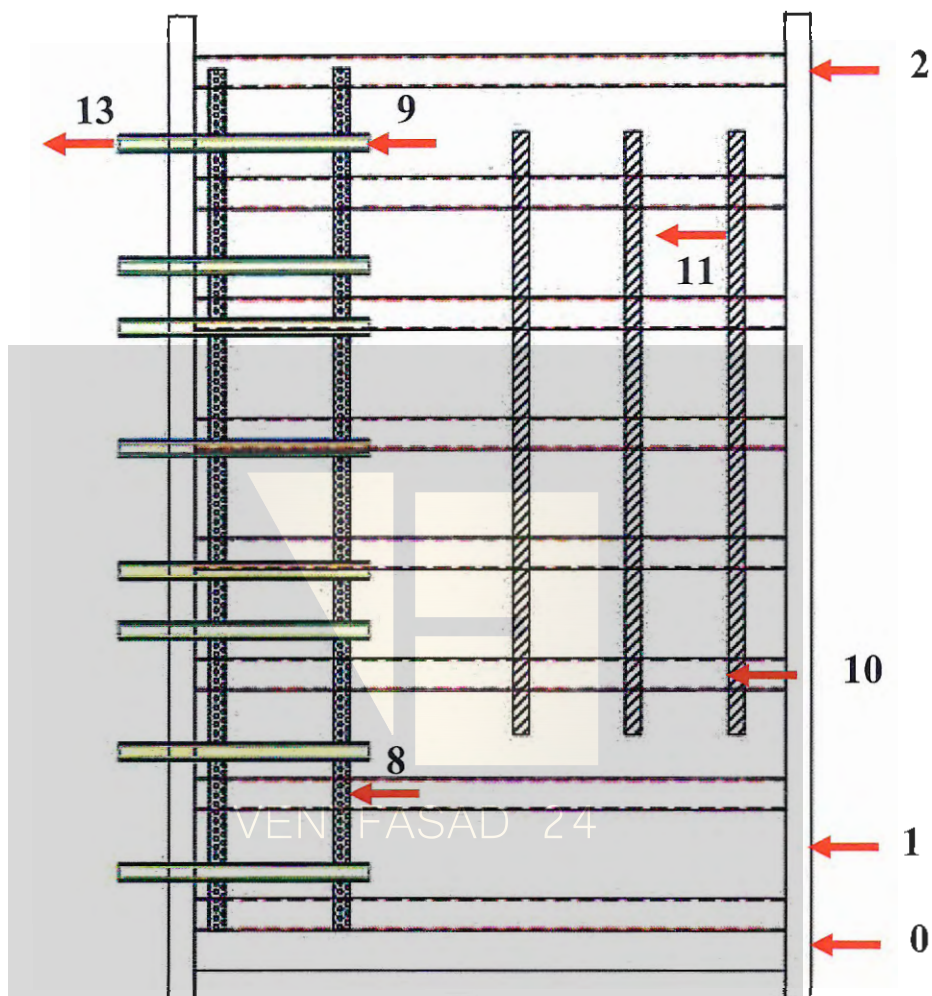


Рисунок 3.17 Схема расстановки акселерометров в плоскости стенда
(см. рисунок 3.16)

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		50



Сторона С

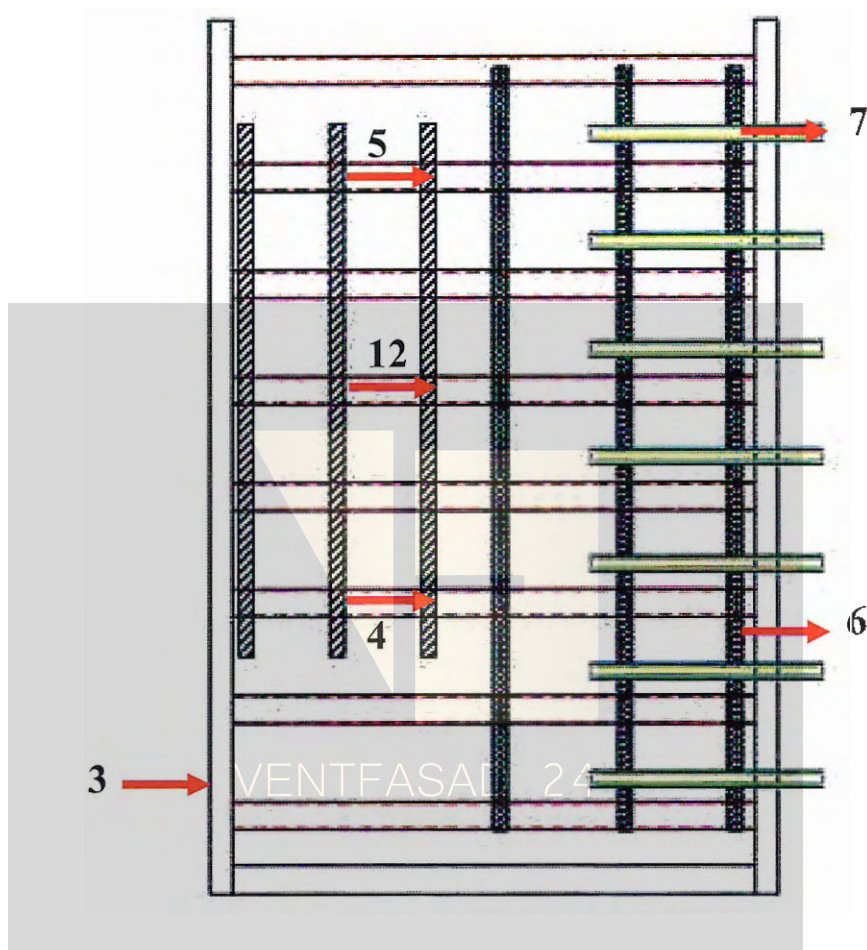


Рисунок 3.18 Схема расстановки акселерометров в плоскости стенда
(см рисунок 3.16)



3.3. Результаты динамических испытаний НФС и их анализ

Было проведено 5 серий (этапов) испытаний фасадной системы с учетом изменения частотного спектра в зоне резонанса и разрушения одной из подсистем НФС. На каждой заданной частоте воздействия в указанных на рисунках 3.16-3.18 точках стенда определялись величины виброперемещений и ускорений. Результаты измерений указанных величин при входных ускорениях, соответствующих 7-9- баллам, приведены в Приложении 2.

Следует обратить внимание, что отдельные результаты, приведенные в таблицах ускорений и перемещений, зафиксированы как пиковые (в отдельных случаях эти результаты превышают средние табличные значения более, чем в 10 раз). Указанное связано со следующим. При испытаниях фасадных конструкций регистрация параметров ускорений производится при частоте дискретизации измерительной системы равной 1 Гц. Таким образом, удаётся зафиксировать пиковые значения амплитуд ускорений колебаний элементов фасадной системы. При этом следует учитывать, что при колебаниях фасада во время испытаний происходят множественные соударения облицовочных панелей в местах их крепления (за счёт выработки зазоров, наличия податливостей в местах соединения, упругих прогибов крепежных систем и т.д.). За счёт высокой частоты дискретизации и отсутствия усреднения (как принято, например, при гигиеническом нормировании — линейное усреднение за 1000 мс) регистрируются пиковые значения амплитуд колебаний в моменты указанных соударений, которые могут достигать существенных величин. При этом стоит учитывать, что на НДС конструкции, скорее всего, будут оказывать влияния те компоненты динамического воздействия, длительность которых равна или кратна периоду собственных колебаний подвешенного на стенде элемента фасадной системы. Т.е. появление указанных величин обусловлено как особенностью самой работы виброплатформы, так и измерительной аппаратуры, поскольку в процессе ее работы не корректируется промежуток времени измерения. В связи с этим завышенные табличные значения не учитывались при обработке результатов испытаний.

3.3.1 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 7 баллов (по полной - 1-20 Гц и укороченной -2,5-6 Гц программам испытаний)

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены результаты замеров величин усилий на стенд от динамических гидродомкратов и перемещений рабочих органов гидродомкратов, жестко связанных с элементами стенда. На рисунках 3.19 – 3.27 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброперемещений и виброускорений для различных программ нагружения

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Документ	Подп.	Дата		52



(изменения частотного спектра в интервале от 1 до 20 Гц и от 2,5 до 6 Гц) в нижних точках стенда в зоне расположения гидродомкратов и в местах установки акселерометров. В Приложении 2 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений виброперемещений и виброускорений в верхних, средних и нижних точках стенда и элементах НФС при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 7 баллов по полной (частотный спектр от 1 до 20 Гц) и укороченной (частотный спектр от 2,5 до 6 Гц) программам испытаний. Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 3.16-3.18. В Приложении 2 (таблицы П.2.1-П.2.4) приведены результаты обработки динамических испытаний при входном ускорении 1 м/с^2 по данным акселерометров, установленных на стенде и элементах НФС (сейсмограммы виброускорений, виброперемещений и виброусилий).

Анализ результатов динамических испытаний НФС при воздействиях, соответствующих 7 баллам по шкале MSK-64, позволяет отметить следующее.

1. При заданном входном динамическом воздействии, соответствующем ускорению основания – 1 м/с^2 , ускорение по данным датчиков, установленных на стенде в нижней и верхней зонах крепления акселерометров, изменялось от **0,827 (6 Гц) -1,692 (20 Гц) м/с^2** (в уровне низа стенда, акселерометр № 0) до **0,617 (20 Гц) - 4,144 (4 Гц) м/с^2** (в уровне верха стенда, акселерометр № 2). Уровни величин ускорений элементов НФС при различных величинах изменения частотного спектра приведены в Приложении 2 – таблица П.2.1.
2. Максимальный коэффициент динамичности, определяемый как отношение величин ускорения в уровне верха стенда (и элементов НФС) к величинам ускорения в уровне низа стенда (и элементов НФС) при динамических воздействиях с изменением частотного спектра от 1 до 20 Гц (таблица 3.3) в зависимости от вида облицовки составил (виды облицовок указаны в Разделе 1):

- для типа облицовки из фиброцементных плит на Стороне А:
– **8,39** при частоте 5 Гц;
- для типа облицовки из натурального камня на Стороне А:
– **12,21** при частоте 7 Гц;
- для типа облицовки из керамогранитных плит на Стороне С:
– **5,67** при частоте 5 Гц;
- для типа облицовки из клинкерной плитки на Стороне С:
– **13,82** при частоте 8 Гц;

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист 53
Изм.	Лист	Подкум.	Подп.	Дата		



В таблице 3.4 приведены данные о динамических характеристиках стенда и элементов НФС при проведении испытаний в частотном спектре от 2,5 до 6 Гц, т.е. в спектре, близком к резонансной зоне.

3. Эффект резонанса был установлен при частоте воздействия 5 Гц.
4. По результатам измерений, приведенных в таблицах 3.1 и 3.2 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 13,65 мм (при частоте 1 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 16,32 кН (при частоте 1 Гц). При этом распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда размером $2,4 \times 4,2 = 10,08 \text{ м}^2$ составило $1,62 \text{ кН/м}^2$ (162 кгс/м^2).
5. Измерения величин перекосов стенда в вертикальной плоскости показали следующее:
 - при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное перемещение составило 8,03 мм (при частоте 3 Гц). При этом величина перекоса составила: $f/L = 8,03/4200 = 1/523$, (величина перекоса в вертикальной плоскости не превысила нормируемое значение по СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*, равное $1/350$ (для одного этажа). При указанном вертикальном перекосе повреждений элементов системы НФС не установлено.
6. При заданной величине воздействия, соответствующей 7 баллам по шкале MSK-64, повреждений в конструкциях НФС (облицовки, кронштейнах, направляющих и их узловых соединениях) не установлено. Сейсмостойкость конструкций при ускорении, соответствующем 7 баллам, обеспечена.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
Изм.	Лист	Поддокум.	Подп.	Дата		54



Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 1 до 20 Гц.

Таблица 3.1

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
1	13,65	7,28	13,22	9,04
2	6,65	7,81	6,53	6,51
3	3,47	3,10	3,45	3,24
4	1,94	3,42	1,88	3,86
5	1,24	6,03	1,17	6,34
6	0,80	9,30	0,78	6,25
7	0,59	3,80	0,55	3,23
8	0,45	1,72	0,40	2,52
9	0,34	1,22	0,30	1,84
10	0,24	1,13	0,20	1,08
15	0,06	0,81	0,07	1,69
20	0,01	0,53	0,02	0,63

Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 2,5 до 6 Гц.

Таблица 3.2

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
2,5	4,98	3,12	4,90	2,92
3	3,47	3,12	3,42	3,26
3,5	2,55	3,26	2,49	3,56
4	1,95	3,52	1,89	3,93
4,5	1,53	4,24	1,48	4,52
5	1,25	6,42	1,18	6,72
5,5	1,00	10,72	0,96	9,16
6	0,82	8,64	0,80	6,05



**Коэффициенты динамичности по данным акселерометров,
установленных на кронштейнах в уровне верха и низа стенда
(для частотного спектра от 1 до 20 Гц)**

Таблица 3.3

Частота, Гц	Стенд	Сторона С					
	т.2/0	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.4	т.7/т.3	т.6/т.3	т.7/т.6
1	1,77	3,28	1,82	1,80	3,64	1,57	2,33
2	1,19	1,57	0,66	2,39	1,70	1,06	1,60
3	2,35	1,60	1,00	1,59	1,84	0,95	1,93
4	1,74	2,67	1,74	1,54	2,83	1,52	1,86
5	9,96	3,44	1,33	2,58	3,89	0,69	5,67
6	1,38	1,98	0,18	11,29	2,41	0,89	2,69
7	0,75	4,39	4,18	1,05	1,11	0,87	1,28
8	0,60	-	13,82	1,41	3,20	2,00	1,60
9	1,95	1,69	1,37	1,24	3,26	1,48	2,21
10	0,55	0,27	0,57	0,48	1,99	2,17	0,92
15	0,44	0,91	0,92	0,99	0,96	1,04	0,92
20	1,17	0,64	0,64	1,00	0,21	0,27	0,78

Таблица 3.3 продолжение

Частота, Гц	Сторона А					
	т.9/т.0	т.8/т.0	т.9/т.8	т.11/т.0	т.10/т.0	т.11/т.10
1	2,34	1,92	1,22	1,68	1,16	1,45
2	1,64	2,51	0,65	0,92	0,75	1,23
3	3,34	2,37	1,41	2,18	1,78	1,22
4	4,68	2,89	1,62	1,52	1,03	1,48
5	8,39	5,60	1,50	6,77	3,99	1,70
6	2,90	4,16	0,70	0,81	0,19	4,21
7	3,52	2,26	1,56	12,21	10,21	1,20
8	1,79	1,34	1,34	1,67	1,14	1,47
9	1,90	0,66	2,87	1,28	1,02	1,25
10	1,79	0,43	4,20	0,41	0,22	1,89
15	0,58	0,08	6,90	0,17	0,26	0,66
20	0,45	0,25	1,81	0,13	0,13	1,03



**Коэффициенты динамичности по данным акселерометров,
установленных на кронштейнах в уровне верха и низа стенда
(для частотного спектра от 2,5 до 6 Гц)**

Таблица 3.4

Частота, Гц	Стенд	Сторона С					
	т.2/0	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.3	т.4/т.3
2,5	1,56	2,07	1,60	1,29	1,80	1,18	1,52
3	1,99	1,40	0,86	1,63	1,57	0,72	2,16
3,5	3,90	4,00	3,12	1,28	2,75	2,18	1,26
4	1,09	2,84	2,49	1,14	1,80	1,58	1,14
4,5	1,93	1,87	1,03	1,82	2,08	0,73	2,85
5	8,94	3,47	1,45	2,40	3,96	0,70	5,66
5,5	1,97	2,87	0,88	3,27	3,41	0,71	4,79
6	1,26	1,25	0,43	2,87	1,84	1,13	1,64

Таблица 3.4 продолжение

Частота, Гц	Сторона А					
	т.9/т.0	т.8/т.0	т.9/т.8	т.11/т.0	т.10/т.0	т.11/т.10
2,5	1,82	1,72	1,06	1,68	1,43	1,17
3	2,88	2,53	1,14	1,75	1,38	1,26
3,5	11,10	8,96	1,24	8,09	7,25	1,12
4	3,59	2,85	1,26	1,54	1,30	1,19
4,5	1,49	0,93	1,60	1,52	1,12	1,36
5	7,55	6,02	1,25	6,50	4,06	1,60
5,5	2,81	3,29	0,86	1,86	1,09	1,71
6	3,65	2,48	1,47	0,73	0,34	2,14

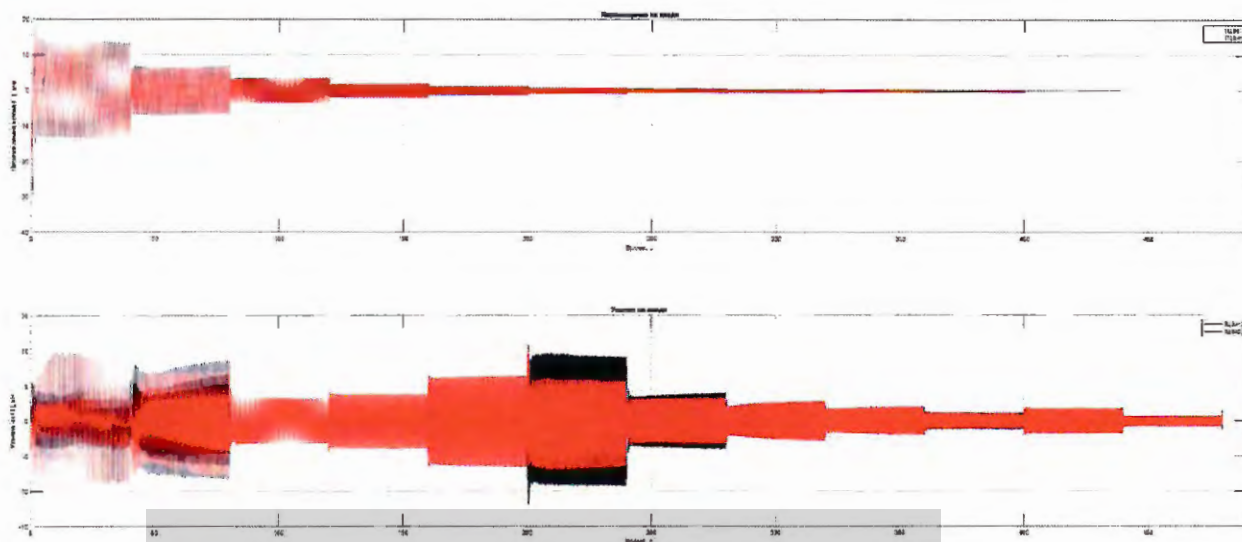


Рисунок 3.19 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 1 до 20 Гц.



Рисунок 3.20 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 2.5 до 6 Гц.

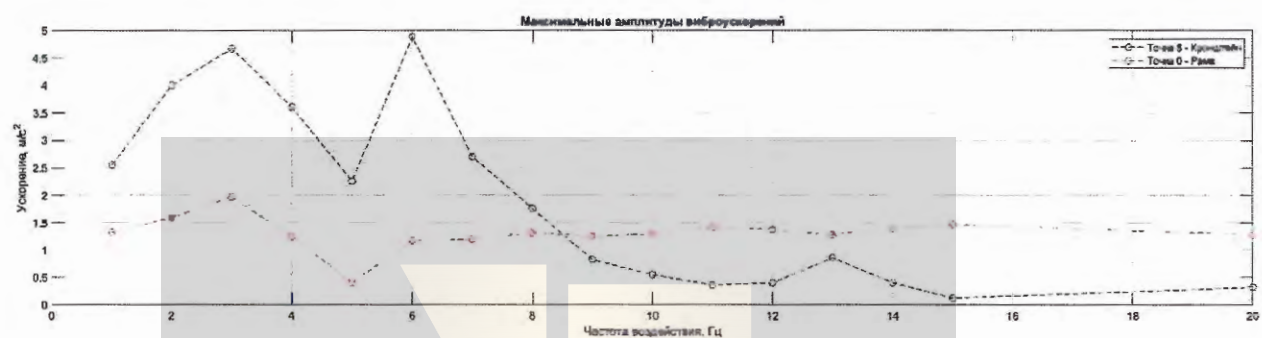
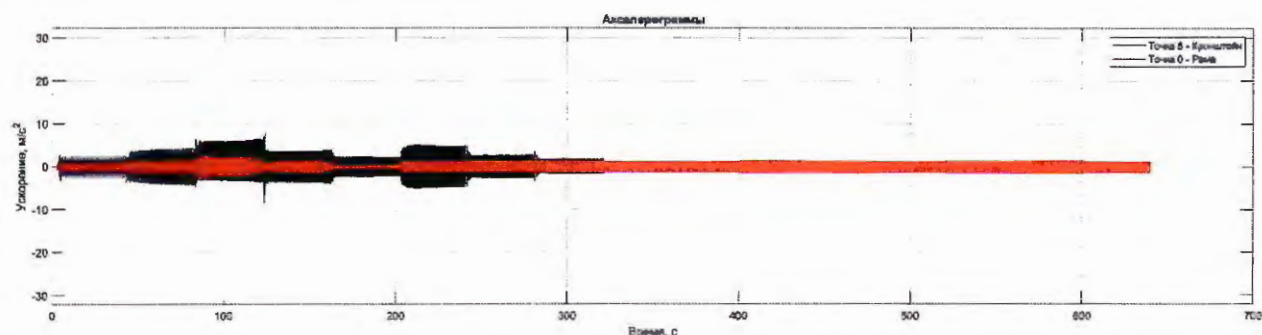


Рисунок 3.21 График сейсмограммы виброускорений в нижней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.0).

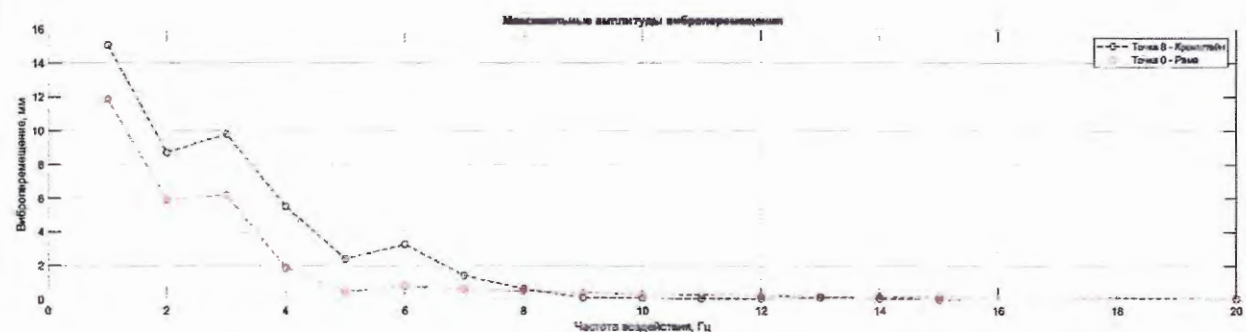
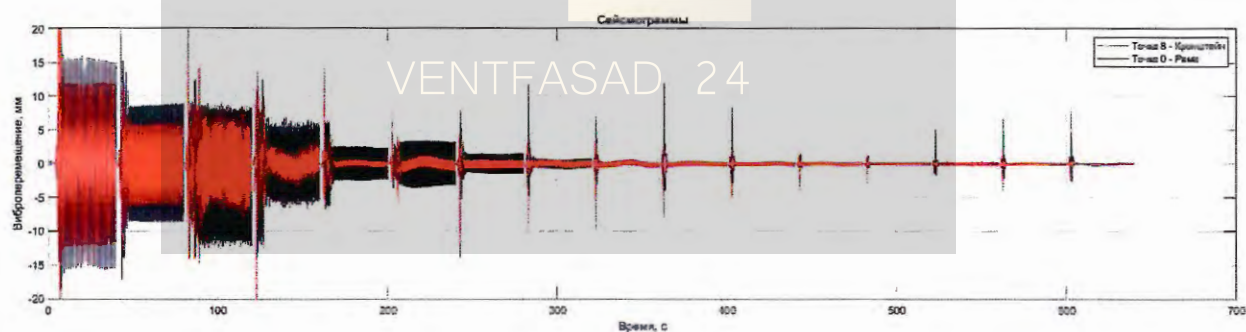


Рисунок 3.22 График сейсмограммы виброперемещений в нижней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброперемещений в т.0).

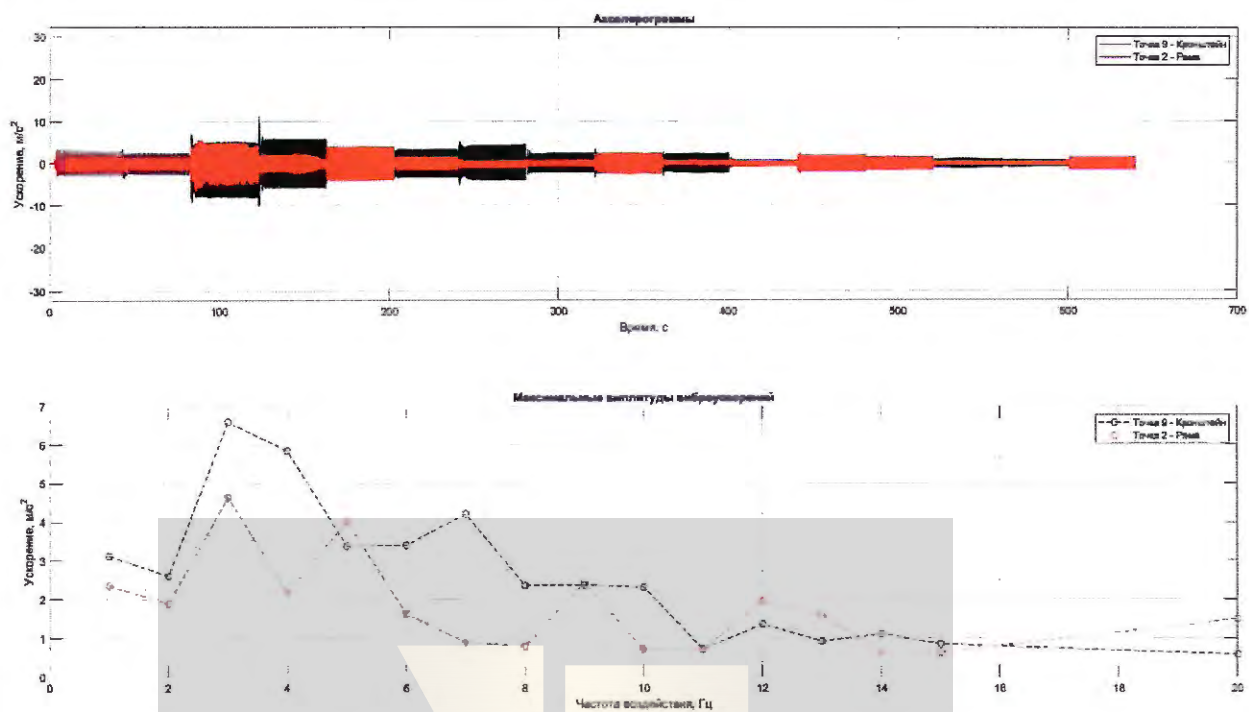


Рисунок 3.23 График сейсмограммы виброускорений стенда в уровне его верха при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений верхней точки № 2 стенда)

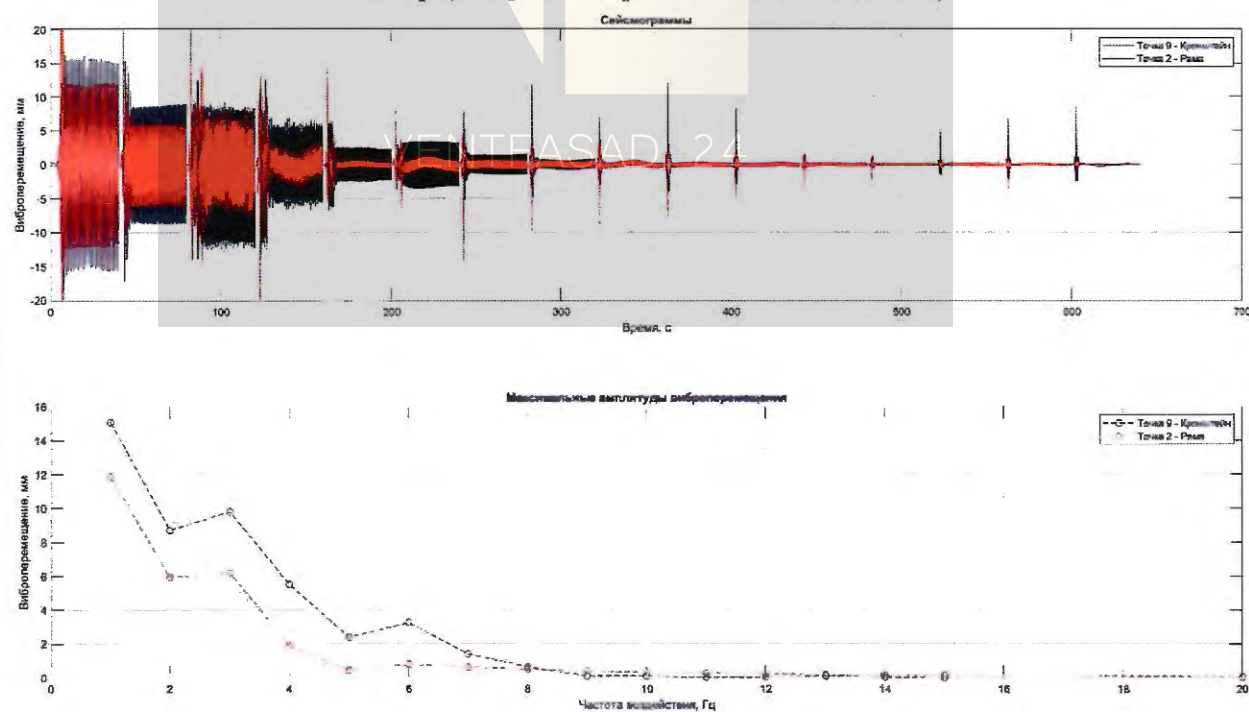


Рисунок 3.24 График сейсмограммы виброперемещений стенда в уровне его верха при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброперемещений верхней точки № 2 стенда)

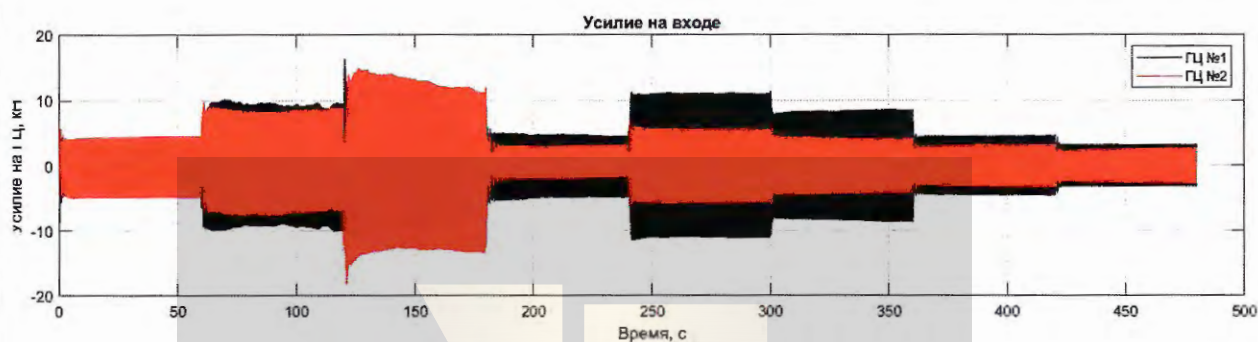
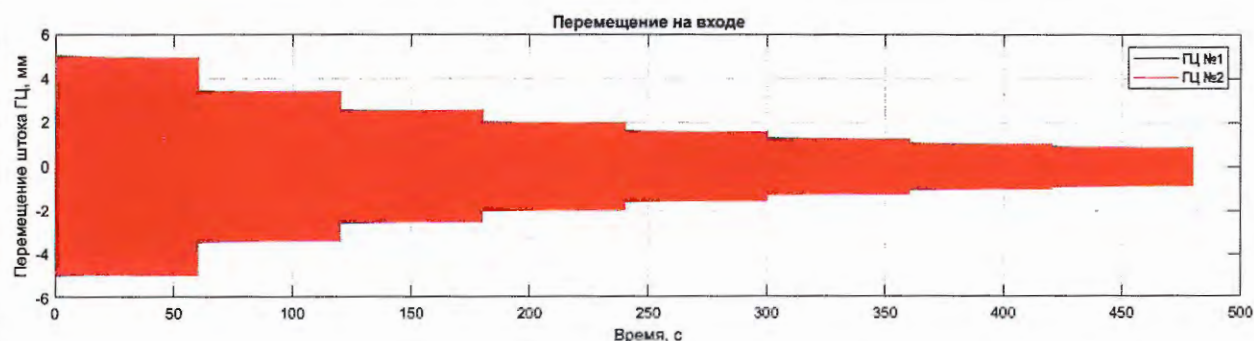


Рисунок 3.25 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц.

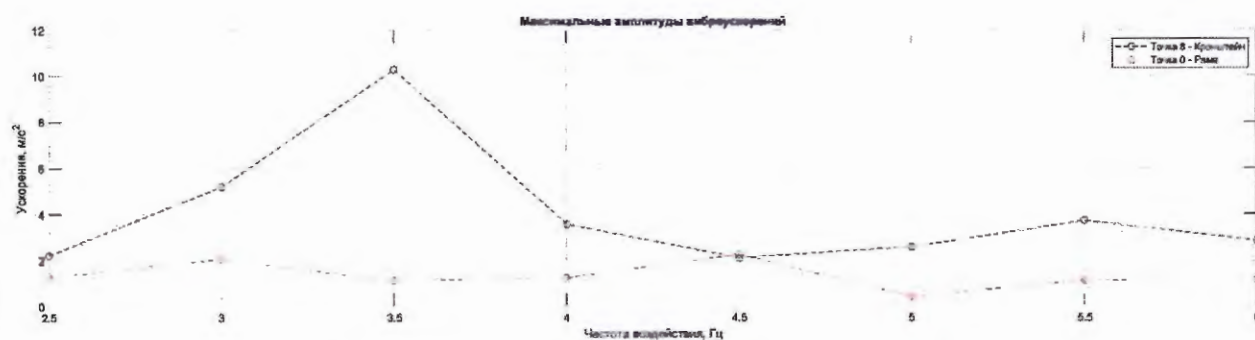
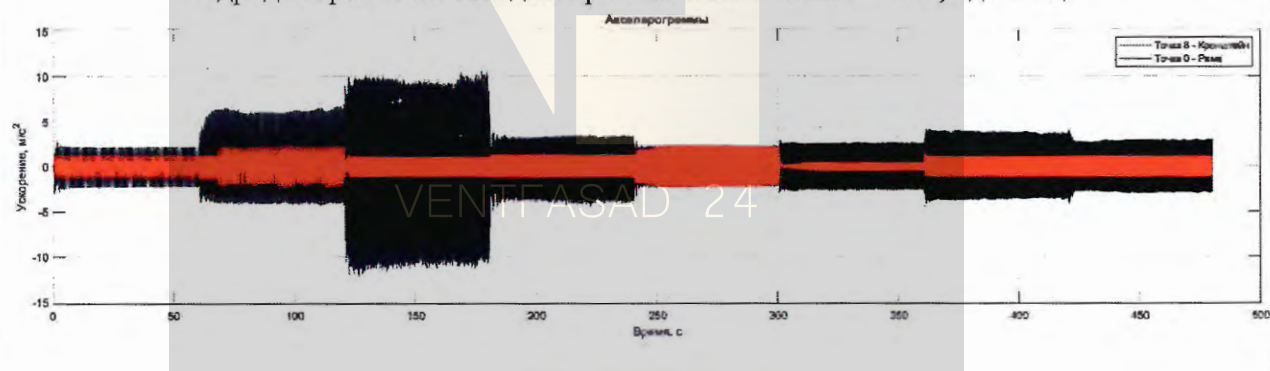


Рисунок 3.26 График акселерограмм виброускорений стенда в уровне установки гидродомкратов при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений нижней точки № 0 стенда)

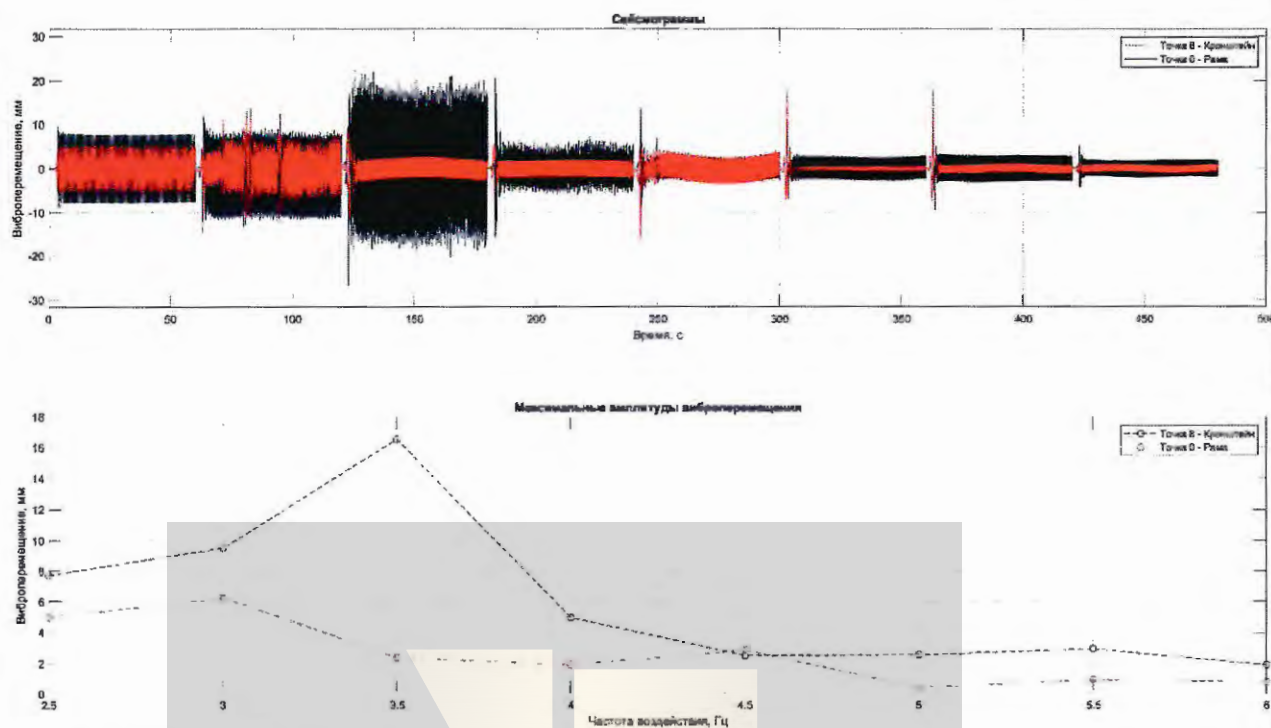


Рисунок 3.27 График акселерограмм виброперемещений стенда в уровне установки гидроцилиндров при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброперемещений нижней точки № 0 стенда)

3.3.2 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов (по полной - 1-20 Гц и укороченной - 2,5-6 Гц программам испытаний)

В таблицах 3.5 и 3.6 приведены результаты замеров величин усилий на стенд от динамических гидродомкратов и перемещений рабочих органов гидродомкратов, жестко связанных с элементами стенда. На рисунках 3.28 – 3.36 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброперемещений и виброускорений для различных программ нагружения (изменения частотного спектра в интервале от 1 до 20 Гц и от 2,5 до 6 Гц) в нижних точках стенда в зоне расположения гидродомкратов и в местах установки акселерометров. В Приложении 2 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений виброперемещений и виброускорений в верхних, средних и нижних точках стенда и элементах НФС при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 8 баллов по полной (частотный спектр от 1 до 20 Гц) и укороченной (частотный спектр от 2,5 до 6 Гц) программам испытаний. Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 3.16-3.18. В

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата		62



Приложении 2 (таблицы П.2.5-П.2.8) приведены результаты обработки динамических испытаний при входном ускорении 2 м/с^2 по данным акселерометров, установленных на стенде и элементах НФС (сейсмограммы виброускорений, виброперемещений и виброусилий).

Анализ результатов динамических испытаний НФС при воздействиях, соответствующих 8 баллам по шкале MSK-64, позволяет отметить следующее.

1. При заданном входном динамическом воздействии, соответствующем ускорению основания – 2 м/с^2 , ускорение по данным датчиков, установленных на стенде в нижней и верхней зонах крепления акселерометров, изменялось от **1,519 (4 Гц) - 3,970 (2 Гц) м/с^2** (в уровне низа стенда, акселерометр № 0) до **0,533 (10 Гц) - 8,418 (3 Гц) м/с^2** (в уровне верха стенда, акселерометр № 2). Уровни величин ускорений элементов НФС при различных величинах изменения частотного спектра приведены в Приложении 2 – таблица П.2.5.
2. Максимальный коэффициент динамичности, определяемый как отношение величин ускорения в уровне верха стенда (и элементов НФС) к величинам ускорения в уровне низа стенда (и элементов НФС) при динамических воздействиях с изменением частотного спектра от 1 до 20 Гц (таблица 3.7) в зависимости от вида облицовки составил (виды облицовок указаны в Разделе 1):
 - для типа облицовки из фиброцементных плит на Стороне А:
– **6,36** при частоте 8 Гц;
 - для типа облицовки из натурального камня на Стороне А:
– **6,37** при частоте 7 Гц;
 - для типа облицовки из керамогранитных плит на Стороне С:
– **6,89** при частоте 6 Гц;
 - для типа облицовки из клинкерной плитки на Стороне С:
– **5,08** при частоте 3 Гц;

В таблице 3.8 приведены данные о динамических характеристиках стенда и элементов НФС при проведении испытаний в частотном спектре от 2,5 до 6 Гц, т.е. в спектре, близком к резонансной зоне.

3. Эффект резонанса был установлен при частоте воздействия 3,5 Гц.
4. По результатам измерений, приведенных в таблицах 3.5 и 3.6 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 13,51 мм (при частоте 1 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 29,17 кН (при частоте 5 Гц). При этом распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда размером $2,4 \times 4,2 = 10,08 \text{ м}^2$ составило $2,89 \text{ кН/м}^2$ (289 кгс/м^2).

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		63



5. Измерения величин перекосов стенда в вертикальной плоскости показали следующее:

- при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное перемещение составило 21,725 мм (при частоте 3 Гц). При этом величина перекоса составила: $f/L = 21,725/4200 = 1/193$, т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости превысила нормируемое значение по СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*, равное 1/350 (для одного этажа). При указанном вертикальном перекосе повреждений элементов системы НФС не установлено.

6. При заданной величине воздействия, соответствующей 8 баллам по шкале MSK-64, повреждений в конструкциях НФС (облицовки, кронштейнах, направляющих и их узловых соединениях) не установлено. Сейсмостойкость конструкций при ускорении, соответствующем 8 баллам, обеспечена.

Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 1 до 20 Гц.

Таблица 3.5

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
1	13,51	7,86	13,22	10,55
2	6,60	8,72	6,60	7,48
3	4,41	6,75	4,37	7,78
4	3,32	7,52	3,15	8,32
5	2,44	14,86	2,35	14,31
6	1,66	9,10	1,61	6,84
7	1,22	2,78	1,15	6,31
8	0,92	1,21	0,85	3,04
9	0,70	1,76	0,64	1,37
10	0,56	1,43	0,50	1,88
15	0,16	1,54	0,13	2,13
20	0,06	1,84	0,06	1,70



Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 2,5 до 6 Гц

Таблица 3.6

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
2,5	8,90	8,62	8,69	9,19
3	6,94	7,53	6,87	7,00
3,5	5,09	7,62	5,01	7,65
4	3,90	8,57	3,81	8,89
4,5	3,08	11,41	2,98	11,85
5	2,46	15,11	2,39	14,58
5,5	2,00	13,05	1,96	11,59
6	1,67	8,30	1,63	7,42

Коэффициенты динамичности по данным акселерометров,
установленных на кронштейнах в уровне верха и низа стенда
(для частотного спектра от 1 до 20 Гц)

Таблица 3.7

Частота, Гц	Стенд	Сторона С					
	т.2/0	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.4	т.7/т.3	т.6/т.3	т.7/т.6
1	1,62	2,16	1,00	2,16	2,34	0,87	2,69
2	0,84	1,08	0,78	1,38	1,32	1,14	1,15
3	2,75	2,38	0,92	2,58	2,77	1,09	2,54
4	3,19	3,69	1,90	1,94	4,09	1,69	2,42
5	1,87	2,63	0,64	4,13	3,18	0,83	3,84
6	0,57	0,95	0,49	1,95	2,10	0,30	6,89
7	0,62	5,30	3,02	1,76	2,91	1,36	2,14
8	1,33	6,36	5,47	1,16	3,05	1,44	2,12
9	0,83	0,32	0,85	0,38	1,78	1,79	0,99
10	0,22	1,45	0,85	1,71	2,48	4,26	0,58
15	0,28	0,79	1,25	0,64	0,92	1,69	0,55
20	0,79	0,70	1,12	0,63	0,14	0,35	0,39



Таблица 3.7 продолжение

Частота, Гц	Сторона А					
	т.9/т.0	т.8/т.0	т.9/т.8	т.11/т.0	т.10/т.0	т.11/т.10
1	2,38	2,00	1,19	1,37	1,09	1,26
2	1,54	2,00	0,77	1,70	1,69	1,01
3	5,17	5,08	1,02	2,43	1,30	1,86
4	4,42	1,85	2,39	2,71	2,32	1,17
5	2,87	1,32	2,18	1,76	1,30	1,35
6	1,64	1,13	1,46	1,12	1,49	0,75
7	2,54	3,66	0,69	6,37	4,87	1,31
8	1,58	1,73	0,91	1,75	1,42	1,23
9	0,83	0,61	1,35	0,43	0,38	1,13
10	0,18	0,59	0,30	0,37	0,14	2,66
15	0,44	0,16	2,78	0,21	0,33	0,65
20	0,67	0,52	1,28	0,30	0,36	0,83

Коэффициенты динамичности по данным акселерометров,
установленных на кронштейнах в уровне верха и низа степда
(для частотного спектра от 2,5 до 6 Гц)

Таблица 3.8

Частота, Гц	Стенд	Сторона С					
	т.2/0	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.4	т.7/т.3	т.6/т.3	т.7/т.6
2,5	1,73	1,35	0,86	1,56	1,24	0,83	1,50
3	3,00	2,99	1,44	2,07	3,64	2,58	1,41
3,5	3,67	5,54	3,73	1,48	4,81	2,63	1,83
4	1,94	5,53	3,29	1,68	3,62	1,88	1,93
4,5	1,86	3,11	1,34	2,32	3,69	1,35	2,74
5	2,40	3,18	0,79	4,00	3,75	1,18	3,18
5,5	1,61	1,72	0,76	2,27	2,29	1,16	1,98
6	0,42	0,71	0,64	1,11	2,04	0,56	3,66

Таблица 3.8 продолжение

Частота, Гц	Сторона А					
	т.9/т.0	т.8/т.0	т.9/т.8	т.11/т.0	т.10/т.0	т.11/т.10
2,5	1,93	1,84	1,05	1,29	1,07	1,20
3	6,74	6,01	1,12	2,65	1,68	1,58
3,5	7,79	4,75	1,64	9,33	7,73	1,21
4	3,34	1,78	1,88	2,03	1,71	1,19
4,5	2,44	1,17	2,09	2,04	1,74	1,17
5	3,59	1,98	1,81	2,39	1,76	1,36
5,5	2,42	1,89	1,29	1,57	0,94	1,67
6	1,87	1,24	1,51	1,20	1,60	0,75

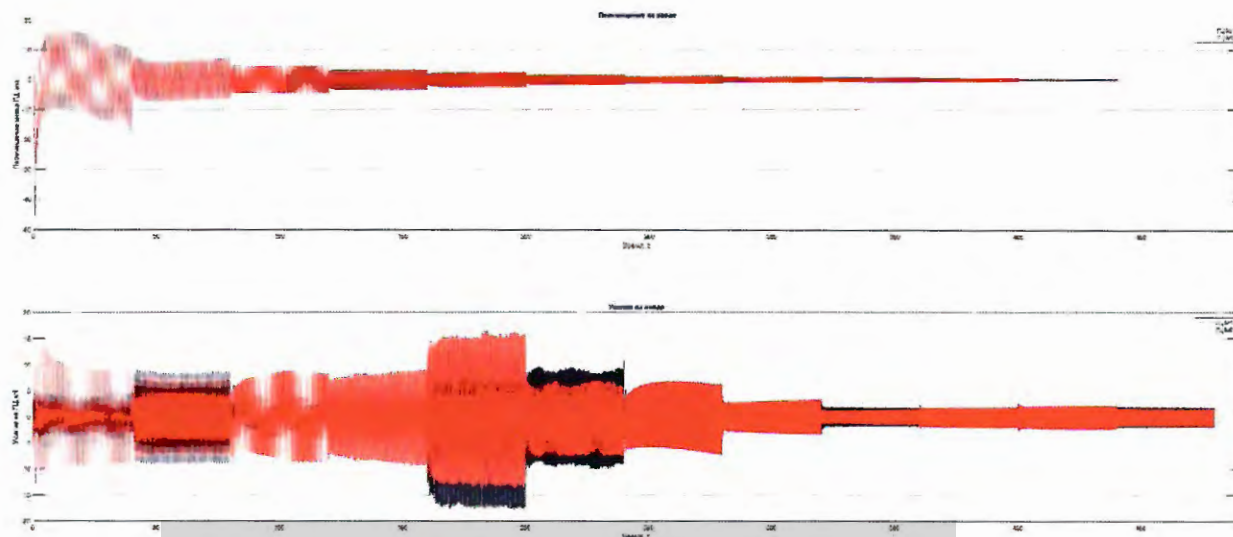


Рисунок 3.28 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 1 до 20 Гц



Рисунок 3.29 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц

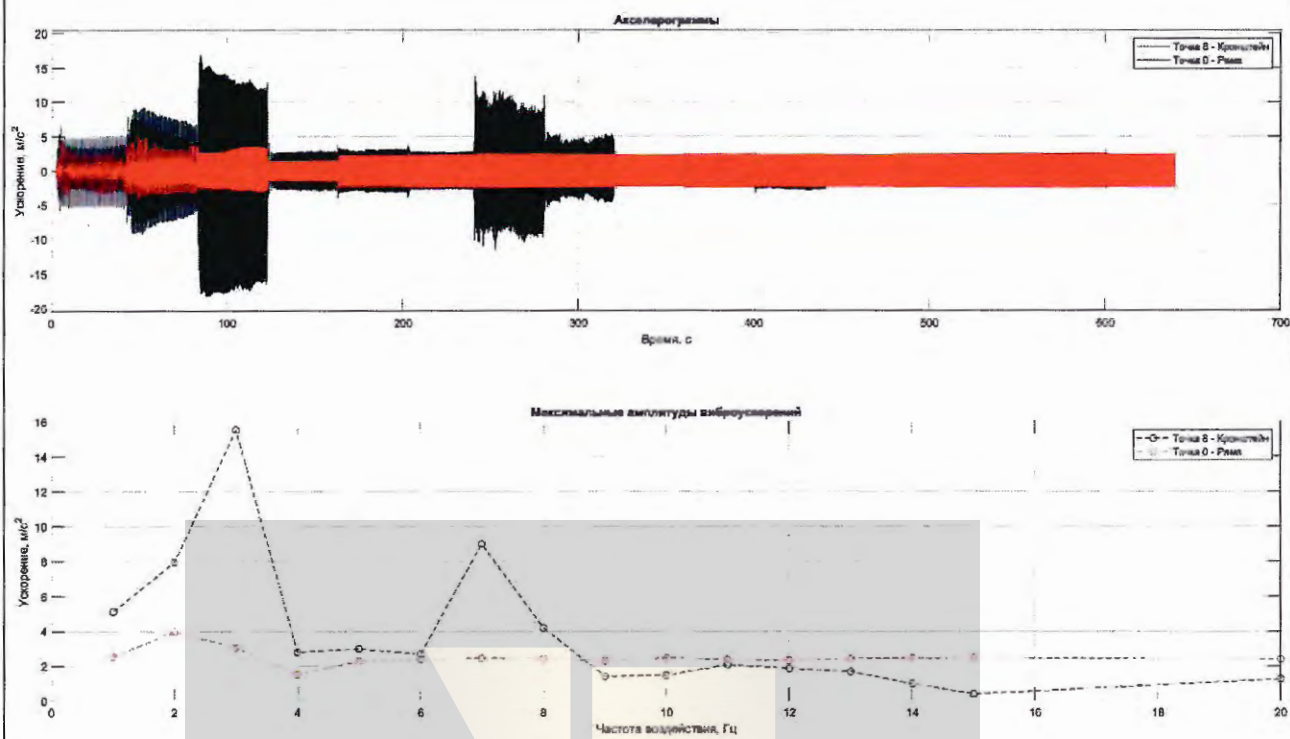


Рисунок 3.30 График сейсмограммы виброускорений в нижней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.0).

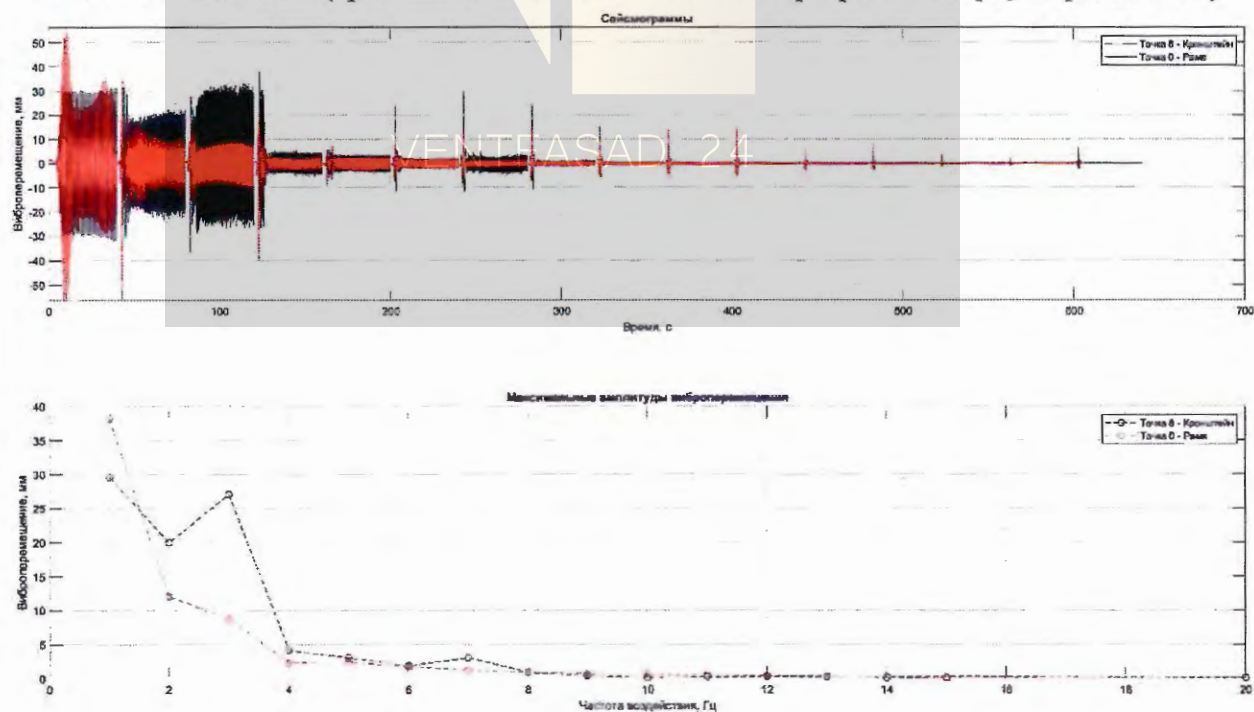


Рисунок 3.31 График сейсмограммы виброперемещений в нижней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.0).

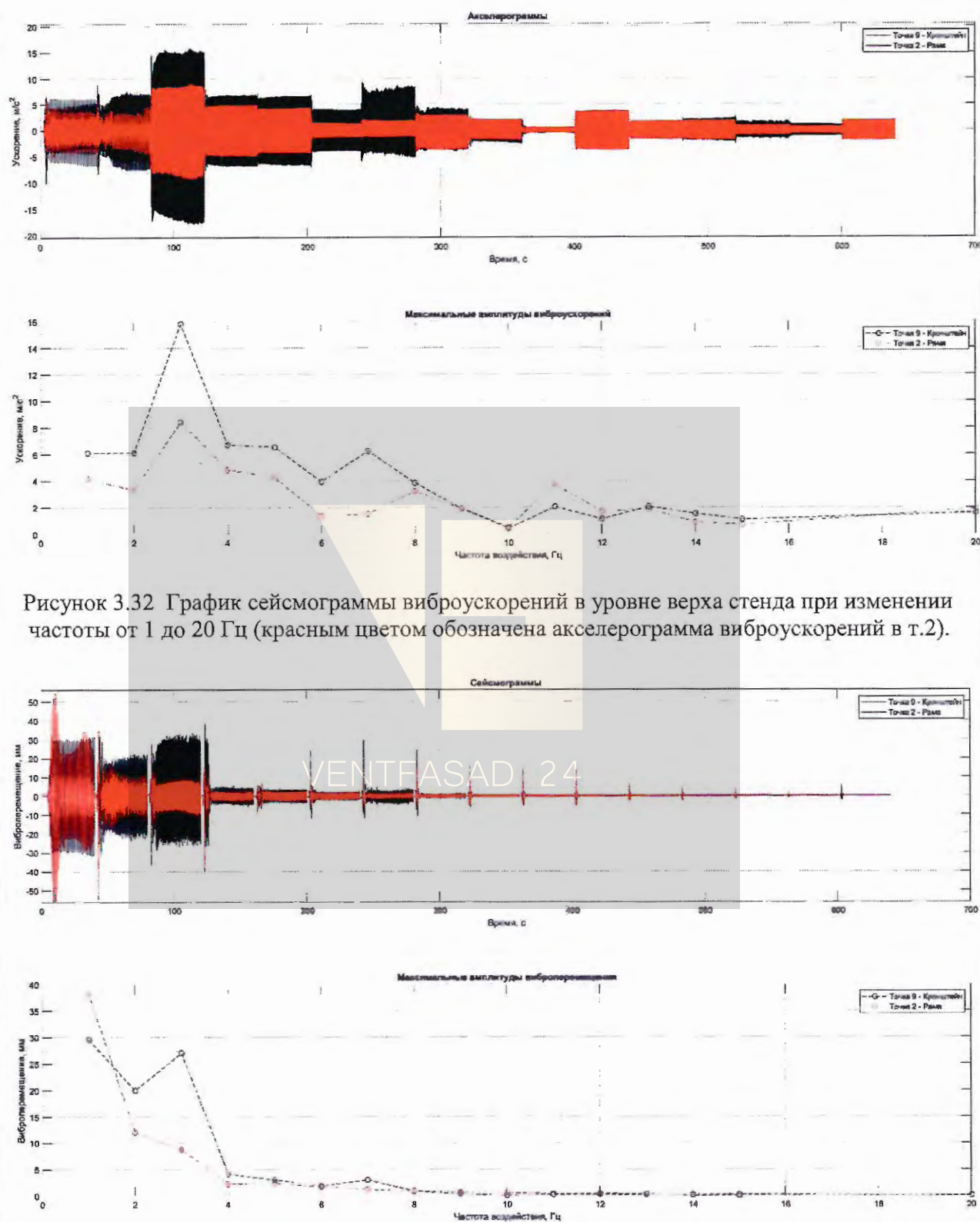


Рисунок 3.32 График сейсмограммы виброускорений в уровне верха стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.2).

Рисунок 3.33 График сейсмограммы виброперемещений в верхней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.2).

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Лодокум.	Подп.	Дата		69

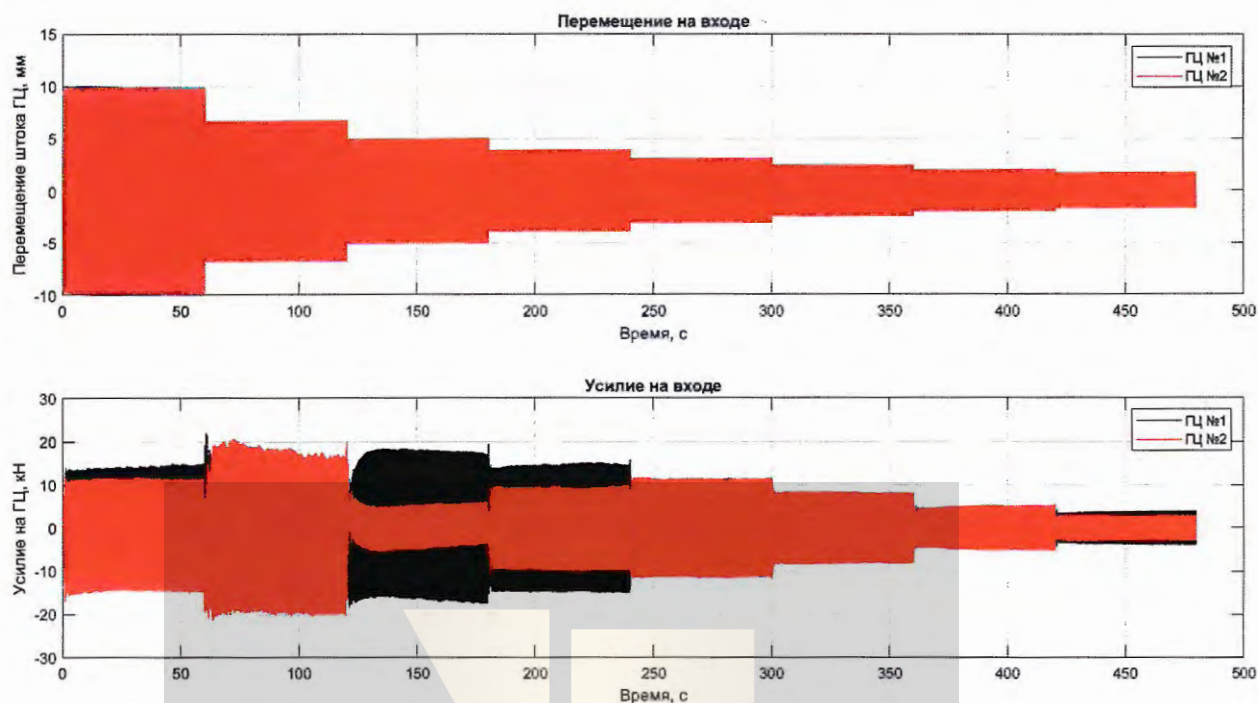


Рисунок 3.34 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц.

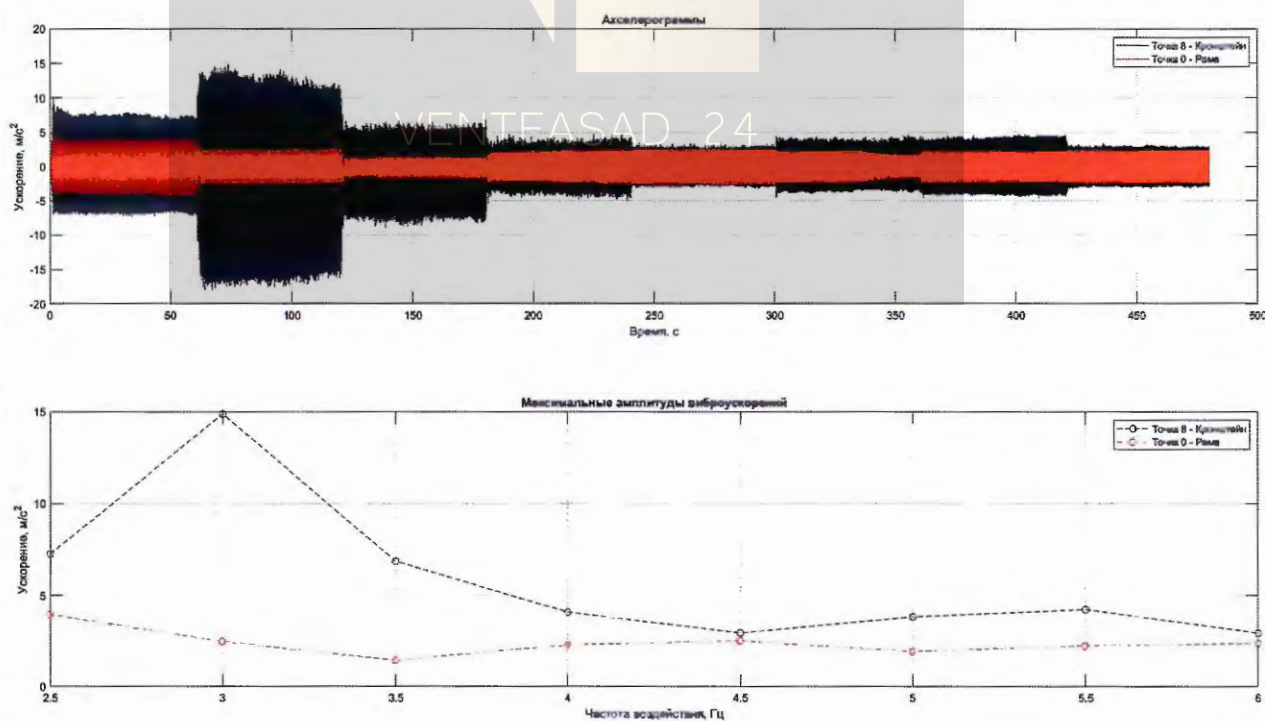


Рисунок 3.35 График акселерограмм виброускорений стенда в уровне установки гидроцилиндров при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений нижней точки № 0 стенда)

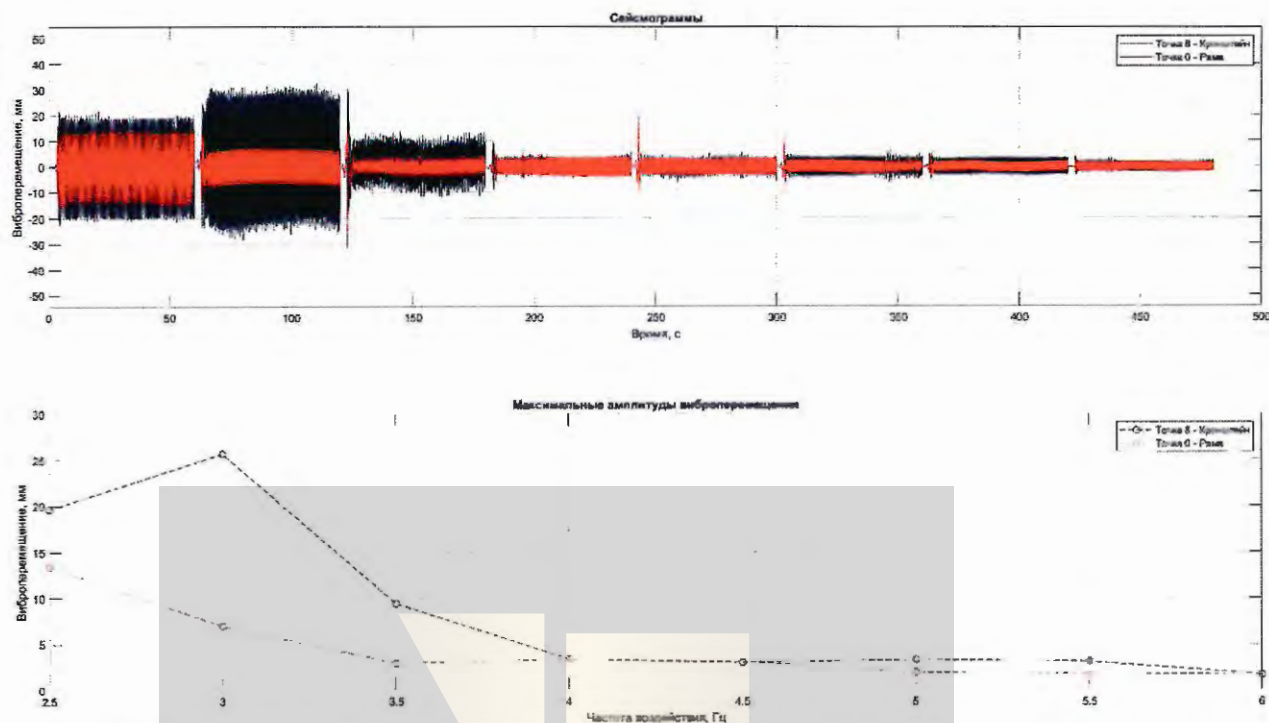


Рисунок 3.36 График акселерограмм виброперемещений стенда в уровне установки гидроцилиндров при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброперемещений нижней точки № 0 стенда)

3.3.3 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 9 баллов

В таблицах 3.9 и 3.10 приведены результаты замеров величин усилий на стенд от динамических гидроцилиндров и перемещений рабочего органа гидродомкратов, жестко связанных с элементами стенда. На рисунках 3.37 – 3.39 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброперемещений и виброускорений для различных программ нагружения (изменения частотного спектра в интервале от 1 до 6 Гц).

При частоте 3,5 Гц началось обрушение конструкций НФС (Сторона С, фасад из керамогранитных плит – см. рисунок 3.40) в нижней и средней точках стенда. При частоте 6 Гц произошло полное обрушение облицовки из керамогранита со Стороны С (рисунок 3.41). Причиной обрушения керамогранитных плит явились:

- как видно из рисунка 3.41, конструктивно несущая подсистема решена по межэтажной схеме с расстоянием между кронштейнами по высоте фасада 4 200 мм. При этом



первые две направляющие (от угла фасада) связаны между собой по высоте промежуточными горизонтальными планками-связями. Третья направляющая не имеет продольных связей по высоте. При колебаниях элементов подсистемы длина волны крайней направляющей составила 4200 мм, а двух угловых направляющих – 2100 мм. В результате при колебаниях вертикальных направляющих в разные стороны произошла раздвижка опор (кляммеров) плит и, как следствие этого, их выпадение;

- при падении керамогранитных плит произошел разгиб «носов» кляммеров с дальнейшим обрушением соседних плит (рисунок 3.42).

В Приложении 2 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений виброперемещений и виброускорений в средних и нижних точках стенда и НФС при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 9 баллов (частотный спектр от 1 до 6 Гц). Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 3.16-3.18. В Приложении 2 (таблицы П.2.9, П.2.10) приведены результаты обработки динамических испытаний при входном ускорении 4 м/с^2 по данным акселерометров, установленных на стенде и элементах НФС (сейсмограммы виброускорений и виброперемещений).

Анализ результатов динамических испытаний НФС при воздействиях, соответствующих 9 баллам по шкале MSK-64, позволяет отметить следующее.

1. При заданном входном динамическом воздействии, соответствующем ускорению основания – 4 м/с^2 , ускорение по данным датчиков, установленных на стенде в нижней и верхней зонах крепления акселерометров, изменялось от **2,16-4,54 м/с^2** (в уровне низа стенда, акселерометр № 0) до **2,40-10,46 м/с^2** (в уровне верха стенда, акселерометр № 2). Уровни величин ускорений элементов НФС при различных величинах изменения частотного спектра приведены в Приложении 2 – таблица П.2.9.
2. Максимальный коэффициент динамичности, определяемый как отношение величин ускорения в уровне верха стенда (и элементов НФС) к величинам ускорения в уровне низа стенда (и элементов НФС) при динамических воздействиях с изменением частотного спектра от 1 до 6 Гц (таблица 3.7) в зависимости от вида облицовки составил (виды облицовок указаны в Разделе 1):

- для типа облицовки из фиброцементных плит на Стороне А:

– **6,49** при частоте 3 Гц;

- для типа облицовки из натурального камня на Стороне А:

– **2,91** при частоте 3 Гц;

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости и надежности фасадной системы «ФЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Поддокум.	Подп.	Дата		72



- для типа облицовки из керамогранитных плит на Стороне С:
– 2,19 при частоте 3 Гц;
 - для типа облицовки из клинкерной плитки на Стороне С:
– 3,73 при частоте 3 Гц;
3. Эффект резонанса был установлен при частоте воздействия 3,5 Гц. При этом произошло обрушение НФС с облицовкой из керамогранитных плит (рисунок 3.41).
4. По результатам измерений, приведенных в таблице 3.9 установлено, что максимальное перемещение стенда в зоне установки гидроцилиндров составило 22,08 мм (при частоте 1 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 38,99 кН (при частоте 5 Гц). При этом распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда размером $2,4 \times 4,2 = 10,08 \text{ м}^2$ составило $3,87 \text{ кН/м}^2$ (387 кгс/м^2).
5. Измерения величин перекосов стенда в вертикальной плоскости показали следующее:
- при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное перемещение составило 20,94 мм (при частоте 1 Гц). При этом величина перекоса составила: $f/L = 20,94/4200 = 1/201$, т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости превысила нормируемое значение по СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*, равное $1/350$ (для одного этажа). При указанном вертикальном перекосе повреждений элементов системы НФС не установлено.
6. При частоте 6 Гц произошло обрушение облицовочной панели из керамогранитных плит. Причины обрушения описаны выше, характер обрушения показан на рисунках 3.40 и 3.41. Сейсмостойкость остальных НФС была обеспечена, несущие конструкции подсистемы и облицовочные материалы при резонансных частотах не получили повреждений.

В Приложении 3 приведены графики огибающих кривых коэффициента динамичности элементов подсистемы (кронштейны) при различных уровнях динамического воздействия.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «ГРВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Несдокум.	Подп.	Дата		73



Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 1 до 20 Гц

Таблица 3.9

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
1	22,08	14,79	21,92	15,51
2	10,90	9,95	10,85	15,35
3	7,31	13,69	7,21	16,93
4	5,48	18,52	5,38	19,63
5	4,24	19,16	4,17	19,83
6	3,33	12,71	3,21	12,01
7	2,44	4,49	2,33	6,29
8	1,83	3,64	1,74	2,64
9	1,42	2,79	1,33	4,21
10	1,13	2,81	1,04	3,95
15	0,43	4,19	0,38	5,44
20	0,11	3,55	0,11	3,12

Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 2,5 до 6 Гц

Таблица 3.10

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
2,5	8,82	12,15	8,79	13,47
3	7,33	13,65	7,23	17,07
3,5	6,30	16,69	6,21	17,86
4	5,51	18,21	5,42	19,24
4,5	4,77	14,74	4,77	16,39
5	4,29	19,07	4,23	21,67
5,5	3,88	18,24	3,75	18,53
6	3,28	13,61	3,11	15,94



**Коэффициенты динамичности по данным акселерометров,
установленных на кронштейнах в уровне верха и низа стенда
(для частотного спектра от 1 до 6 Гц)**

Таблица 3.11

Частота, Гц	Стенд	Сторона С					
	т.2/0	т.5/т.3	т.4/т.3	т.5/т.4	т.7/т.3	т.6/т.3	т.7/т.6
1	1,721	1,43	0,85	1,68	1,82	0,74	2,46
2	0,716	0,74	0,95	0,78	1,24	0,62	2,02
3	3,385	3,73	1,84	2,03	3,01	2,19	1,38
4	1,716	2,24	1,47	1,52	2,44	-	-
5	2,407	2,76	0,88	3,13	3,99	-	-
6	1,747	1,26	0,73	1,73	2,01	-	-

Таблица 3.11 продолжение

Частота, Гц	Стенд	Сторона А					
	т.2/0	т.9/т.0	т.8/т.0	т.9/т.8	т.11/т.0	т.10/т.0	т.11/т.10
1	1,721	2,59	1,53	1,70	1,67	1,44	1,16
2	0,716	1,51	1,35	1,12	1,24	1,39	0,90
3	3,385	6,49	2,63	2,47	2,91	2,07	1,41
4	1,716	0,23	1,38	0,16	1,99	1,71	1,16
5	2,407	0,14	0,95	0,15	2,48	1,72	1,44
6	1,747	0,67	0,71	0,94	3,17	2,61	1,21

Изм.	Лист	Медокум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»

Лист

75

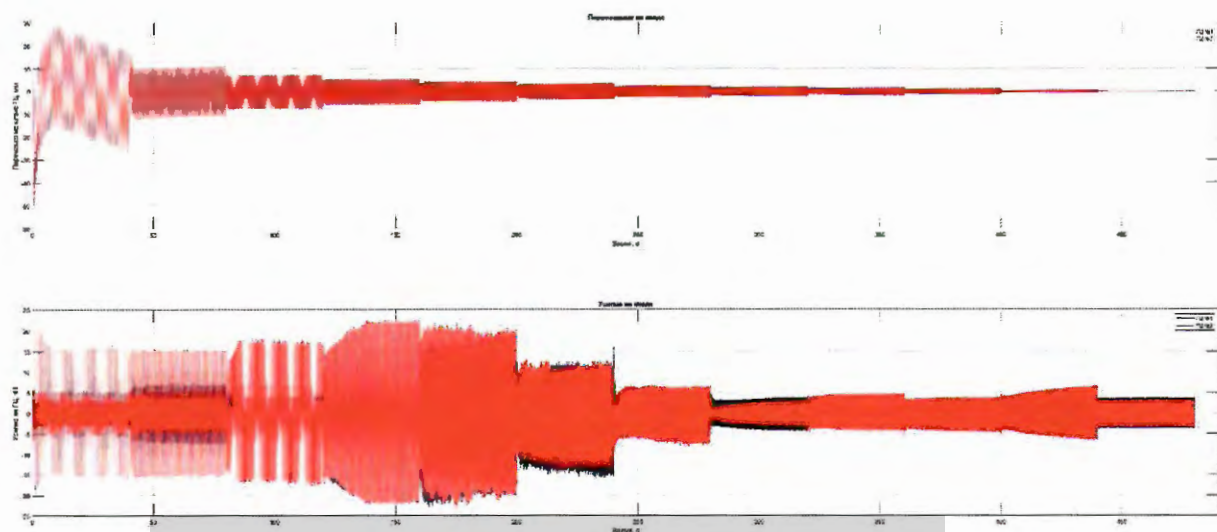


Рисунок 3.37 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 1 до 20 Гц

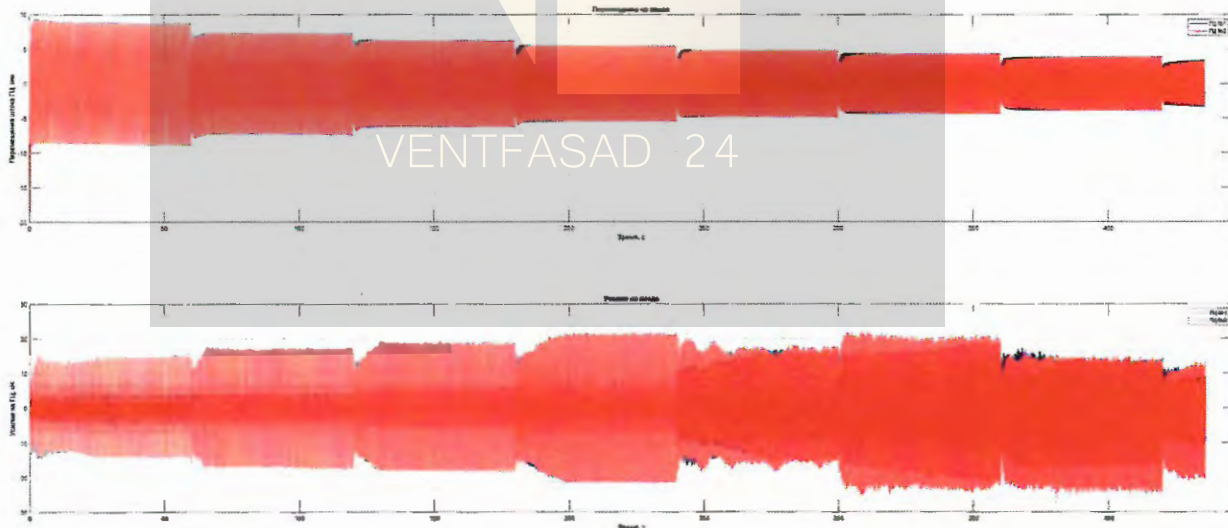


Рисунок 3.38 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 2,5 до 6 Гц

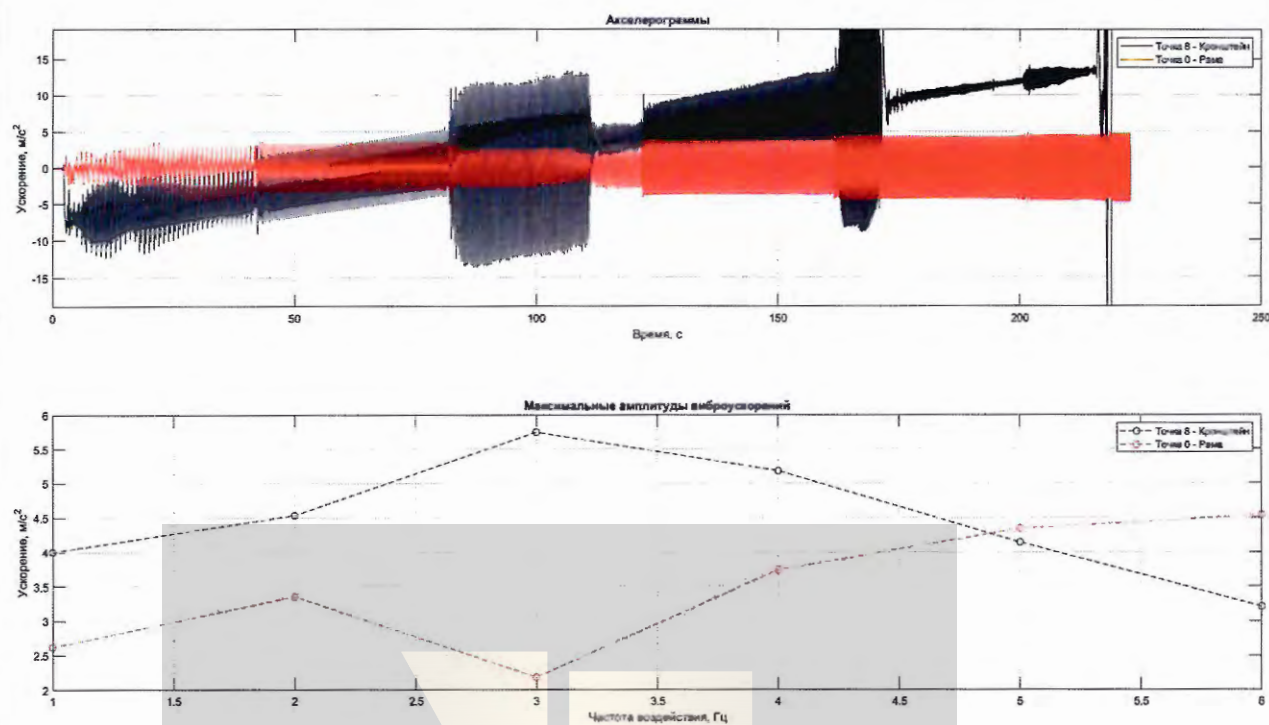


Рисунок 3.39 График сейсмограммы виброускорений в верхней зоне стенда при изменении частоты от 1 до 20 Гц (красным цветом обозначена акселерограмма виброускорений в т.0).

VENTFASAD 24

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 77
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		



Рисунок 3.40 Динамика обрушения облицовки из керамогранитных плит

Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата

Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»

Лист

78



Рисунок 3.41 Характер обрушения облицовки на момент завершения испытаний

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист 79
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		

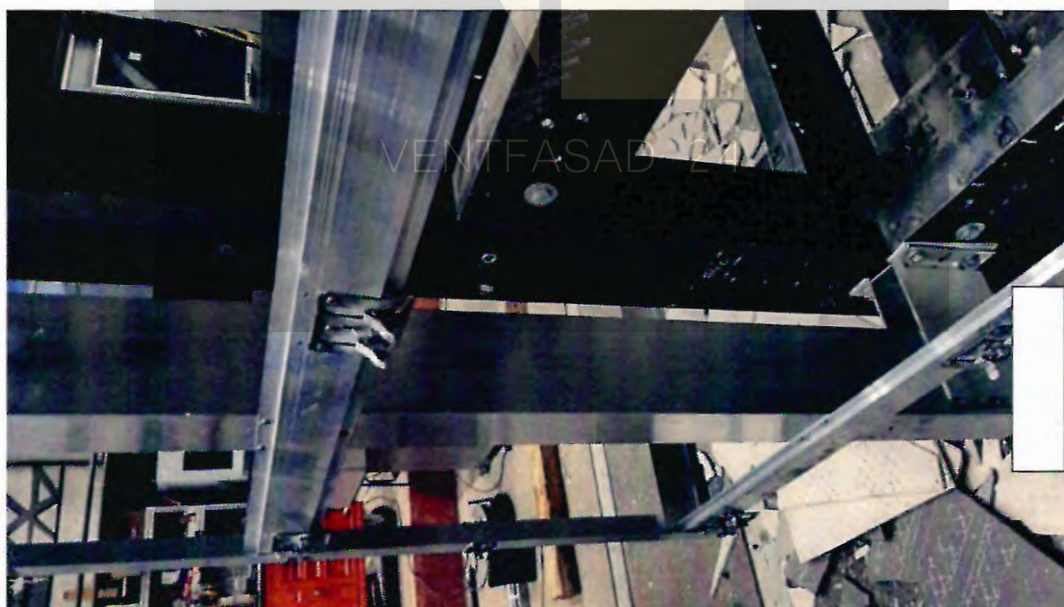
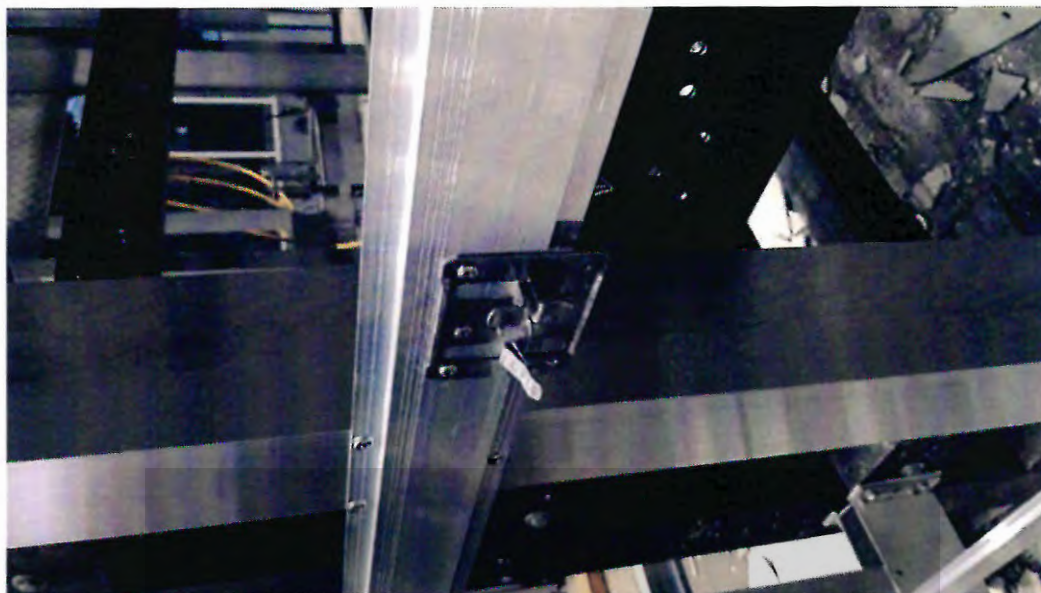


Рисунок 3.42 Характер разрушения кляммеров

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						80
Изм.	Лист	Нодокум.	Подп.	Дата		



Заключение

Анализ результатов экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости навесных фасадных систем «РЕВЕНТАЛ», производства фирмы ООО «ИНТЕРНОВА» с облицовками в виде клинкерной плитки, фиброцементных и керамогранитных плит и плит из натурального камня-известняка марки Cassiopea (White) толщиной 25 мм позволяет сделать следующие выводы.

1. Экспериментальные исследования выполнены в соответствии с Техническим заданием на основе проведения динамических испытаний фрагментов навесных фасадных систем с элементами облицовок, представленных ООО «ИНТЕРНОВА». Образцы смонтированы на специальном стенде в Лаборатории натуральных испытаний НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

2. Динамические воздействия на испытательный стенд выполнены с использованием динамических гидроцилиндров марки MTS. Динамические гидроцилиндры обеспечили максимальное горизонтальное усилие на испытательный стенд с образцами НФС до 39 кН (Раздел 3, таблица 3.9). Динамические испытания исследуемых образцов выполнялись при создании с помощью гидродомкратов ускорений 1, 2 и 4 м/сек² для моделирования сейсмических воздействий интенсивностью, соответственно, 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64. Частотный спектр воздействий изменялся в интервале от 1 до 20 Гц. При этом амплитуда колебаний в уровне низа стенда в зоне приложения усилий от гидродомкратов изменялась от 0,007 мм (20 Гц – 7 баллов) до 26,66 мм (1 Гц – 9 баллов). Амплитудно-частотный спектр динамического воздействия задавался по ГОСТ 30546.1-98 (п. 4.2, таблица 1).

3. Величины максимальных ускорений в уровне низа и верха стенда в зависимости от ускорений на гидроцилиндре изменялись в процессе динамических воздействий следующим образом:

- при входном ускорении 1 м/с² (7 баллов по СП [5]) – от 1,69 м/с² (низ стенда) до 4,14 м/с² (верх стенда);
- при входном ускорении 2 м/с² (8 баллов по СП [5]) – от 3,97 м/с² (низ стенда) до 8,42 м/с² (верх стенда);
- при входном ускорении 4 м/с² (9 баллов по СП [5]) – от 4,54 м/с² (низ стенда) до 10,46 м/с² (верх стенда).

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
Изм.	Лист	Надокум.	Подп.	Дата		81



4. Этажность зданий с НФС «РЕВЕНТАЛ», возводимых в сейсмоопасных регионах, должна в зависимости от их конструктивного решения здания отвечать требованиям таблицы 6.1 СП 14.13330.2018 [2].

5. В результате динамических испытаний фрагментов НФС установлены характеристики динамичности (коэффициента динамичности β_{loc}). Графики огибающих коэффициентов динамичности (β_{loc}) для исследованных фрагментов НФС приведены в Приложении 3. Максимальные коэффициенты динамичности наиболее гибких элементов (кронштейнов) каркаса НФС «РЕВЕНТАЛ» в зависимости от вида облицовки изменялись следующим образом:

- для типа облицовки из фиброцементных плит - 8,39 при 5 Гц;
- для типа облицовки из натурального камня - 12,21 при 7 Гц;
- для типа облицовки из керамогранитных плит - 5,67 при 5 Гц;
- для типа облицовки из клинкерной плитки 13,82 при 8 Гц.

При этом, при установленных коэффициентах динамичности повреждений или разрушений кронштейнов не установлено.

6. Навесные фасадные системы производства ООО «РЕВЕНТАЛ», исследованные в рамках проведенных испытаний, могут быть рекомендованы для применения в сейсмоопасных регионах РФ с балльностью площадок строительства от 7 до 9 баллов включительно при сохранении конструктивных решений, принятых в исследованных конструкциях НФС, и соответствия расчётных ускорений в уровне этажей проектируемого здания значениям, полученным при испытаниях (см. п. 3 настоящего Заключение). НФС «РЕВЕНТАЛ» с облицовкой из керамогранитных плит могут применяться только в сейсмоопасных регионах с балльностью площадки до 8 баллов по шкале MSK-64. Для площадок с балльностью до 9 баллов необходима установка в среднем пролёте по высоте направляющих дополнительных горизонтальных связей с последующей экспериментальной проверкой усиленной системы.

7. При монтаже навесных фасадных систем производства фирмы ООО «РЕВЕНТАЛ» в условиях, отличных от режимов испытаний (например, в случаях превышения значений расчётных ускорений, полученных при испытаниях – см. п.3 – и, в особенности, при проектировании зданий сложной геометрической структуры, т.е. несоответствующих требованиям п.5.3 СП 14.13330.2018 [2]), следует при проектировании зданий выполнить расчётную проверку сейсмостойкости НФС (проверку несущей способности при действии местных сейсмических нагрузок) по методике, приведённой в Приложении 4 к настоящему Отчету. При этом для каждого из проверяемых видов НФС следует использовать величины коэффициента динамичности (β_{loc}), определенные в рамках настоящего исследования.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист 82
Изм.	Лист	Документ	Подп.	Дата		



8. При применении фасадных систем «РЕВЕНТАЛ» с облицовками из натурального камня, клинкерной плитки и фиброцементных плит, прошедших настоящие испытания (см. Разделы 1 и 3 настоящего отчета), в сейсмических районах при балльности площадки строительства 7-9 баллов по шкале MSK-64 должны соблюдаться требования, касающиеся долговечности, огнестойкости и коррозионной стойкости элементов фасадной системы.



					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовок»	Лист
						83
Изм.	Лист	Модокум.	Подп.	Дата		



Список использованных источников

1. Альбом технических решений навесной фасадной системы "REVENTAL-RLS-HIS-V-130". Фирма «REVENTAL», Ver.1.04, Таллинн, 2021.
2. СП 14.13330.2018 (с изменением №1). Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
3. ГОСТ 30630.0.0-99. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования (с Поправкой).
4. ГОСТ 30630.1.2-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий испытания на воздействие вибрации.
5. ГОСТ ИСО 5348-2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.
6. Ю.П. Назаров, Е.В. Позняк. Определение коэффициента динамичности в расчетах на сейсмостойкость // ISSN 2305-5502. Stroitel stvo: nauka i obrazovanie № 1 2015, p.1-8.
7. Айзенберг Я.М., Акбиев Р.Т., Смирнов В.И. Динамические испытания и сейсмостойкость навесных фасадных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008, №1, с.13-15.
8. Акбиев Р.Т., Чубаков М.Ж. Основные подходы и требования по экспериментальной оценке сейсмобезопасности навесных фасадных систем // Проектирование и строительство в Сибири. 2011, № 4, с.31-37.
9. Протокол по результатам совместного технического совещания представителей организаций-производителей фасадных систем и специализированных научно-исследовательских организаций / Материалы VII Российской Национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (г. Сочи, 30 августа 2007г.) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005, №7, с. 71-71.
10. Акбиев Р.Т., Чубаков М.Ж. Комплексная оценка и сравнительный анализ динамической устойчивости и конструктивной безопасности навесных фасадных систем // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012, №1, с.62-69.

					Технический отчет теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости навесной фасадной системы «РЕВЕНТАЛ» с различными видами облицовки»	Лист 84
Изм.	Лист	Ндл.кум.	Полп.	Дата		