



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. +7 (495) 781-80-07, факс +7 (499) 183-44-38



**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор научно-технических  
проектов НИУ МГСУ

О.В. Кабанцев  
\_\_\_\_\_ 2023 г.

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

**«Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости  
фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП,  
закрепленных к металлическим конструкциям зданий с  
помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»**

Шифр № К.231-22 от 09.03.2022

Арх. № 106629 /К.231-22

Директор НИИ ЭМ, к.т.н.

 Шувалов А.Н.

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

 Грановский А.В.

Заведующий ЛДС, к.т.н.

 Смирнов В.А.

**МОСКВА 2023**

*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.

  
\_\_\_\_\_

Шувалов А.Н.

Заместитель директора НИИ ЭМ

  
\_\_\_\_\_

Корнев О.А.

Заведующий ЛДС, к.т.н.

  
\_\_\_\_\_

Смирнов В.А.

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

  
\_\_\_\_\_

Грановский А.В.

Инженер 2 кат. ЛДС

  
\_\_\_\_\_

Смоляков М.Ю.

Нормоконтролер

  
\_\_\_\_\_

Ковалев М.Г.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		2



## Содержание

Введение.....	4
1 Конструктивные решения ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей марки «МП ТСП» .....	7
1.1 Описание принятых в эксперименте конструктивных решений трехслойных сэндвич-панелей .....	7
1.2 Экспериментальные исследования по оценке прочности и деформативности трехслойных сэндвич-панелей при действии статических и динамических нагрузок.....	9
1.3 Нормативные документы в области проектирования наружных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей.....	9
1.4 Монтаж экспериментальных фрагментов трехслойных сэндвич панелей.....	10
2 Экспериментальные исследования сейсмостойкости фасадных систем с облицовкой сэндвич-панелями .....	14
2.1 Объект исследования.....	14
2.2 Программа и методика испытаний. Измерительные приборы и оборудование.....	16
2.2.1 Силовое оборудование и измерительные приборы.....	16
2.2.2. Программа и методика динамических испытаний.....	24
2.3. Результаты динамических испытаний ограждающих конструкций и их анализ.....	25
2.3.1 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 7 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 17,96 Гц.....	26
2.3.2 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 22,63 Гц.....	35
2.3.3 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 9 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 22,63 Гц.....	44
Заключение.....	71
Список использованных источников.....	76
Приложение 1 Техническое задание.....	79
Приложение 2 Письмо Заказчика о внесении изменений в конструктивное решение сэндвич-панелей.....	83
Приложение 3 Свидетельства о поверке измерительной и испытательной аппаратуры .....	86
Приложение 4. Обзор отечественных и зарубежных исследований трехслойных сэндвич-панелей.....	98
Приложение 5 Огибающие кривых коэффициентов динамичности при различных уровнях динамического воздействия .....	105
Приложение 6 Видеозапись эксперимента .....	120



## Введение

Настоящий технический отчет составлен в соответствии с Техническим заданием к договору № К.231-22 от 09.03.2022г. (Приложение 1) и письмом Заказчика по корректировке размеров опытных образцов в виде сэндвич-панелей МП ТСП (Приложение 2) по результатам проведенных экспериментальных исследований сейсмостойкости ограждающих конструкций в виде сэндвич-панелей марки «МП ТСП» (далее сокращенно – МП ТСП), закрепленных к металлическому каркасу зданий с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt». Рассмотренные в эксперименте ограждающие системы из МП ТСП были изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ 32603-2021 и документами, разработанными Заказчиком: ТУ 5284-001-37144780-2-12 «Панели металлические трехслойные сэндвич-панели с утеплителем из минераловатных плит и пенополистирольных плит» и ТУ 5285-003-37144780-2013 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из пенополиуретана или пенополиизоцианурата».

### **Цели работы:**

- оценка надежности крепления МП ТСП к металлическому каркасу стенда с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt»;
- оценка сейсмостойкости фрагментов ограждающих конструкций из МП ТСП, расположенных как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях относительно плоскости стенда и закрепленных к металлическим элементам экспериментального стенда с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt», при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7-9 баллов по шкале MSK-64;

Необходимость проведения экспериментальных исследований ограждающих конструкций из МП ТСП связана 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) [1]: «...применение фасадных конструкций должно соответствовать условиям, для которых в отношении данного типа НФС выполнялись испытания на сейсмостойкость».

Важным этапом таких исследований применительно к вопросам оценки сейсмической безопасности ограждающих конструкций МП ТСП являются испытания, в том числе с применением динамического нагружения на специальных стендах, виброплатформах и с помощью специальных вибромашин. Полученные в результате испытаний данные позволяют определить динамические характеристики испытываемых систем, а также являются основанием для оценки возможности расширения области их применения с учетом требований безопасности, эксплуатационной надеж-

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		4



ности и долговечности зданий, возводимых в сейсмических районах. В настоящее время разработаны конструктивные требования к ограждающим конструкциям МП ТСП и ее элементам, отраженные в нормативных документах. В процессе составления Технического отчета была использована техническая документация по ограждающим конструкциям МП ТСП, представленная Заказчиком [2,3], а также проанализированы Положения действующих Норм и Рекомендаций по конструктивному решению и техническим требованиям к ограждающим конструкциям МП ТСП [4-8]. Кроме этого, проанализированы рекомендации зарубежных исследований в этой области [9-12].

Выполненный в рамках проводимых испытаний обзор работ по экспериментальным и теоретическим исследованиям сэндвич-панелей показал, что вопросы сейсмостойкости трехслойных сэндвич-панелей длиной до 3,0 м с облицовкой из различных материалов были рассмотрены в ряде отечественных и зарубежных работ [13-23, 26-29].

В связи с этим до начала испытаний Заказчик внес корректировку в размеры экспериментальных образцов ограждающих конструкций МП ТСП: вместо сэндвич-панелей размером 3,0 м были доставлены Заказчиком сэндвич-панели длиной 6,0 м. Все работы по монтажу ограждающих конструкций МП ТСП длиной 6,0 м с установкой связей и опорных элементов для крепления панелей (см. Раздел 2 настоящего отчета) были выполнены Заказчиком. Эти изменения в ТЗ были обоснованы Заказчиком, исходя из следующих Положений:

- Гражданский Кодекс РФ, статья 744, п. 1: «Заказчик вправе вносить изменения в техническую документацию при условии, если вызываемые этим дополнительные работы по стоимости не превышают 10% указанной в смете общей стоимости работы»;
- ГОСТ 15.016-2016 [24], Раздел 6.4. Порядок внесения изменений в утвержденное ТЗ: «По решению Заказчика допускается не производить согласование дополнения к ТЗ с организациями, к которым данные изменения не относятся»;
- при корректировке ТЗ в процессе выполнения НИР должны учитываться следующие требования ГОСТ 15.101-2021 [25]:
  - п. 4.2, абзац 11: «Необходимо обеспечить конкурентоспособность продукции, намечаемой к созданию». Это обеспечивается только расширением каталога изделий, используемых Заказчиком при строительстве как в обычных, так и сейсмоопасных регионах;
  - п.4.6: «В процессе работы исполнитель НИР по согласованию с Заказчиком может уточнять и корректировать план совместной работы в пределах условий ТЗ на НИР»;

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		5



- п.5.3.5: «При приемке НИР оценивается научно-технический уровень исследований, ... и выданных рекомендаций ... для создания конкурентоспособной продукции».

Все указанные выше факторы были приняты Заказчиком при изменении размеров опытных образцов без изменения ТЗ (Приложение 2).

Для монтажа ограждающих конструкций Заказчиком были доставлены в Лабораторию натурных испытаний НИИ ЭМ НИУ МГСУ (по адресу: г. Мытищи, Олимпийский проспект д.50) трехслойные сэндвич-панели МП ТСП: размером 120×1190×6000 мм (5 панелей) и металлические элементы связей (уголок 40×40×4). Испытания ограждающих конструкций проводились на специально разработанной в НИИ ЭМ НИУ МГСУ установке (см. раздел 3 настоящего отчета).

Монтаж различных конструктивных вариантов ограждающих конструкций МП ТСП осуществлялся на металлический стенд. Монтаж осуществлялся силами Заказчика при одновременном контроле качества монтажа непосредственно Исполнителем – НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

В настоящее время отсутствует нормируемая методика проведения динамических испытаний ограждающих конструкций из МП ТСП на действие сейсмических нагрузок. В связи с этим при проведении настоящих испытаний использовалась методика, разработанная в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [30-37] с внесением корректировок, учитывающих особенности работы ограждающих конструкций МП ТСП при действии динамических нагрузок, предложенных специалистами НИУ МГСУ.

Проведенный анализ используемого в Европе и странах СНГ экспериментального оборудования по сейсмическим испытаниям фасадных систем (см. Раздел 3 настоящего отчета) позволяет сделать вывод, что применяемый в НИИ ЭМ НИУ МГСУ стенд для испытания ограждающих конструкций из МП ТСП и оборудование к нему обеспечивает получение необходимой информации о поведении конструкций с учетом уровня состояния науки по сейсмостойкому строительству на сегодняшний день.

Все испытательное оборудование и измерительные приборы имеют действующие свидетельства о поверке (см. Приложение 3 настоящего технического отчета).

Монтаж ограждающих конструкций МП ТСП и опытных образцов и непосредственно их динамические испытания проводились в период с 14.03 по 22.03.2023г.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		6

# 1 Конструктивные решения ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей марки «МП ТСП»

## 1.1 Описание принятых в эксперименте конструктивных решений трехслойных сэндвич-панелей

В соответствии с ТЗ к Договору для проведения динамических испытаний были использованы ограждающие конструкции МП ТСП размером 120×1190×6000 (L) мм при толщине металлической облицовки 0,5 мм. Образцы ограждающих конструкций из МП ТСП представляют собой самонесущие конструкции, несущая способность которых обеспечивается совместной работой внешних металлических облицовок толщиной не менее 0,5– 0,7 мм [2] и жесткого среднего слоя из минераловатных плит плотностью не менее 105 кг/м<sup>3</sup> при модуле упругости при сжатии – 4,0 Н/мм<sup>2</sup>. Вес панелей с утеплителем в виде минеральной ваты составляет 22,6 кг/м<sup>2</sup>. На рисунке 1.1 приведена конструкция ограждающих систем из МП ТСП длиной 6,0 м. Для испытаний использовались панели с замковым соединением Z-LOCK.

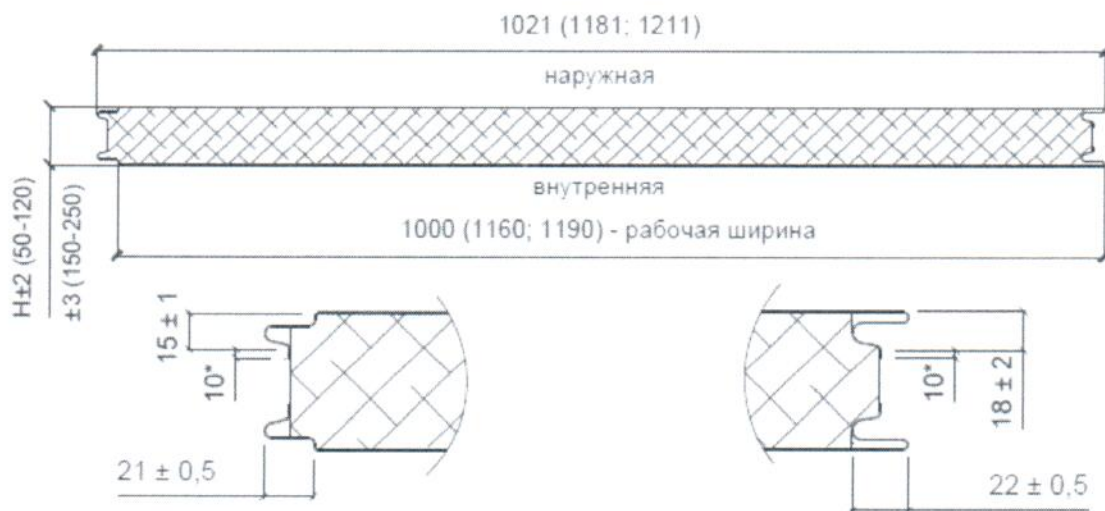


Рисунок 1.1 Поперечный разрез сэндвич-панелей МП ТСП с обозначением профиля продольных граней

При монтаже трехслойных сэндвич-панелей в качестве наружных ограждающих конструкций используют два варианта их расположения относительно несущих металлических и железобетонных конструкций зданий: горизонтальное и вертикальное (рисунок 1.2).

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		7

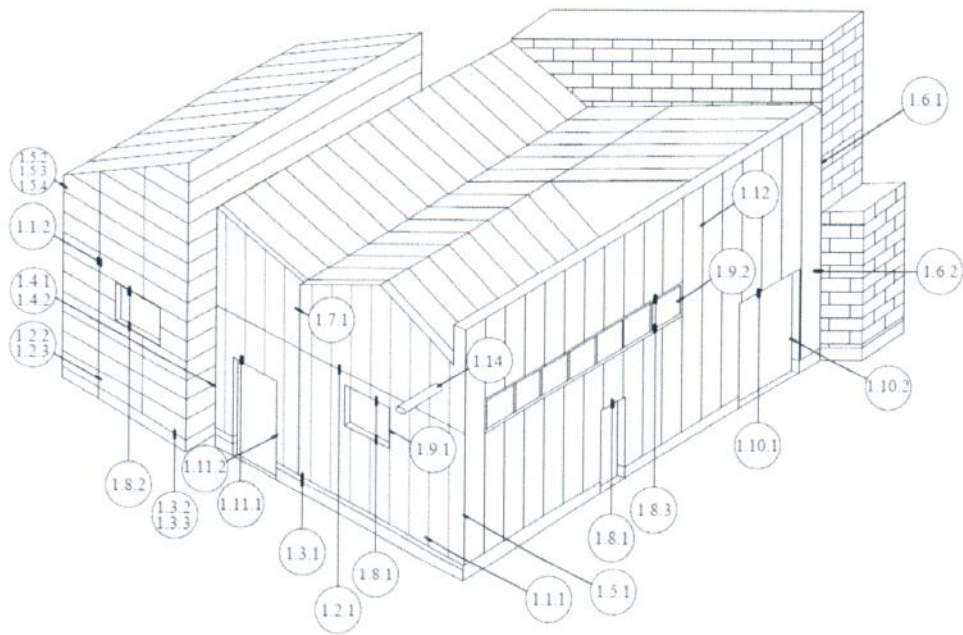


Рисунок 1.2 Схема здания, запроектированного с использованием сэндвич-панелей длиной от 3,0 до 6,0 м с горизонтальным и вертикальным их расположением

На рисунках 1.3 и 1.4 показаны, соответственно, моменты монтажа сэндвич-панелей МП ТСП, расположенных относительно несущих конструкций каркаса, в вертикальном и горизонтальном положениях.

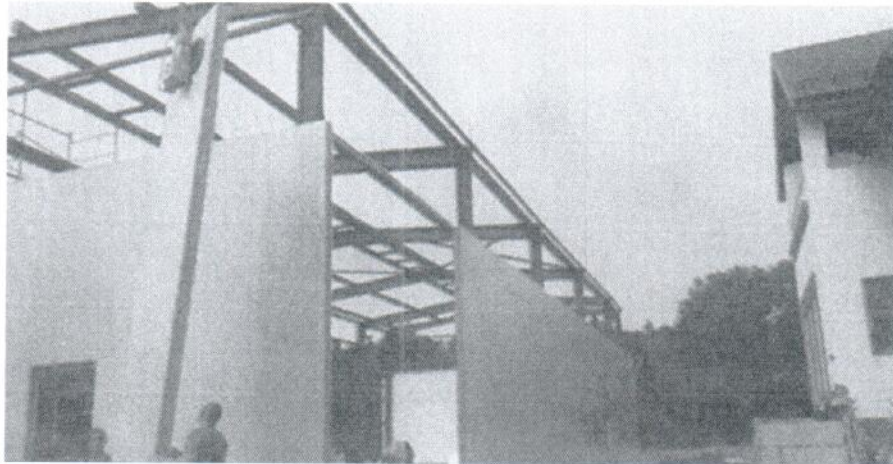


Рисунок 1.3 Монтаж сэндвич-панелей при их вертикальном положении

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		8

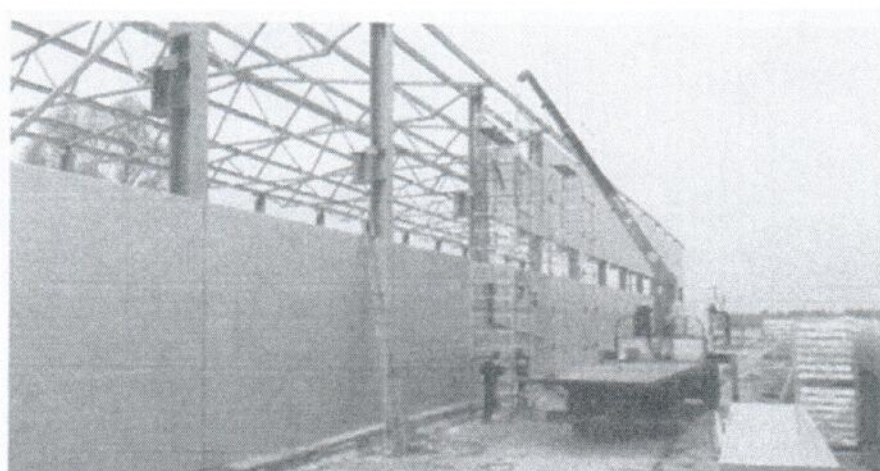
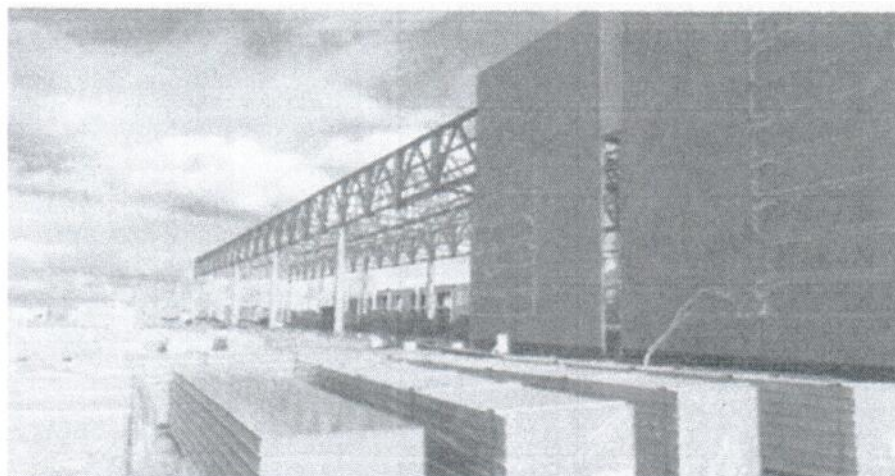


Рисунок 1.4 Монтаж сэндвич-панелей при их горизонтальном положении

## 1.2 Экспериментальные исследования по оценке прочности и деформативности трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП при действии статических и динамических нагрузок

По заданию Заказчика и необходимости оценки той информации, которая имеется в настоящее время в части исследований сэндвич-панелей МП ТСП на действие статических и динамических нагрузок на них, был выполнен обзор отечественных и зарубежных исследований в этой области (см. Приложение 4).

## 1.3 Нормативные документы в области проектирования наружных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей

В настоящее время при проектировании трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП для сооружений, возводимых в сейсмических районах, применяется нормативный документ, разработанный специалистами ЦНИИПромзданий [42] при участии НИИЖБ (к.т.н. Катин Н.И.) и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (инж. Ойзерман В.И.). Кроме этого, при конструировании и расчете трехслойных

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		9



сэндвич-панелей МП ТСП используются нормативные документы [4-8]. Все указанные нормативные и рекомендательные документы относятся к трехслойным сэндвич-панелям МП ТСП, монтируемым в вертикальном положении. В Техническом каталоге [2] даны рекомендательные предложения по проектированию горизонтально расположенных трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП для сооружений, возводимых в сейсмических районах. Указанные рекомендации приняты на основе статических испытаний.

### 1.4 Монтаж экспериментальных фрагментов трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП

Монтаж ограждающих конструкций в виде трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП осуществлялся Заказчиком по разработанному его специалистами проекту в следующей последовательности.

#### При монтаже горизонтально устанавливаемых МП ТСП:

- к металлическому стенду с правой и левой стороны продольной его плоскости крепились с помощью сварки металлическая обвязочная система (рисунок 1.5), состоящая из обвязочной балки из уголка 40×40×4 (поз. 1), связевого раскоса (поз. 2) и опорных уголков (поз.3), исключаящих изгиб обвязочной балки с закрепленными к ней панелями из их плоскости;
- нижняя панель горизонтально монтируемых МП ТСП устанавливалась на специальные опорные подкладки-пластины (имитация цоколя - рисунок 1.6) и далее на нее последовательно монтировались вышележащие панели;
- далее осуществлялось крепление к краям торцевых участков горизонтальных панелей уголковой обвязочной балки с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt» (рисунок 1.7);
- в качестве дополнительной (декоративной) облицовки использованы фасадные кассеты марки «PUZZLETON Z», которые крепились к металлической обшивке МП ТСП через крепежные профили марки «КПШ», фасадные кассеты и крепежные профили крепились с помощью заклепок. (рисунки 1.8, 1.10);
- торцевые участки горизонтально расположенных панелей через обвязочные балки крепились к элементам металлического стенда (рисунок 1.5). Такой конструктивный подход позволил увеличить расчетную длину панелей до 6 м. Т.е. расчетная модель панели представляла собой однопролетную балку с пролетами 6 м. Непосредственно горизонтально расположенные панели крепились к обвязочным балкам с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt».

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		10

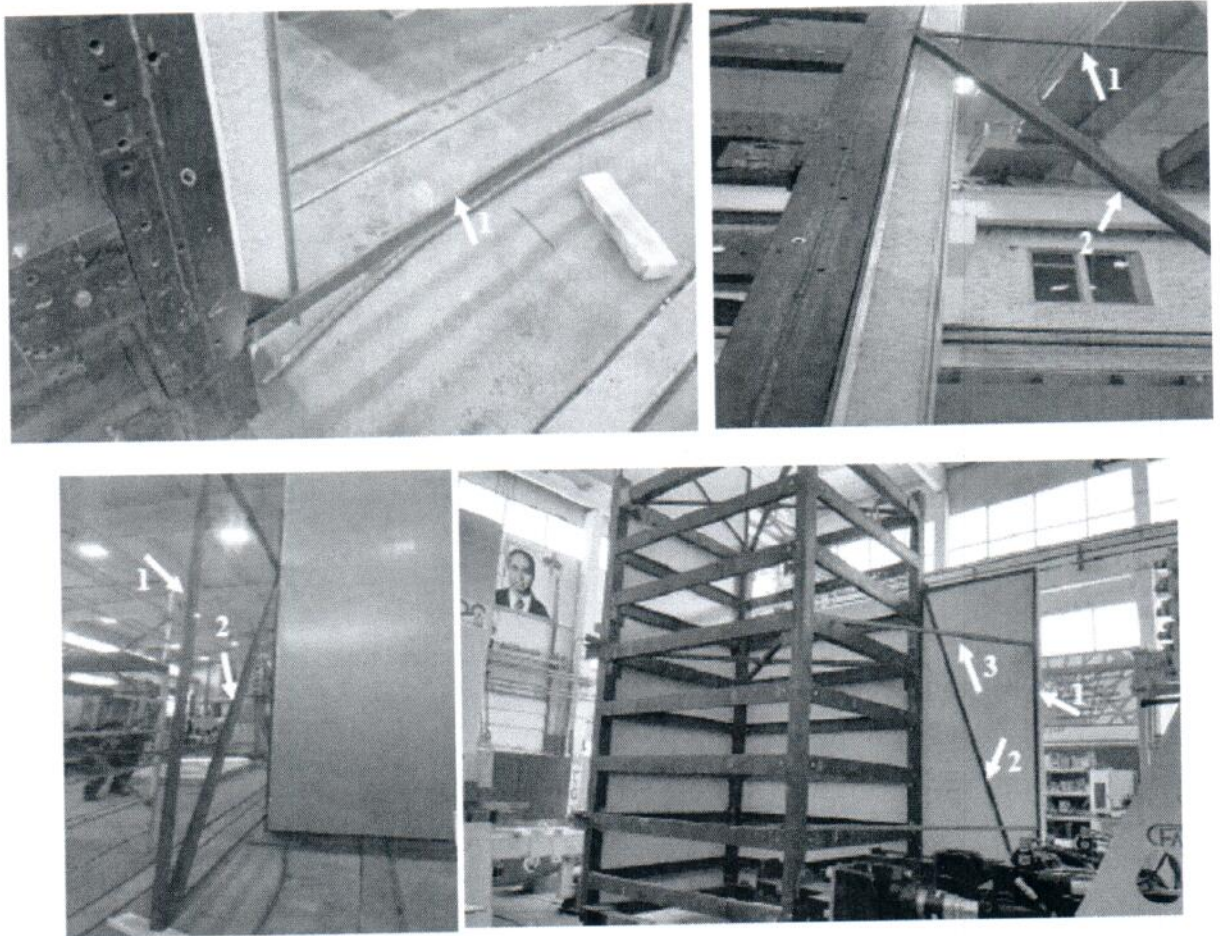


Рисунок 1.5 Опорная металлическая рама для крепления горизонтально расположенных МП ТСП  
1 – обвязочная балка; 2 – связевой элемент; 3 – опорный элемент

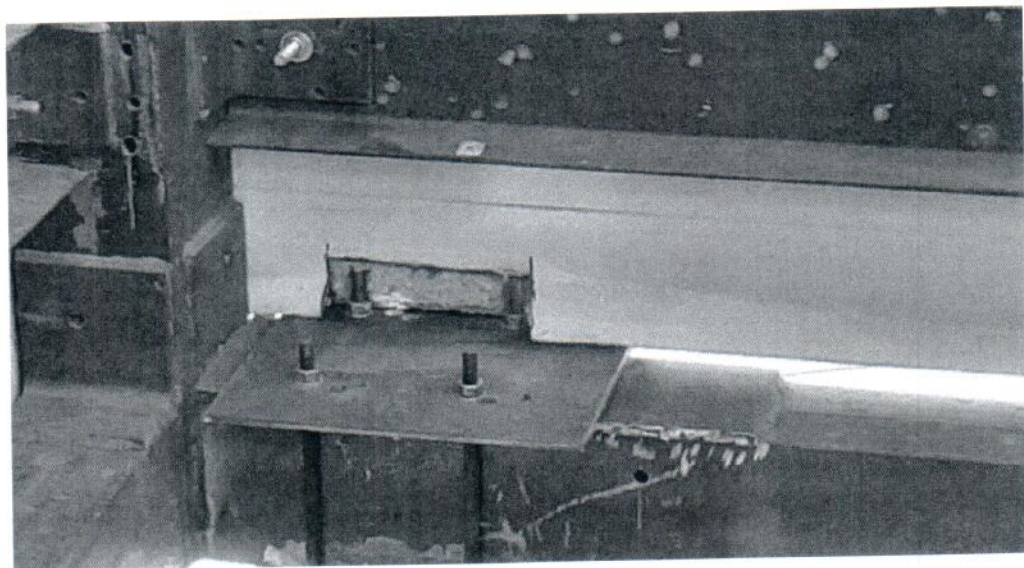


Рисунок 1.6 Узел опирания нижней грани панели на опорную пластину

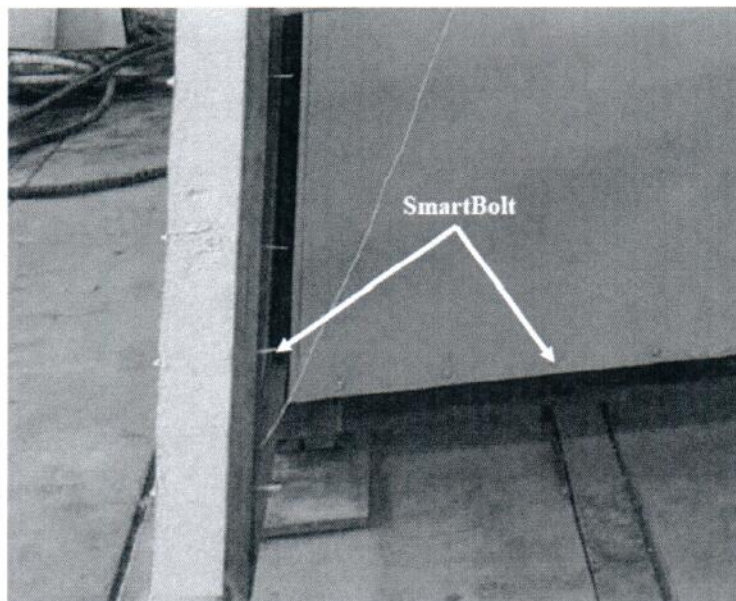


Рисунок 1.7 Участки крепления горизонтально и вертикально расположенных панелей к обвязочной балке с помощью самонарезающих болтов марки «SmartBolt»

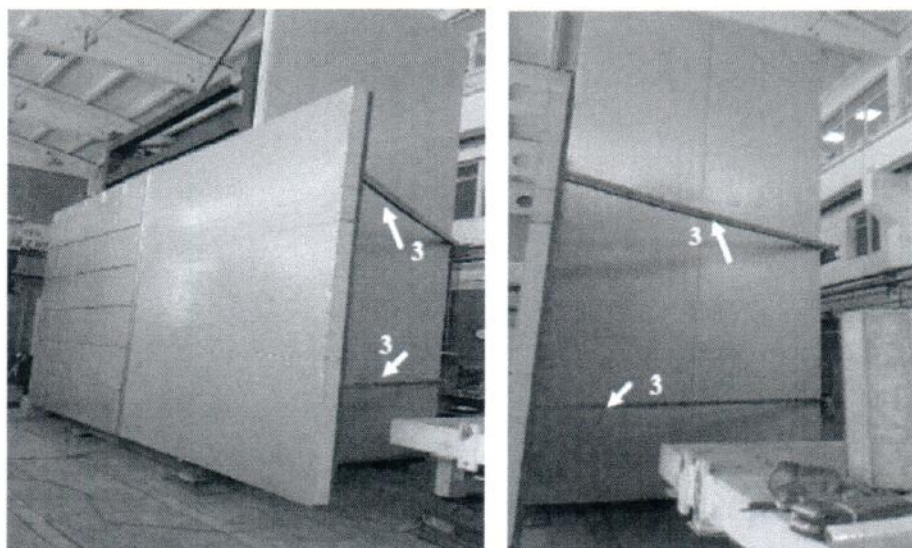


Рисунок 1.8 Общий вид горизонтально смонтированных МП ТСП с указанием расположения связевых балок

#### При монтаже вертикально устанавливаемых МП ТСП:

- расчетная модель панели представляла собой двухпролетную балку с общей длиной трехслойной сэндвич-панели 6 м.
- в качестве несущей конструкции для крепления панелей к испытательному стенду использовалась угольная обвязочная балка, которая крепилась к стенду с помощью опорных связевых элементов (рисунок 1.9 – поз. 3);

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		12

- в уровне верха и низа торцы панелей крепились к горизонтальным балкам стенда с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt», между собой панели соединялись с помощью специальных замковых элементов Z-LOCK (рисунки 1.7, 1.9);
- панели МП ТСП в средней части дополнительно крепились к горизонтальной балке стенда с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt».
- Шаг крепления по ширине панели: 100, 250, 250, 250, 250, 100 мм (в этой же части устанавливались акселерометры №№ 3 и 4 - рисунки 2.1-2.3).



Рисунок 1.9 Крепление трехслойных сэндвич-панелей к горизонтальной балке стенда

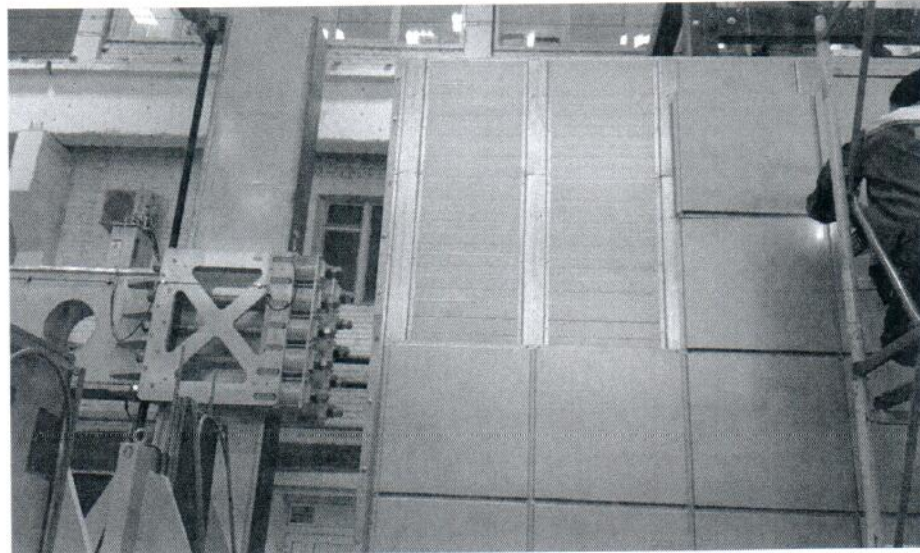


Рисунок 1.10 Момент монтажа облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z к панелям

## 2. Экспериментальные исследования сейсмостойкости ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелями

### 2.1 Объект исследования

Динамические исследования ограждающих конструкций из МП ТСП включали в себя испытания двух подсистем с горизонтальным и вертикальным расположением трехслойных сэндвич-панелей. Схема расстановки на экспериментальном стенде трехслойных сэндвич-панелей и приборов для определения динамических характеристик указанных систем и стенда приведены на рисунках 2.1, 2.2.

В соответствии с внесенными Заказчиком изменениями длина панелей на стенде составляла 6,0 м. Как отмечено в Разделе 1.4, в соответствии с Проектом Заказчика (Приложение 2) был выполнен монтаж связей для крепления торцевых участков как вертикально, так и горизонтально расположенных экспериментальных образцов панелей. Монтаж связей осуществлялся Заказчиком в соответствии с Проектом.

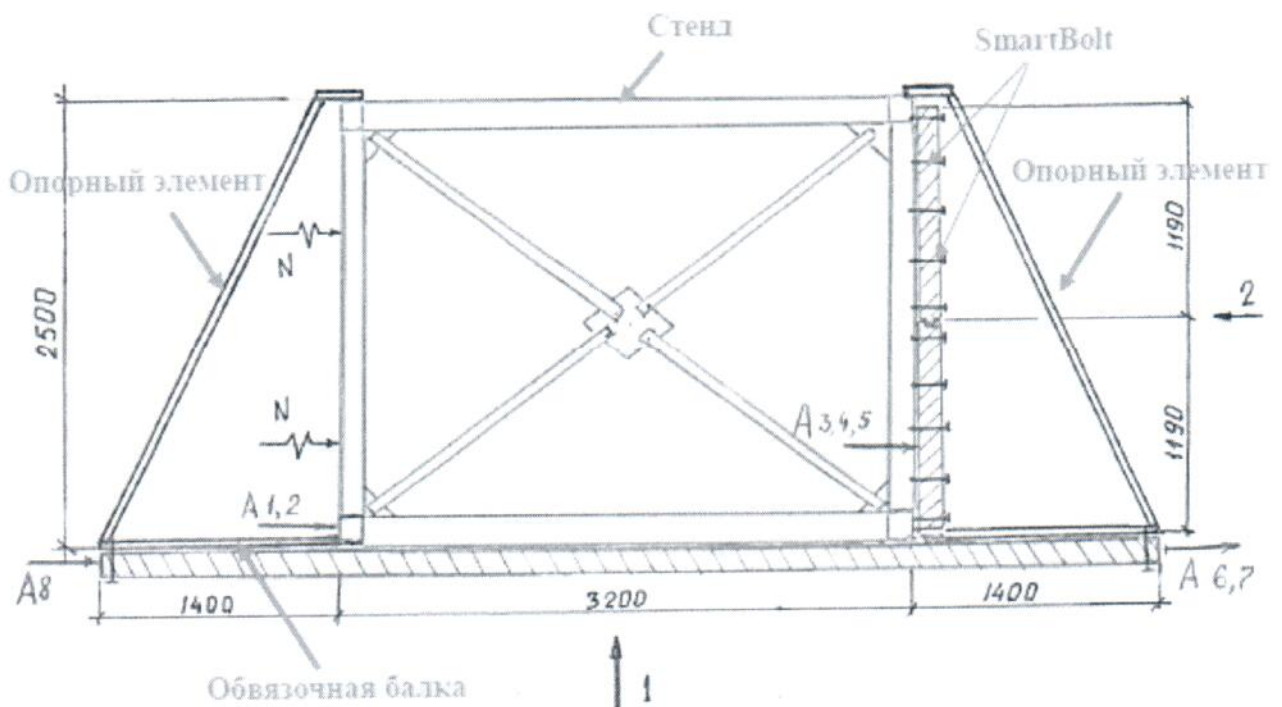


Рисунок 2.1 План-схема стенда с расстановкой на нем трехслойных сэндвич-панелей

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
						14
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

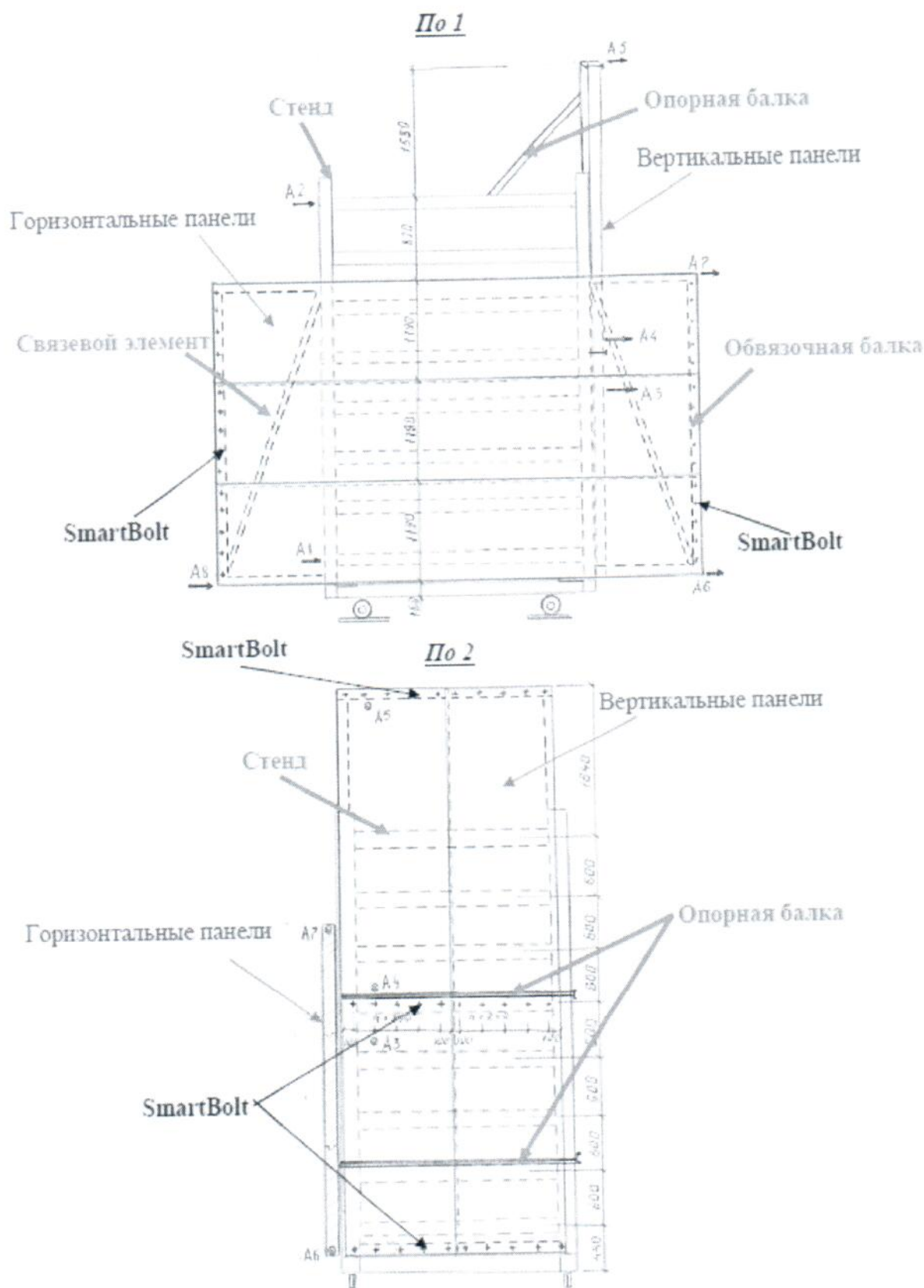


Рисунок 2.2 Общий вид стенда с расположенными на нем панелями МП ТСП

## 2.2 Программа и методика испытаний. Измерительные приборы и оборудование

Для оценки сейсмостойкости ограждающих конструкций с использованием указанных выше видов материалов была разработана методика динамических испытаний, позволяющая определить динамические характеристики воздействий на фасадную систему, а также параметры деформированного состояния элементов системы при динамических воздействиях, эквивалентных сейсмическим. Данная методика, приведенная в работах [34-37], была переработана специалистами НИУ МГСУ с учетом рекомендаций и дополнений, приведенных в нормативных документах [38-40].

### 2.2.1 Силовое оборудование и измерительные приборы

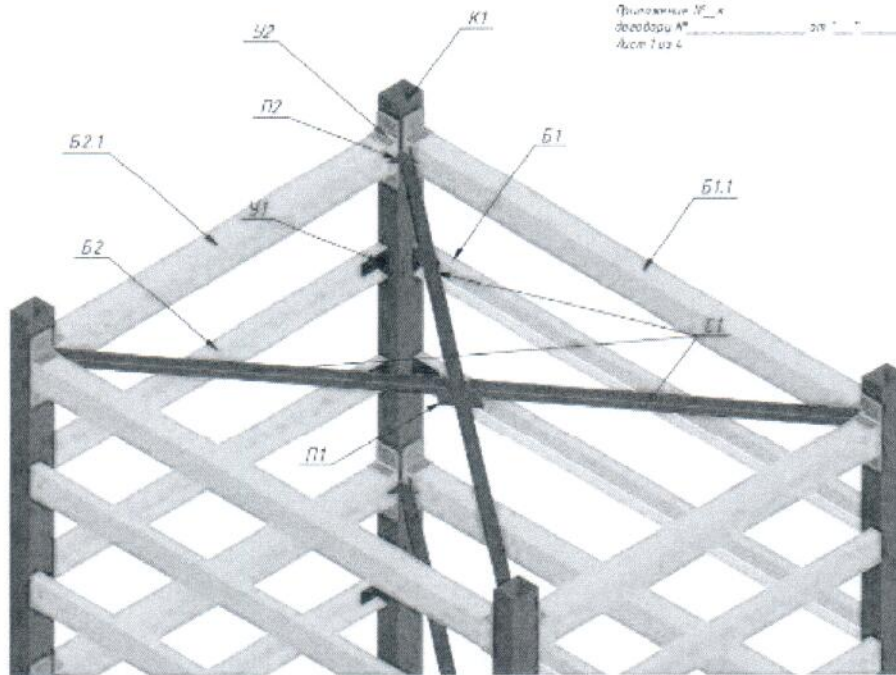
Для проведения динамических испытаний ограждающих конструкций в НИИ ЭМ НИУ МГСУ был запроектирован и изготовлен металлический стенд для, к которому предусматривалось крепление ограждающих конструкций в виде трехслойных сэндвич-панелей с дополнительной облицовкой из фасадных кассет PUZZLETON Z, а также использованы специальное динамическое оборудование и измерительные приборы. В Приложении 3 к настоящему отчету приведен Протокол аттестации силового оборудования, предназначенного для работы виброплатформы.

Испытательный стенд включал в себя следующие элементы:

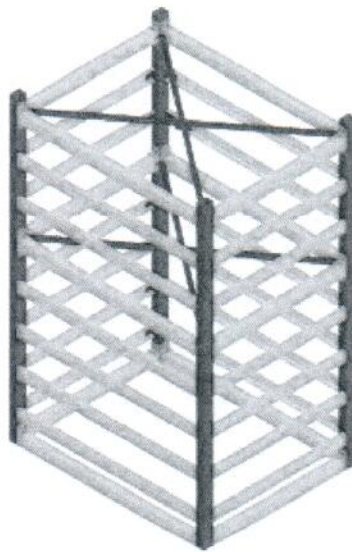
- металлический стенд для крепления ограждающих конструкций в виде трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП (рисунок 2.3);
- динамические гидроцилиндры марки MTS (рисунки 2.4, 2.5), предназначенные для создания динамического воздействия с различным ускорением на каждом этапе нагружения от  $0.2 \text{ м/с}^2$  до  $4 \text{ м/с}^2$  с частотой от 1 до 50 Гц, амплитуда перемещений от  $\pm 50$  до  $\pm 250$  мм; максимальное усилие при динамическом воздействии –  $\pm 800$  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 металлических и железобетонных конструкций, так и моделей зданий (рисунок 2.6, 2.7);

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		16

Приложение №\_к  
документа № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ года  
Лист 1 из 4



Объемная сборка



Спецификация стали С235 по ГОСТ 27772-88

Отгр. марки	Сборк. марка	Кол-во	Сечение	Длина, мм	Масса, кг			Примечание
					1 шт.	объ.	марки	
	K1	4	3 x 114	4020	138.8	558.2	2520.9	
	S2	24	116	2180	31.0	742.6		просверлить отверстия
	B1	24	118	2944	41.8	1033.3		просверлить отверстия
	U1	48	1110x70x8	100	1.2	57.1		просверлить отверстия
	U2	48	1110x70x8	128	1.5	48.7		
	S1	8	150x60x8	1810	12.8	102.7		обрезать под углом (угол 2)
	P1	2	200x200x8		2.4	4.8		
	P2	6	100x100x8		0.3	2.5		
Итого стальной					1.9%	37.8		

Рисунок 2.3 Схема испытательного стенда

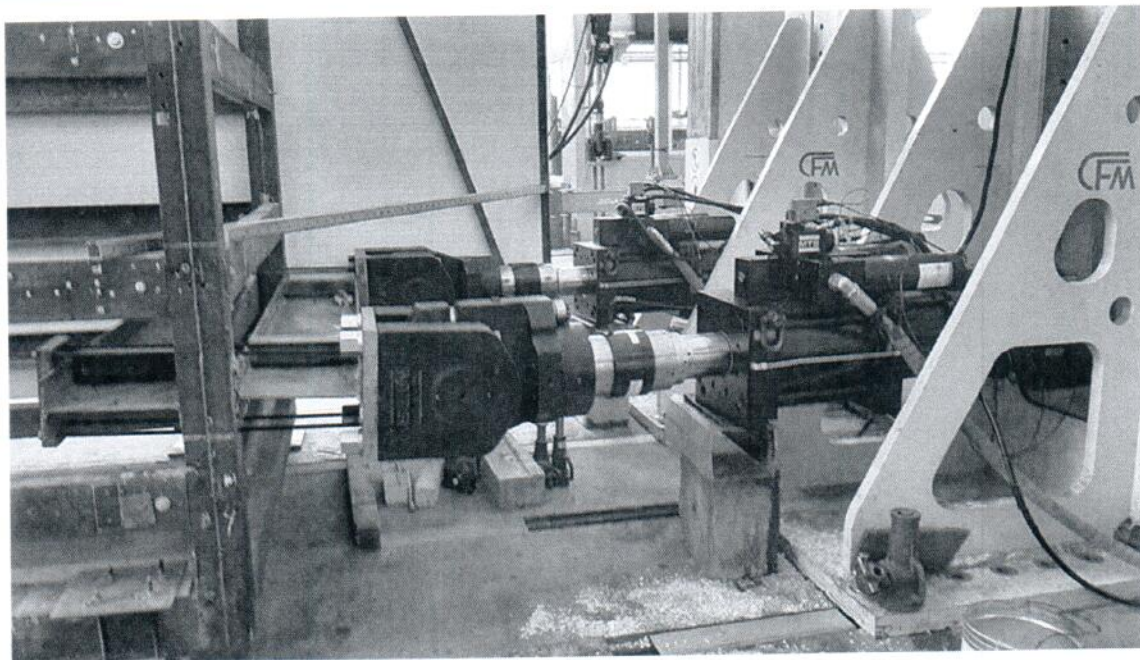


Рисунок 2.4 Общий вид расположения гидродомкратов во время испытаний

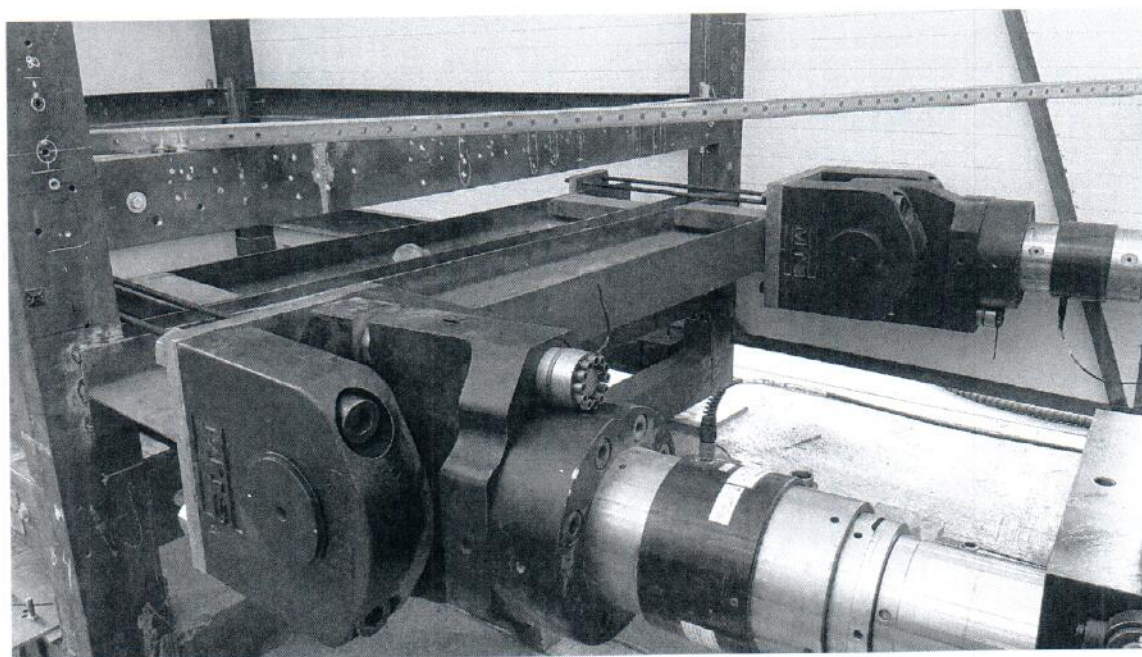


Рисунок 2.5 Участок крепления динамических гидродомкратов к стенду

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		18

- 2 стальных упора (быка), не связанных с силовой рамой и обеспечивающих передачу динамической нагрузки от гидроцилиндров на вибростенд (рисунок 2.4);
- измерительную аппаратуру:
  - акселерометры одно- и трехосные фирмы PCB, позволяющие определить величину ускорений с частотой съема данных до 4000 Гц (рисунок 2.8);

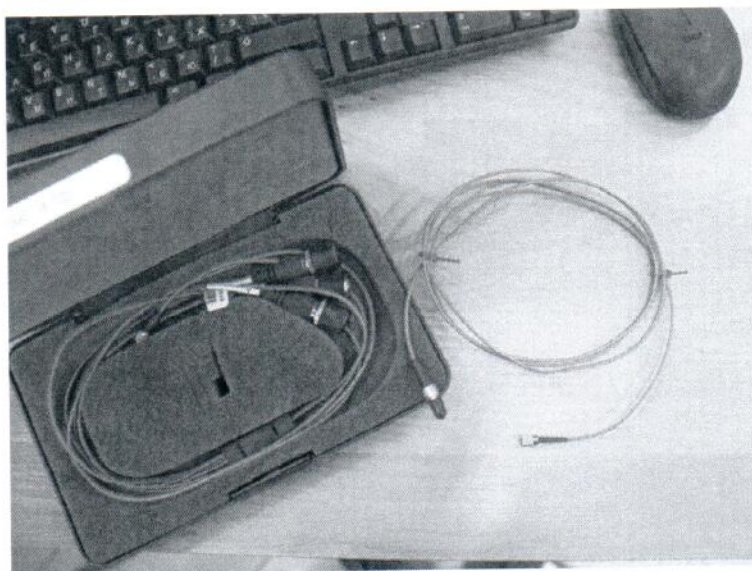


Рисунок 2.8 Акселерометры одно- трехосный фирмы PCB (а)

- 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 2.9;

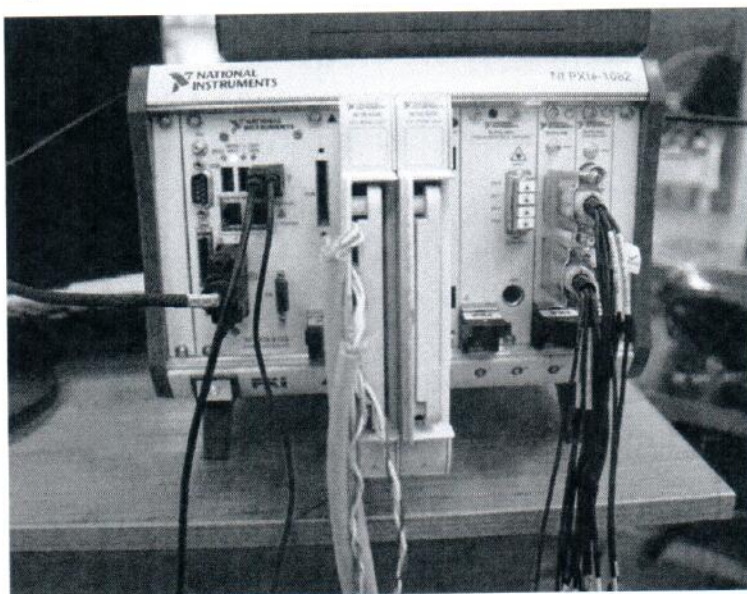


Рисунок 2.9 Комплекс оборудования NI PXIe-1082 с модулями NI PXI-4496 и NI PXIe-4330

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		19

- цифровой контроллер MTS Flex Test 60 Digital Controller (рисунок 2.10), предназначенный для управления динамическими гидроцилиндрами с возможностью контроля и изменения параметров их работы в процессе проведения испытаний.



Рисунок 2.10 Цифровой контроллер MTS FlexTest 60 Digital Controller

Следует обратить внимание на то, что аналогичные стенды для испытаний используются во многих исследовательских центрах Европы и странах СНГ. На рисунках 2.11, 2.12 показаны испытательные виброплатформы с установленными на них стендами, используемые в Научно-исследовательском центре фирмы «Fischer» и в АО «КазНИИСА». В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко используется аналогичная однокомпонентная виброплатформа выпуска 2007 г.

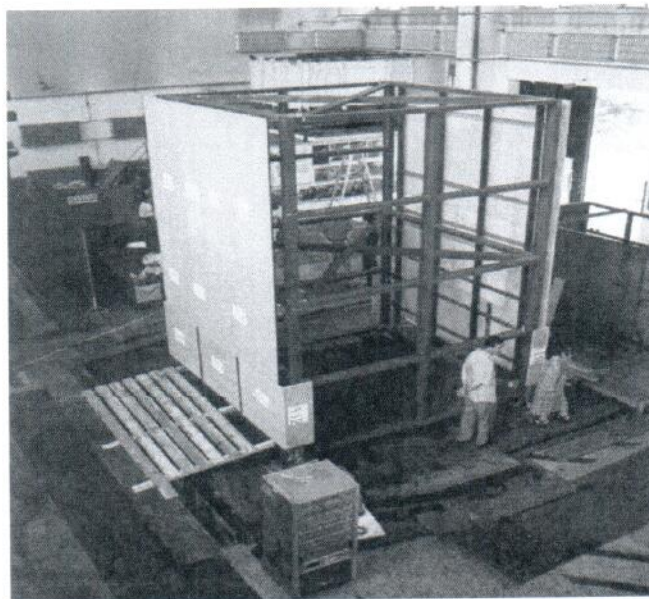


Рисунок 2.11 Общий вид испытательного стенда для динамических исследований конструкций НФС (снимок сделан одним из авторов отчета во время посещения НИЦ фирмы «Fischer»)

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		20

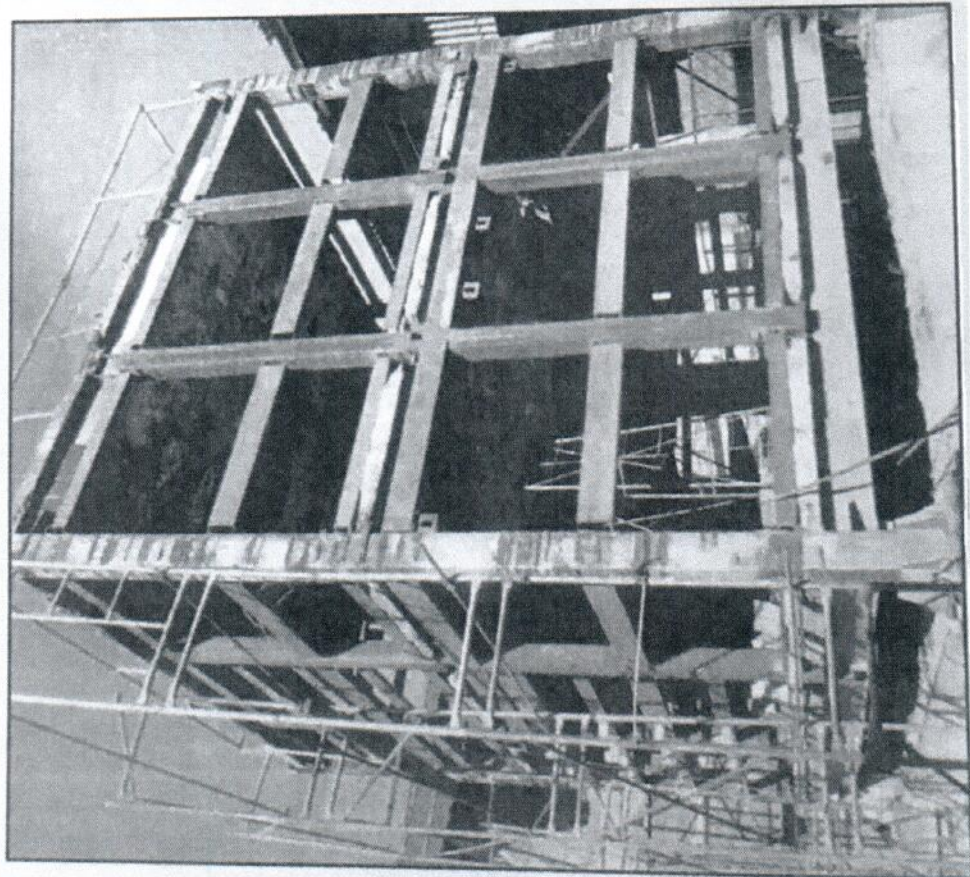
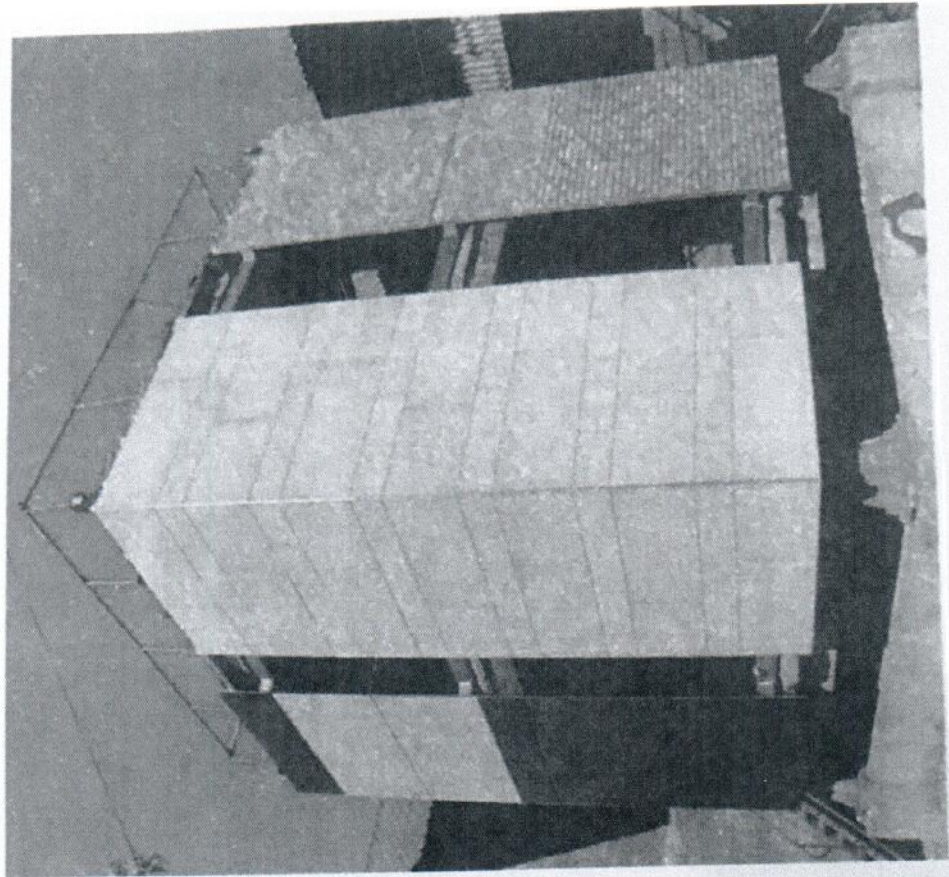


Рисунок 2.12 Виброплатформа в АО «КазНИИСА»

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		21

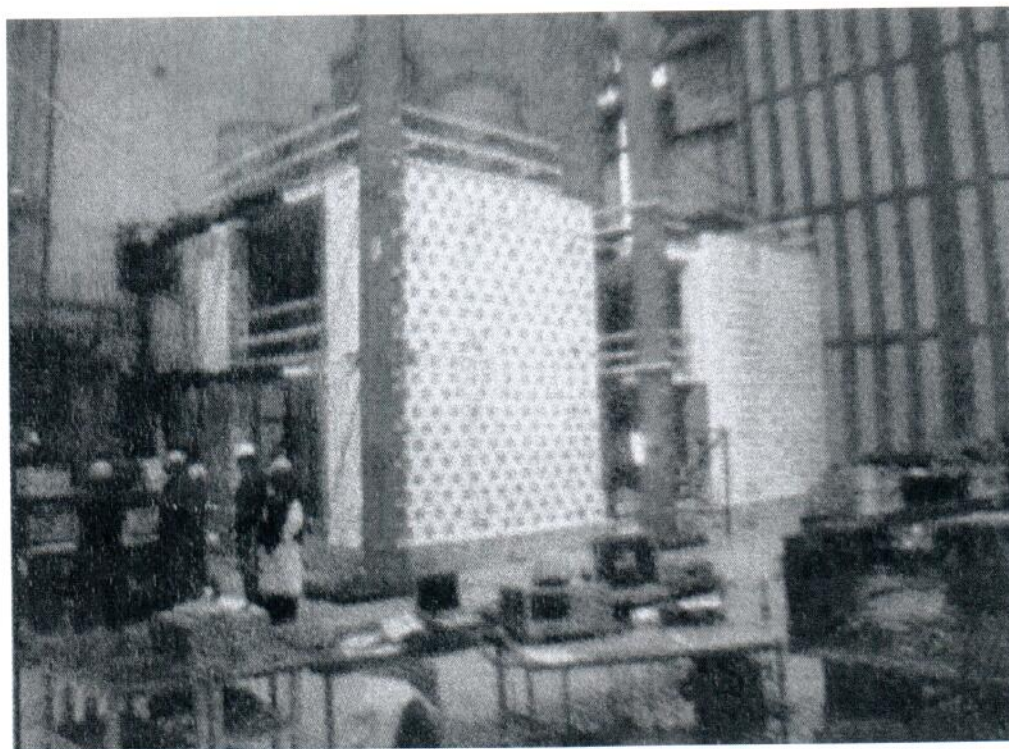
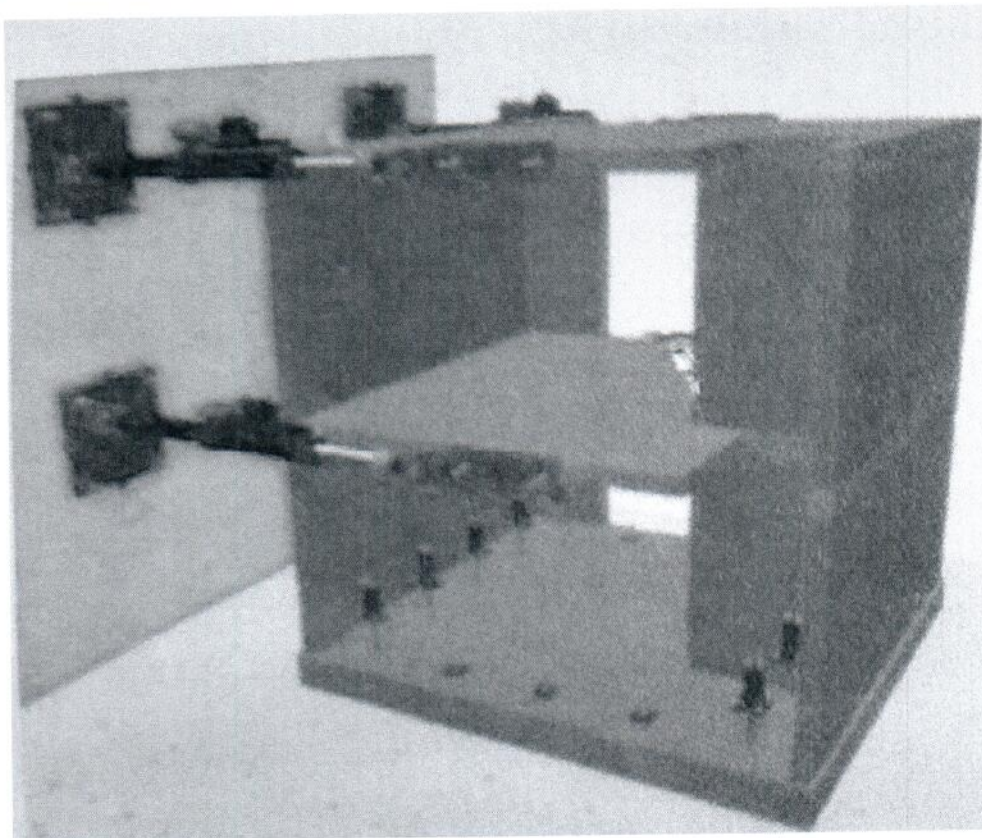


Рисунок 2.6 Применение гидравлических гидроцилиндров при проведении испытаний в европейских исследовательских центрах

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
						22
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

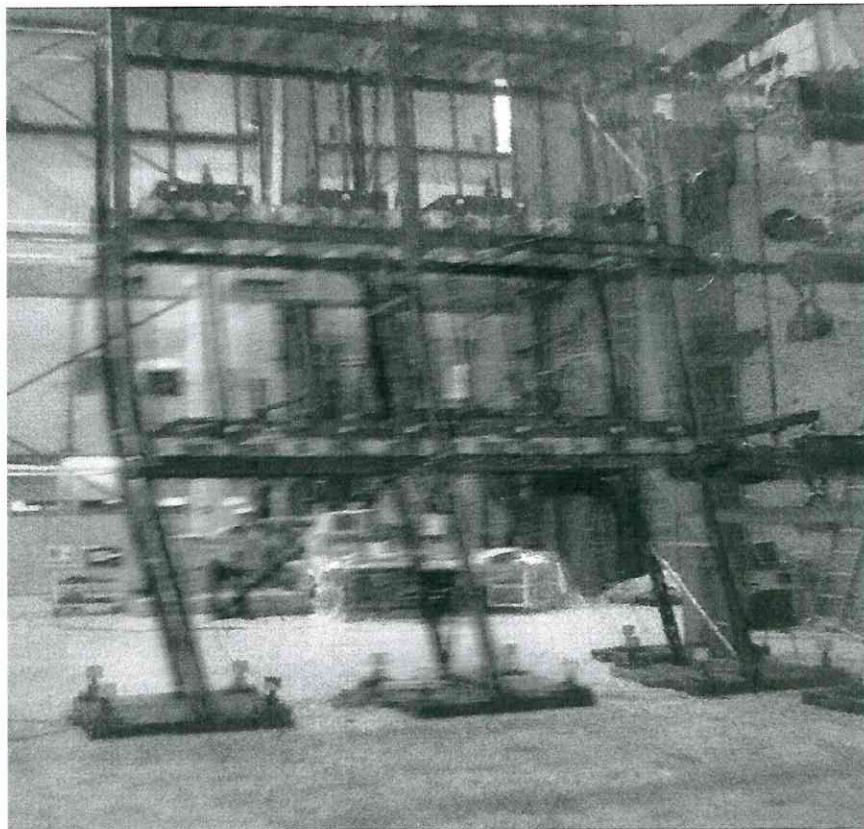
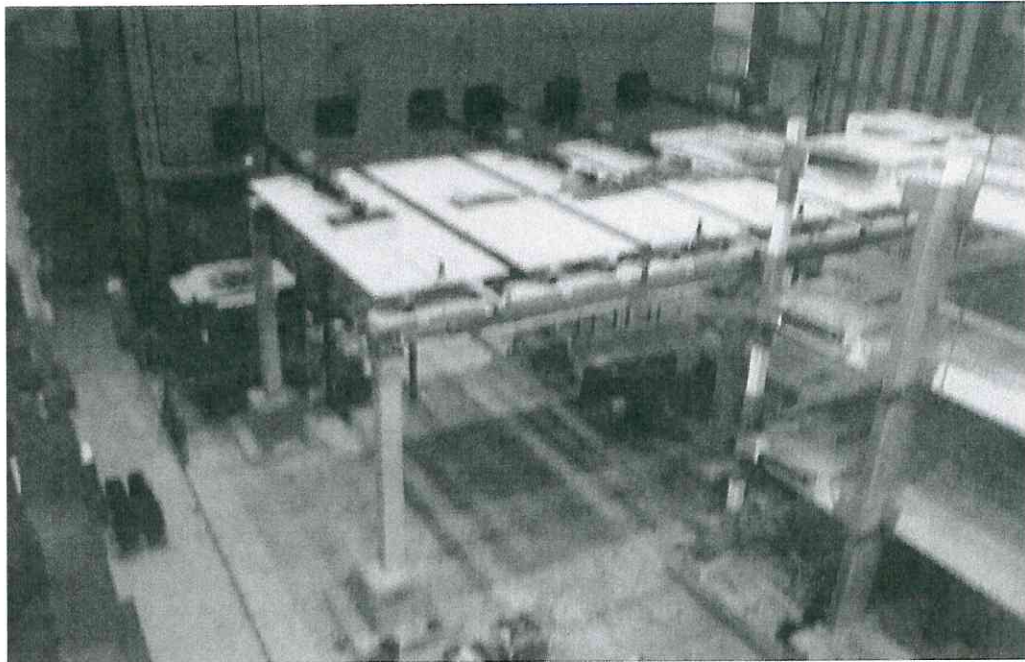


Рисунок 2.7 Применение гидравлических гидроцилиндров при проведении испытаний в европейских исследовательских центрах

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		23

## 2.2.2. Программа и методика динамических испытаний

Эквивалентное сейсмическое воздействие моделировалось горизонтальными синусоидальными колебаниями платформы с установленным фрагментом ограждающей конструкции из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП, которые возбуждались перемещением с заданной частотой и амплитудой штоков гидроцилиндров, жестко закрепленных к конструкции стенда. Гидроцилиндры жестко крепились к конструкции виброплатформы (рисунок 2.4). Управление гидроцилиндрами осуществлялось при помощи цифрового контроллера MTS Flex Test с возможностью контроля и изменения параметров воздействий гидроцилиндров на стенд в процессе проведения испытаний.

В соответствии с ГОСТ 30546.1-98 [38] значение интенсивности землетрясений по шкале MSK-64 в зависимости от уровня расположения конструкций над нулевой отметкой (в метрах) согласно таблице 1 [38] принимают равным  $2,5 \text{ м/с}^2 \times K$ , где  $K$  – коэффициент, учитывающий уровень установки конструкций над нулевой отметкой. С учетом отмеченного величины ускорений при заданной балльности воздействия и с учетом значения коэффициента  $K$  значения ускорений при испытании принимались равными:

- **при 7 баллах**
  - для уровня расположения конструкций от 0 до 10 м –  $2,5 \times 0,25 = 0,625 \text{ м/с}^2$ ;
  - для уровня расположения конструкций от 10 до 35 м –  $2,5 \times 0,5 = 1,25 \text{ м/с}^2$ ;
  - для уровня расположения конструкций от 35 м до 70 м –  $2,5 \times 0,6 = 1,5 \text{ м/с}^2$ ;
- **при 8 баллах**
  - для уровня расположения конструкций от 0 до 10 м –  $2,5 \times 0,5 = 1,25 \text{ м/с}^2$ ;
  - для уровня расположения конструкций от 10 до 35 м –  $2,5 \times 1 = 2,5 \text{ м/с}^2$ ;
  - для уровня расположения конструкций от 35 м до 70 м –  $2,5 \times 1,25 = 3,12 \text{ м/с}^2$ ;
- **при 9 баллах**
  - (9-1) для уровня расположения конструкций от 0 до 10 м –  $2,5 \times 1 = 2,5 \text{ м/с}^2$ ;
  - (9-2) для уровня расположения конструкций от 10 до 35 м –  $2,5 \times 2 = 5,0 \text{ м/с}^2$ ;
  - (9-3) для уровня расположения конструкций от 35 м до 70 м –  $2,5 \times 2,5 = 6,25 \text{ м/с}^2$ .

Указанные величины ускорений были реализованы при проведении экспериментальных исследований.

На каждом этапе испытаний частотный спектр воздействий изменялся в интервале от 0,5 до 22,63 Гц. Длительность испытания на каждом шаге нагружения составляла до 40-50 с. Испытания выполняли при фиксированных частотах по ГОСТ 30630.1.2-99 (103-2) [40], соответствующих

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		24



среднегеометрическим частотам 1/6-октавных полос, в диапазоне до 22,63 Гц, с выдержкой на каждой частоте и непрерывной регистрации параметров отклика Объекта исследований.

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 [39] и ГОСТ 30630.1.2-99 [40]. Испытания проводились в режиме увеличения частоты внешнего воздействия ступенями, указанными в таблицах при описании воздействий на стенд от гидроцилиндров, при этом на каждой частоте обрабатывалось не менее, чем по 200 циклов колебаний.

На элементах стенда и фасадных систем (рисунки 2.1, 2.2) устанавливались акселерометры для определения ускорений в ортогональных направлениях.

Крепление акселерометров к элементам конструкции фасадных систем осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 5348-2002 [41] 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.

### 2.3. Результаты динамических испытаний ограждающих конструкций и их анализ

Было проведено 5 серий (этапов) испытаний ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей с учетом изменения частотного спектра, в т.ч. в зоне резонанса. На каждой заданной частоте воздействия в указанных на рисунках 2.1-2.2 точках стенда определялись величины виброперемещений и ускорений стенда и элементов всей конструкции. Результаты измерений указанных величин при входных ускорениях, соответствующих 7-9 баллам, приведены ниже.

Следует обратить внимание, что отдельные результаты, приведенные в таблицах ускорений и перемещений, зафиксированы как пиковые (в отдельных случаях эти результаты превышают средние табличные значения не более, чем в 2-3 раза). На НДС (напряженно-деформированное состояние) конструкции, скорее всего, будут оказывать влияния те компоненты динамического воздействия, длительность которых равна или кратна периоду собственных колебаний подвешенных на стенде элементов ограждающей конструкции. 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.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		25

### 2.3.1 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 7 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 22,63 Гц

В таблицах 2.1-2.4 приведены, соответственно, результаты замеров величин усилий на виброплатформу и стенд от динамических гидродомкратов, перемещений рабочих органов гидродомкратов, жестко связанных с контуром виброплатформы, и величин перемещений, ускорений и перекосов стенда и трехслойных сэндвич-панелей. На рисунках 2.13 – 2.19 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброускорений и виброперемещений для различных программ нагружения (изменения частотного спектра в интервале от 0,5 до 22,63 Гц) в точках установки акселерометров на стенде и панелях. В Приложении 5 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений коэффициентов динамичности (таблицы П.5.1) в точках стенда и элементах панелей при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 7 баллов. Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 2.1, 2.2.

Анализ результатов динамических испытаний ограждающих конструкций при воздействиях, соответствующих 7 баллам по шкале MSK-64, позволяет отметить следующее:

- при заданном входном динамическом воздействии, моделирующем 7 балльное сейсмическое воздействие, максимальное ускорение (таблица 2.3) по данным акселерометров, установленных на стенде, составляло: в т. 1 (низ стенда) –  $0,99 \text{ м/с}^2$  (5,66 Гц) и в т.2 (верх стенда) –  $4,69 \text{ м/с}^2$  (5,66 Гц). При этом величины ускорений по результатам акселерометров, установленных на горизонтально ориентированных трехслойных сэндвич-панелях, составляли при той же частоте: в т. 6 (низ панелей) –  $2,19 \text{ м/с}^2$  и в т. 7 (верх панелей) –  $3,80 \text{ м/с}^2$ . Для вертикально расположенных панелей ускорение в верхней точке (т. 5) составило  $9,42 \text{ м/с}^2$ . Уровни величин максимальных перемещений из плоскости панелей, как следует из таблицы 2.2, составили 5,04 мм (т.5) и в плоскости панелей – 4,3 мм (т.7);

- максимальные коэффициенты динамичности, определяемые соотношением величин ускорений в точках, указанных в таблице П.5.1, и в графических данных огибающих кривых коэффициента динамичности составили:

- для вертикальных панелей:
  - относительно стенда (т.5/т.1) – 22,43 при частоте 12,7 Гц;
  - относительно низа панели (т.5/т.3) – 8,53 при частоте 12,7 Гц;
- для горизонтальных панелей:

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
						26
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		



- относительно стенда (т.7/т.1) – 4,6 при частоте 7,13 Гц;
- относительно низа панели (т.6/т.1) – 2,20 при частоте 5,66 Гц;
- эффект резонанса был установлен при частоте воздействия в интервале 2,0 – 3,17 Гц.
- по результатам измерений, приведенных в таблице 2.1 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 6,14 мм (при частоте 0,89 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 3,84 кН (при частоте 1,0 Гц). Распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда площадью 10,08 м<sup>2</sup> составила 0,38 кН/м<sup>2</sup> (38 кгс/м<sup>2</sup>);
- измерения величин перекосов стенда (таблица 2.4) в вертикальной плоскости показали, что при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное смещение верха стенда относительно его низа составило 3,15 мм (при частоте 5,66 Гц), максимальное смещение верха панелей относительно ее низа составило 2,50 мм (при частоте 5,66 Гц). Таким образом, для стенда  $f/L = 3,15/4200 = 1/1330$ , (т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости не превышает нормируемое значение по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное 1/350 (для одного этажа). При указанном значении перекоса панели повреждений элементов фасадных систем не установлено;
- при заданной величине воздействия, соответствующей 7 баллам по шкале MSK-64, повреждений в элементах всех испытанных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z не установлено. Сейсмостойкость конструкций, смонтированных на стенде для условий нагружения, принятых в эксперименте, обеспечена.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
						27
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 0,5 до 22.63 Гц.

Таблица 2.1

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
0,50	3,81	1,57	3,90	1,81
0,71	6,03	1,46	6,09	2,34
0,79	6,15	1,51	6,13	2,25
0,89	6,09	1,62	6,14	2,10
1,00	5,94	1,89	5,94	1,95
1,12	5,68	2,01	5,69	1,79
1,26	5,36	1,92	5,40	1,59
1,41	5,05	1,93	5,11	1,50
1,59	4,70	2,17	4,77	1,33
1,78	4,34	2,09	4,42	1,22
2,00	4,00	2,26	4,08	1,17
2,24	3,18	2,29	3,25	1,14
2,52	2,54	2,32	2,61	0,99
2,83	2,02	1,98	2,08	1,04
3,17	1,62	1,85	1,68	1,10
3,56	1,29	2,09	1,36	1,16
4,00	1,02	2,38	1,09	1,22
4,49	0,82	2,53	0,89	1,38
5,04	0,65	3,42	0,73	1,78
5,66	0,53	7,05	0,61	4,88
6,35	0,44	5,67	0,51	4,74
7,13	0,36	3,28	0,47	3,26
8,00	0,30	1,29	0,37	3,05
8,98	0,25	3,44	0,24	2,61
10,08	0,19	3,91	0,17	1,87
11,31	0,12	2,20	0,10	1,04
12,70	0,07	2,37	0,05	0,40
14,25	0,04	1,24	0,03	0,49
16,00	0,02	0,38	0,01	0,23
17,96	0,01	0,16	0,01	0,14
20,16	0,01	0,13	0,01	0,11
22,63	0,01	0,11	0,01	0,11

Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(Перемещения – мм)

Таблица 2.2

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,10	0,12	0,10	0,19	0,44	0,06	0,11	0,09
0,71	0,06	0,19	0,14	0,26	0,56	0,05	0,16	0,06
0,79	0,08	0,19	0,11	0,19	0,50	0,05	0,14	0,07
0,89	0,06	0,15	0,11	0,19	0,47	0,08	0,12	0,08
1,00	0,14	0,26	0,18	0,27	0,82	0,14	0,22	0,13
1,12	0,36	0,43	0,39	0,42	0,61	0,33	0,41	0,32
1,26	0,86	1,00	0,90	0,97	1,27	0,81	0,98	0,78
1,41	1,66	1,82	1,72	1,76	2,10	1,54	1,78	1,55
1,59	2,77	3,04	2,82	2,95	3,46	2,61	2,97	2,52
1,78	3,59	4,03	3,75	3,93	4,73	3,35	3,95	3,32
2,00	3,86	4,44	4,08	4,33	5,04	3,58	4,30	3,44
2,24	3,05	3,57	3,24	3,50	4,21	2,79	3,44	2,69
2,52	2,27	2,62	2,41	2,58	3,15	2,04	2,55	2,01
2,83	1,89	2,28	2,06	2,23	2,66	1,60	2,21	1,71
3,17	1,63	2,10	1,81	2,04	2,65	1,48	2,01	1,49
3,56	1,23	1,75	1,45	1,70	2,41	1,37	1,66	1,14
4,00	0,97	1,53	1,19	1,52	2,38	1,05	1,42	0,80
4,49	0,89	1,65	1,21	1,58	2,28	0,92	1,51	0,67
5,04	0,70	1,65	1,08	1,58	2,65	0,70	1,48	0,44
5,66	0,63	3,60	1,70	3,37	7,15	0,69	3,15	0,46
6,35	0,32	2,72	1,08	2,61	6,33	0,23	2,36	0,45
7,13	0,24	1,69	0,55	1,66	4,68	0,25	1,39	0,39
8,00	0,25	0,63	0,13	0,83	3,15	0,31	0,42	0,34
8,98	0,29	0,22	0,21	0,08	0,80	0,35	0,25	0,32
10,08	0,19	0,27	0,16	0,14	0,69	0,21	0,26	0,19
11,31	0,11	0,14	0,12	0,14	1,20	0,10	0,12	0,11
12,70	0,07	0,23	0,16	0,02	1,71	0,07	0,19	0,07
14,25	0,02	0,11	0,05	0,02	0,45	0,02	0,09	0,03
16,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,08	0,01	0,02	0,02
17,96	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
20,16	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01

Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(Ускорения – м/с<sup>2</sup>)

Таблица 2.3

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,12	0,26	0,22	0,34	1,03	0,12	0,21	0,12
0,71	0,18	0,43	0,31	0,56	1,85	0,18	0,35	0,18
0,79	0,22	0,41	0,34	0,48	1,79	0,22	0,35	0,22
0,89	0,23	0,42	0,40	0,49	1,63	0,25	0,37	0,25
1,00	0,29	0,58	0,46	0,74	2,56	0,35	0,53	0,33
1,12	0,38	0,51	0,60	0,59	1,74	0,37	0,46	0,39
1,26	0,42	0,67	0,60	0,59	1,85	0,46	0,58	0,46
1,41	0,48	0,65	0,69	0,66	2,57	0,49	0,57	0,49
1,59	0,56	0,77	0,83	0,65	1,83	0,58	0,64	0,58
1,78	0,61	0,81	0,89	0,75	2,92	0,65	0,74	0,68
2,00	0,71	0,88	1,06	0,94	1,53	0,75	0,80	0,74
2,24	0,74	0,97	1,03	1,03	1,58	0,75	0,85	0,75
2,52	0,74	0,91	1,08	0,93	2,12	0,77	0,82	0,77
2,83	0,72	0,84	0,96	0,89	1,95	0,73	0,76	0,75
3,17	0,74	0,95	1,34	0,95	2,32	0,68	0,89	0,80
3,56	0,77	1,11	1,08	1,01	2,11	0,88	1,01	0,86
4,00	0,82	1,25	1,14	1,33	2,96	0,90	0,98	0,80
4,49	0,79	1,60	1,52	1,34	3,72	0,87	1,40	0,74
5,04	0,88	2,01	1,47	1,86	3,14	0,93	1,72	0,76
5,66	0,99	4,69	3,04	4,82	9,42	2,19	3,80	0,94
6,35	0,83	4,59	2,67	4,72	12,26	0,92	3,87	1,41
7,13	0,65	3,60	1,66	3,34	10,45	0,86	2,99	0,93
8,00	0,83	1,72	1,70	2,16	8,38	1,16	1,23	1,09
8,98	0,94	0,72	0,94	0,46	2,68	1,32	0,89	1,10
10,08	0,96	1,21	1,48	1,10	3,04	1,46	1,09	1,19
11,31	0,61	0,90	1,21	0,84	6,98	0,80	0,73	0,78
12,70	0,50	1,92	1,33	0,36	11,32	0,85	1,33	0,70
14,25	0,32	0,94	0,60	0,34	4,10	0,30	0,79	0,36
16,00	0,14	0,30	0,25	0,21	1,02	0,16	0,21	0,20
17,96	0,05	0,11	0,03	0,04	0,15	0,05	0,07	0,07
20,16	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,02	0,05

**Величины перекоса (мм) верха стенда относительно его низа (мм)**

Таблица 2.4

Частота, Гц	т.2-т.1	т.7-т.6	т.8-т.6
0,50	0,10	0,10	0,08
0,71	0,15	0,13	0,07
0,79	0,16	0,12	0,09
0,89	0,13	0,11	0,10
1,00	0,14	0,12	0,22
1,12	0,09	0,11	0,65
1,26	0,12	0,17	1,54
1,41	0,19	0,23	3,10
1,59	0,27	0,36	5,11
1,78	0,44	0,58	6,61
2,00	0,55	0,69	7,00
2,24	0,54	0,63	5,42
2,52	0,42	0,55	4,00
2,83	0,40	0,59	3,24
3,17	0,50	0,72	2,90
3,56	0,53	0,34	2,45
4,00	0,57	0,40	1,81
4,49	0,74	0,59	1,57
5,04	0,95	0,75	1,12
5,66	3,15	2,50	0,91
6,35	2,67	2,25	0,63
7,13	1,81	1,58	0,63
8,00	0,89	0,73	0,62
8,98	0,10	0,13	0,66
10,08	0,30	0,20	0,39
11,31	0,21	0,15	0,24
12,70	0,22	0,17	0,15
14,25	0,13	0,09	0,06
16,00	0,08	0,09	0,08
17,96	0,07	0,08	0,07
20,16	0,06	0,04	0,07
22,63	0,10	0,10	0,08

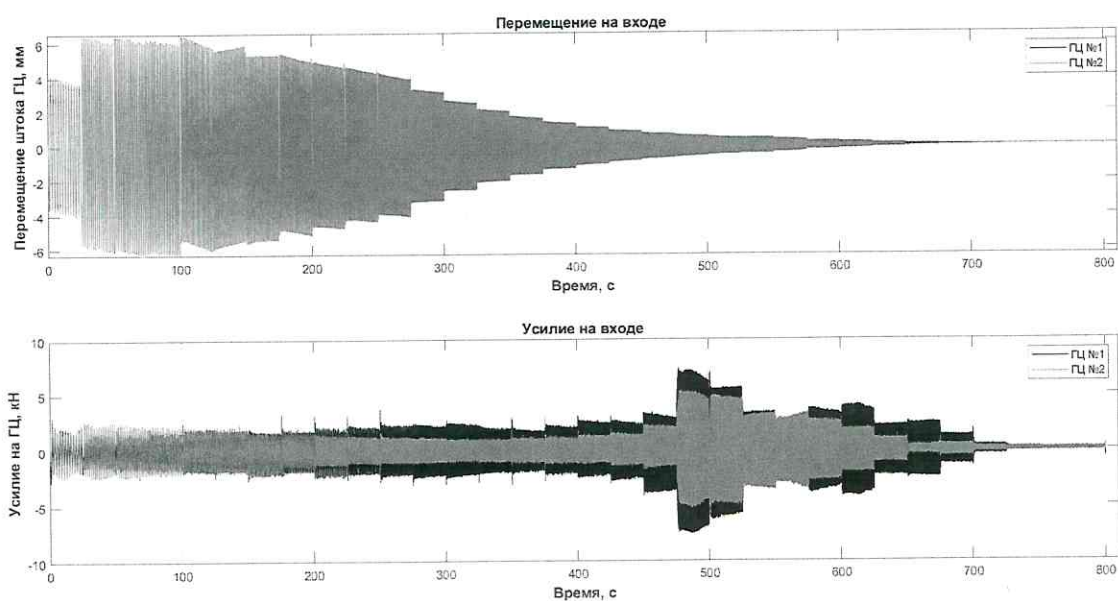


Рисунок 2.13 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов с виброплатформой при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

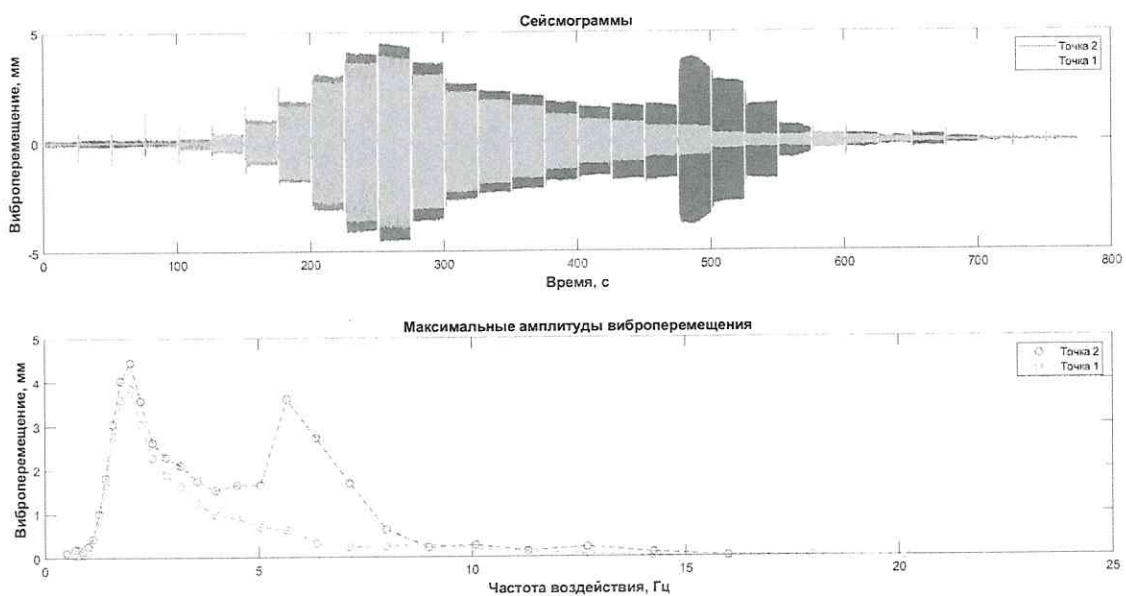


Рисунок 2.14 График сейсмограмм виброперемещений в т.1 и т.2 при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

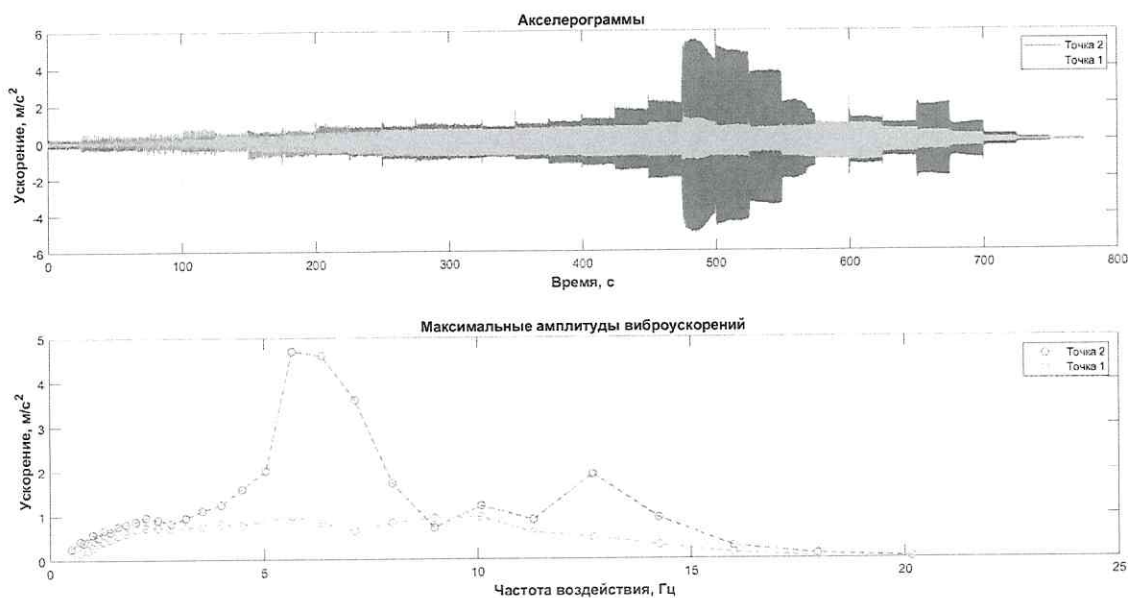


Рисунок 2.15 График акселерограмм виброускорений в т. 2 и т.1 (рисунок 2.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

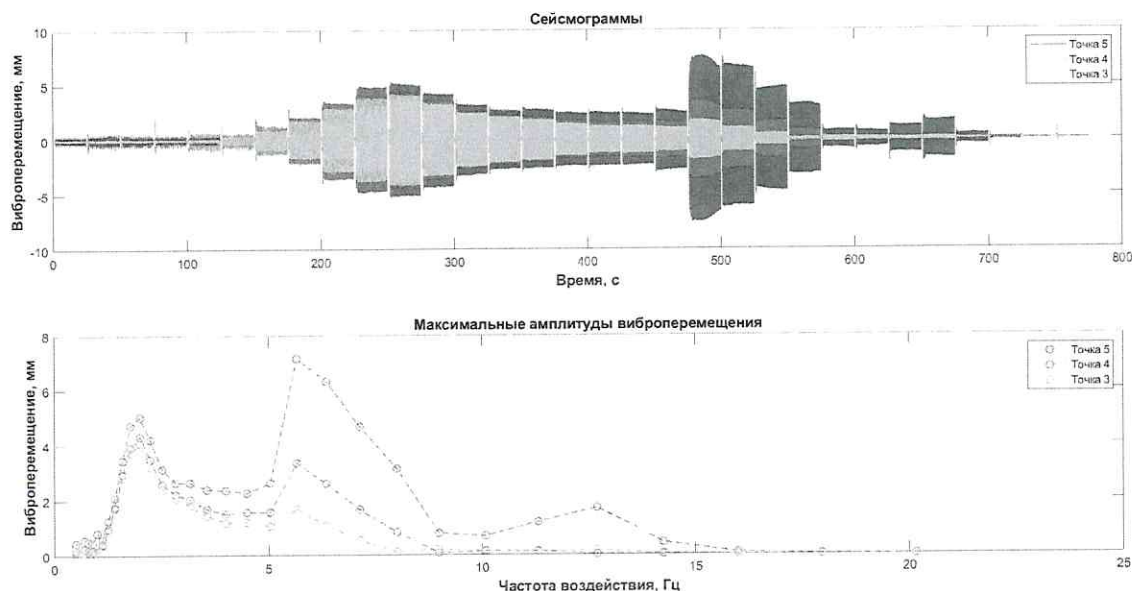


Рисунок 2.16 График сейсмограммы виброперемещений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 2.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц

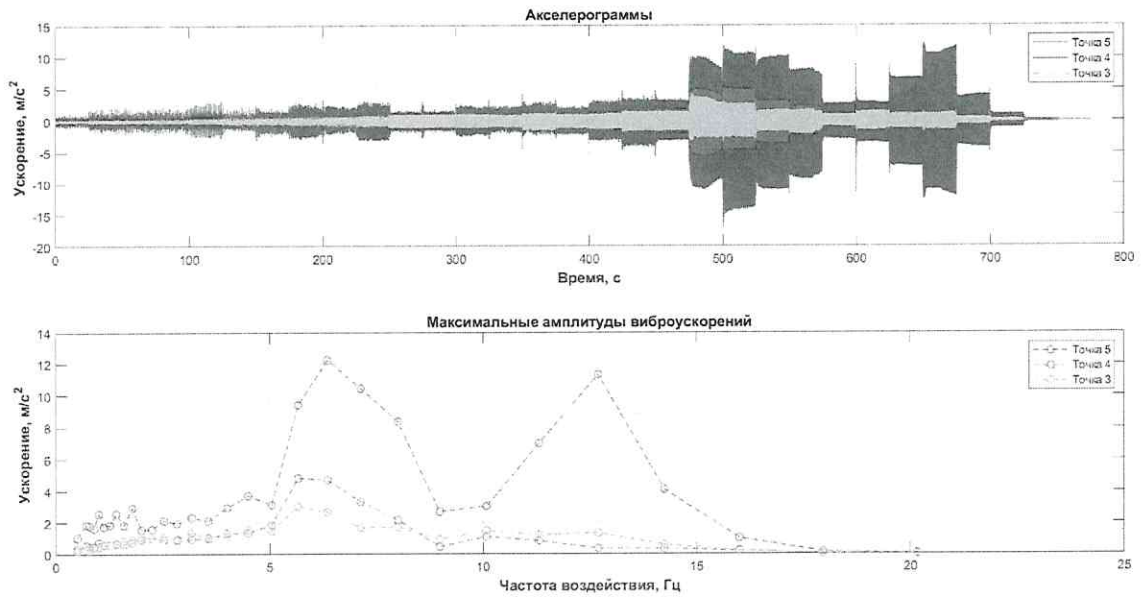


Рисунок 2.17 График сейсмограммы виброускорений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

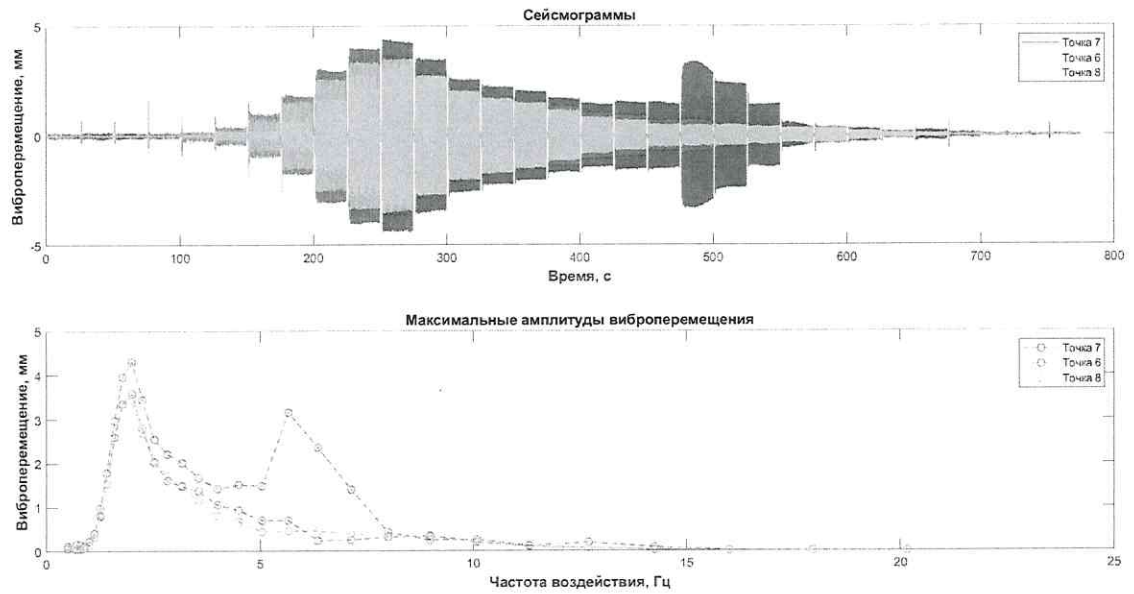


Рисунок 2.18 График сейсмограммы виброперемещений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

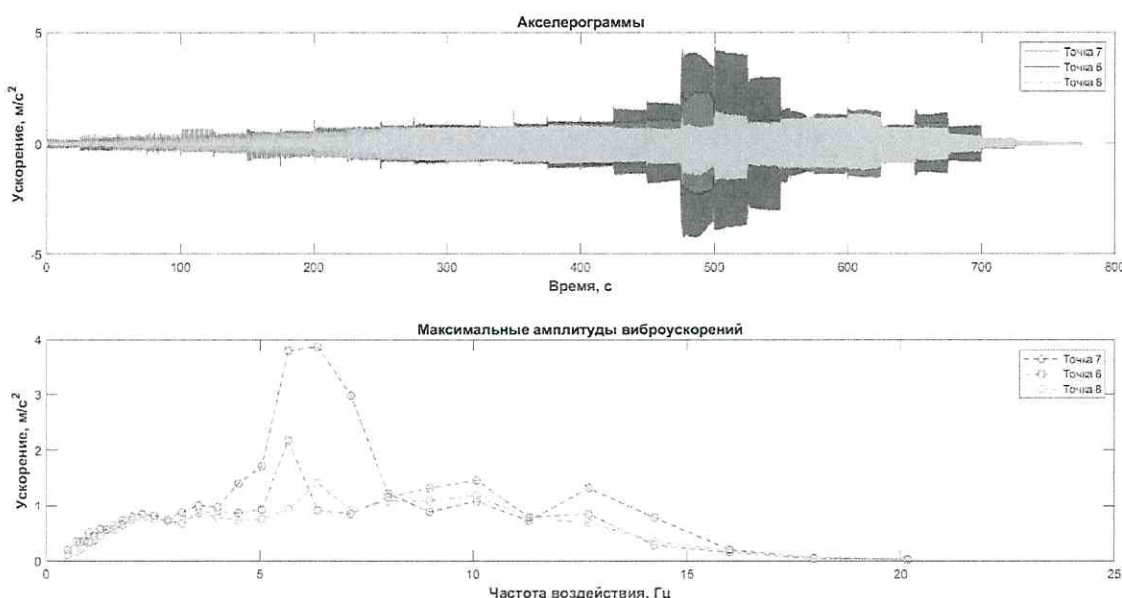


Рисунок 2.19 График сейсмограммы виброускорений в точках 7, 6 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 2.3.2 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 22,63 Гц

В таблицах 2.5-2.8 приведены, соответственно, результаты замеров величин усилий на виброплатформу и стенд от динамических гидродомкратов, перемещений рабочих органов гидродомкратов, жестко связанных с контуром виброплатформы, и величин перемещений, ускорений и перекосов стенда и трехслойных сэндвич-панелей. На рисунках 2.20 – 2.26 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброускорений и виброперемещений для различных программ нагружения (изменения частотного спектра в интервале от 0,5 до 22,63 Гц) в точках установки акселерометров на стенде и панелях. В Приложении 5 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений коэффициентов динамичности (таблицы П.5.2) в точках стенда и элементах панелей при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 8 баллов. Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 2.1, 2.2.

Анализ результатов динамических испытаний ограждающих конструкций при воздействиях, соответствующих 8 баллам по шкале MSK-64, позволяет отметить следующее:

- при заданном входном динамическом воздействии, моделирующем 8 балльное сейсмическое воздействие, максимальное ускорение (таблица 2.7) по данным акселерометров, установленных на стенде, составляло: в т. 1 (низ стенда) –  $1,7 \text{ м/с}^2$  (5,04 Гц) и в т.2 (верх стенда) –  $7,63 \text{ м/с}^2$



(5,04 Гц). При этом величины ускорений по результатам акселерометров, установленных на горизонтально ориентированных трехслойных сэндвич-панелях, составляли при той же частоте: в т. 6 (низ панелей) – 4,73 м/с<sup>2</sup> и в т. 7 (верх панелей) – 6,74 м/с<sup>2</sup>. Для вертикально расположенных панелях ускорение в верхней точке (т.5) составило 14,75 м/с<sup>2</sup>. Уровни величин максимальных перемещений из плоскости панелей, как следует из таблицы 2.6, составили 12,19 мм (т.5) и в плоскости панелей – 8,96 мм (т.7);

- максимальные коэффициенты динамичности, определяемые соотношением величин ускорений в точках, указанных в таблице П.5.2, и в графических данных огибающих кривых коэффициента динамичности составили:

- для вертикальных панелей:

- относительно стенда (т.5/т.1) – 17,35 при частоте 12,7 Гц;

- относительно низа панели (т.5/т.3) – 10,21 при частоте 12,7 Гц;

- для горизонтальных панелей:

- относительно стенда (т.7/т.1) – 4,35 при частоте 5,66 Гц;

- относительно низа панели (т.6/т.1) – 2,79 при частоте 5,04 Гц;

- эффект резонанса был установлен при частоте воздействия в интервале 2,0 – 3,17 Гц.

- по результатам измерений, приведенных в таблице 2.5 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 12,33 мм (при частоте 0,79 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 6,4 кН (при частоте 0,79 Гц). Распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда площадью 10,08 м<sup>2</sup> составила 1,25 кН/м<sup>2</sup> (125 кгс/м<sup>2</sup>);

- измерения величин перекосов стенда (таблица 2.8) в вертикальной плоскости показали, что при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное смещение верха стенда относительно его низа составило 5,97 мм (при частоте 5,04 Гц). Таким образом, для стенда  $f/L = 5,97/4200 = 1/700$ , (т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости не превышает нормируемое значение по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное 1/350 (для одного этажа). При указанном значении перекоса панели повреждений элементов НФС не установлено;

- при заданной величине воздействия, соответствующей 8 баллам по шкале MSK-64, повреждений в элементах всех испытанных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z не установлено. Сейсмостойкость конструкций, смонтированных на стенде для условий нагружения, принятых в эксперименте, обеспечена.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
						36
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

**Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.**

Таблица 2.5

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
0,50	7,59	1,33	7,63	2,74
0,71	12,04	3,06	12,08	3,19
0,79	12,27	3,20	12,33	3,20
0,89	12,18	3,28	12,25	2,85
1,00	11,86	3,49	11,93	2,68
1,12	11,32	3,68	11,33	2,43
1,26	10,70	3,93	10,72	2,23
1,41	10,05	4,36	10,14	1,96
1,59	9,34	4,54	9,42	1,90
1,78	8,62	5,39	8,70	1,96
2,00	7,93	6,48	8,01	2,50
2,24	6,29	5,74	6,37	2,53
2,52	5,00	4,85	5,10	2,41
2,83	3,97	4,23	4,04	2,43
3,17	3,15	4,74	3,25	2,67
3,56	2,50	4,99	2,60	2,49
4,00	1,99	5,34	2,05	2,70
4,49	1,58	5,97	1,65	3,24
5,04	1,26	10,60	1,35	8,83
5,66	1,00	8,15	1,06	7,58
6,35	0,80	5,57	0,86	4,81
7,13	0,63	3,21	0,69	3,14
8,00	0,49	1,58	0,55	2,68
8,98	0,39	3,71	0,44	2,51
10,08	0,30	3,46	0,37	1,40
11,31	0,22	3,39	0,27	0,95
12,70	0,15	2,82	0,17	0,74
14,25	0,12	2,46	0,11	0,94
16,00	0,09	1,68	0,09	1,08
17,96	0,05	1,47	0,06	1,11
20,16	0,04	1,22	0,03	0,99
22,63	0,02	0,67	0,01	0,47

**Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.**

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		37

(Перемещения – мм)

Таблица 2.6

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,08	0,09	0,06	0,07	0,15	0,04	0,06	0,06
0,71	0,11	0,21	0,17	0,19	0,42	0,09	0,16	0,12
0,79	0,15	0,26	0,18	0,25	0,46	0,12	0,20	0,13
0,89	0,15	0,25	0,20	0,26	0,44	0,15	0,27	0,16
1,00	0,33	0,54	0,40	0,54	0,77	0,29	0,50	0,29
1,12	0,73	0,88	0,82	0,90	1,24	0,70	0,84	0,67
1,26	1,75	1,93	1,80	1,91	2,24	1,64	1,90	1,58
1,41	3,33	3,57	3,40	3,46	4,30	3,18	3,54	3,05
1,59	5,50	6,22	5,76	6,00	6,88	5,22	6,07	5,06
1,78	7,20	8,39	7,65	8,10	9,32	6,81	8,16	6,45
2,00	7,68	9,27	8,27	8,99	10,97	7,23	8,96	6,85
2,24	6,00	7,08	6,43	6,88	8,47	5,57	6,84	5,42
2,52	4,48	5,13	4,77	5,04	5,80	4,08	4,99	4,11
2,83	3,72	4,54	4,08	4,42	5,32	3,24	4,38	3,40
3,17	3,27	4,47	3,68	4,17	5,37	2,77	4,17	2,79
3,56	2,42	3,58	2,89	3,41	4,65	2,60	3,37	2,09
4,00	1,93	3,31	2,49	3,13	4,52	2,04	3,05	1,52
4,49	1,73	3,56	2,47	3,36	5,48	1,77	3,26	1,32
5,04	1,31	6,79	3,11	6,09	12,19	1,49	5,91	1,08
5,66	0,90	5,61	2,14	5,13	11,98	0,69	4,87	1,15
6,35	0,53	3,35	1,07	3,09	7,80	0,45	2,90	0,82
7,13	0,46	2,05	0,49	1,94	5,74	0,53	1,72	0,70
8,00	0,41	0,92	0,17	1,04	3,95	0,48	0,64	0,53
8,98	0,38	0,19	0,26	0,40	2,26	0,45	0,17	0,42
10,08	0,29	0,22	0,26	0,33	2,13	0,31	0,22	0,30
11,31	0,23	0,18	0,35	0,22	3,22	0,24	0,20	0,24
12,70	0,12	0,37	0,21	0,03	2,73	0,12	0,31	0,15
14,25	0,09	0,16	0,08	0,03	0,69	0,08	0,13	0,11
16,00	0,07	0,11	0,08	0,04	0,39	0,07	0,07	0,08
17,96	0,05	0,06	0,07	0,02	0,12	0,05	0,04	0,06
20,16	0,04	0,05	0,11	0,03	0,07	0,05	0,02	0,06
22,63	0,02	0,02	0,09	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02



Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(Ускорения – м/с<sup>2</sup>)

Таблица 2.7

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,11	0,15	0,17	0,19	0,53	0,12	0,13	0,13
0,71	0,30	0,33	0,42	0,42	1,35	0,32	0,29	0,31
0,79	0,36	0,45	0,45	0,50	1,54	0,31	0,42	0,34
0,89	0,43	0,57	0,79	0,61	1,46	0,45	0,56	0,46
1,00	0,58	0,91	0,98	0,88	2,54	0,61	0,84	0,61
1,12	0,66	0,87	0,86	0,88	2,16	0,68	0,77	0,72
1,26	0,77	0,97	0,98	1,08	2,44	0,75	0,86	0,73
1,41	0,89	1,17	1,20	1,26	4,16	0,86	1,06	0,84
1,59	1,09	1,41	1,45	1,39	3,64	1,04	1,33	1,01
1,78	1,30	1,87	1,70	1,75	3,13	1,30	1,78	1,20
2,00	1,45	2,60	2,09	2,39	3,95	1,39	2,32	1,27
2,24	1,39	2,53	1,82	2,32	4,22	1,32	2,25	1,30
2,52	1,30	1,86	1,73	1,99	4,91	1,22	1,63	1,29
2,83	1,34	1,49	1,64	1,67	3,12	1,20	1,42	1,28
3,17	1,44	1,83	2,12	1,93	3,17	1,42	1,80	1,39
3,56	1,43	1,99	1,95	2,12	2,84	1,58	1,83	1,32
4,00	1,46	2,40	1,92	2,33	4,47	1,50	2,19	1,17
4,49	1,54	2,92	2,53	2,87	5,31	1,70	2,62	1,38
5,04	1,70	7,63	4,93	8,83	14,75	4,73	6,74	1,75
5,66	1,46	6,86	4,38	7,93	21,63	2,64	6,37	2,50
6,35	1,09	5,24	2,64	5,42	13,97	1,64	4,71	1,76
7,13	1,10	4,29	1,28	3,73	12,68	1,26	3,48	1,50
8,00	1,16	2,56	1,79	2,56	10,04	1,66	1,77	1,68
8,98	1,35	0,76	1,22	1,87	7,63	1,61	0,74	1,60
10,08	1,32	1,37	1,51	2,66	9,59	1,42	0,93	1,50
11,31	1,14	1,05	2,87	1,37	16,02	1,59	1,02	1,50
12,70	1,06	2,76	1,80	0,45	18,36	0,92	2,16	1,06
14,25	1,03	1,39	1,45	0,77	5,34	0,89	1,39	1,31
16,00	0,84	1,15	1,09	0,63	3,86	0,88	0,88	1,11
17,96	0,63	0,84	0,85	0,38	1,79	0,62	0,51	0,83
20,16	0,74	0,85	1,79	0,59	1,09	0,90	0,39	0,94
22,63	0,32	0,35	2,11	1,29	1,44	0,34	0,09	0,40

**Величины перекоса (мм) верха стенда относительно его низа**

Таблица 2.8

Частота, Гц	т.2-т.1	т.7-т.6	т.8-т.6
0,50	0,08	0,05	0,06
0,71	0,10	0,08	0,20
0,79	0,10	0,14	0,20
0,89	0,12	0,11	0,29
1,00	0,13	0,14	0,56
1,12	0,13	0,17	1,32
1,26	0,19	0,23	3,13
1,41	0,36	0,41	6,11
1,59	0,67	0,83	10,08
1,78	1,22	1,32	12,90
2,00	1,85	1,82	13,80
2,24	1,44	1,49	10,82
2,52	0,95	1,03	8,03
2,83	0,84	1,14	6,48
3,17	1,23	1,51	5,47
3,56	1,21	0,88	4,55
4,00	1,39	1,05	3,53
4,49	1,86	1,50	3,08
5,04	5,97	4,66	2,01
5,66	5,69	4,59	1,74
6,35	3,61	3,07	1,23
7,13	2,41	2,15	1,19
8,00	1,28	1,10	0,98
8,98	0,45	0,39	0,86
10,08	0,41	0,30	0,62
11,31	0,19	0,13	0,46
12,70	0,43	0,36	0,27
14,25	0,26	0,21	0,21
16,00	0,18	0,14	0,17
17,96	0,13	0,10	0,13
20,16	0,11	0,09	0,13
22,63	0,08	0,07	0,07

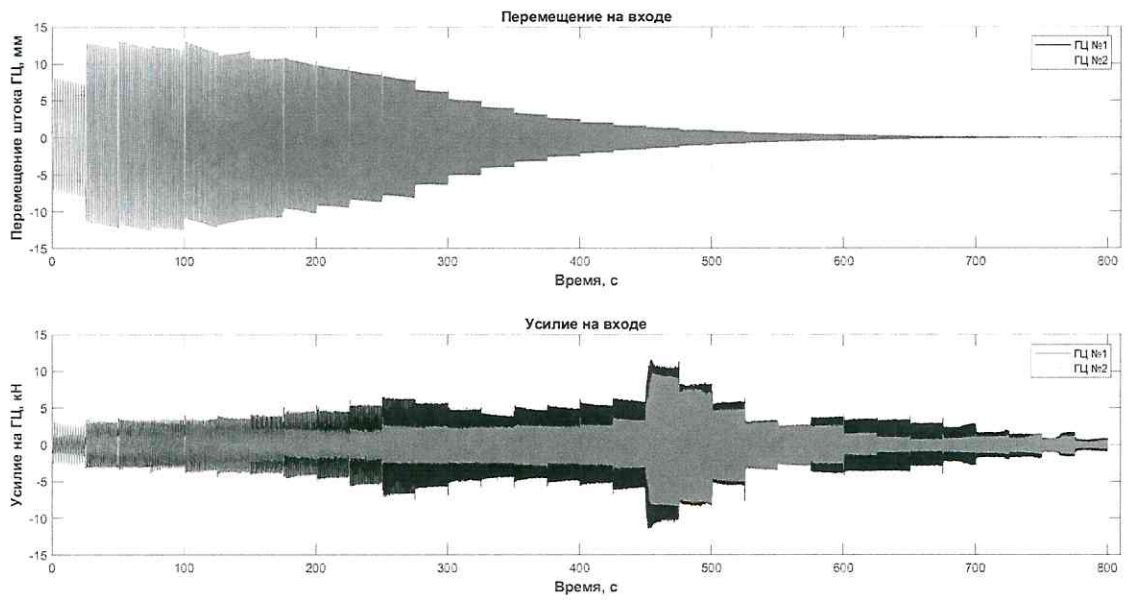


Рисунок 3.24 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

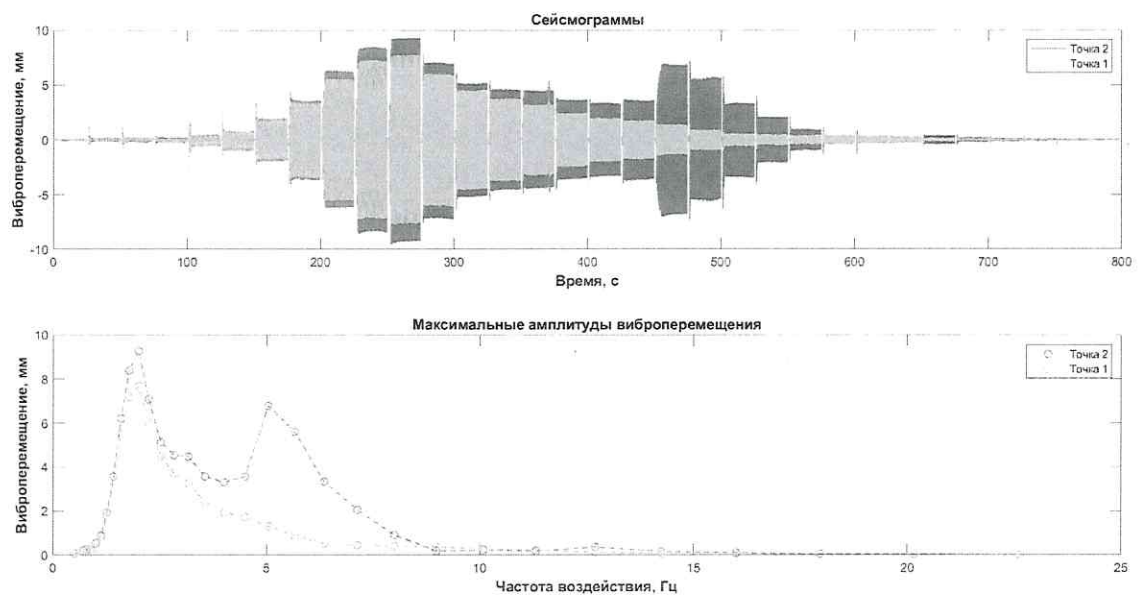


Рисунок 2.21 График сейсмограмм виброперемещений в т.1 и т.2 при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц

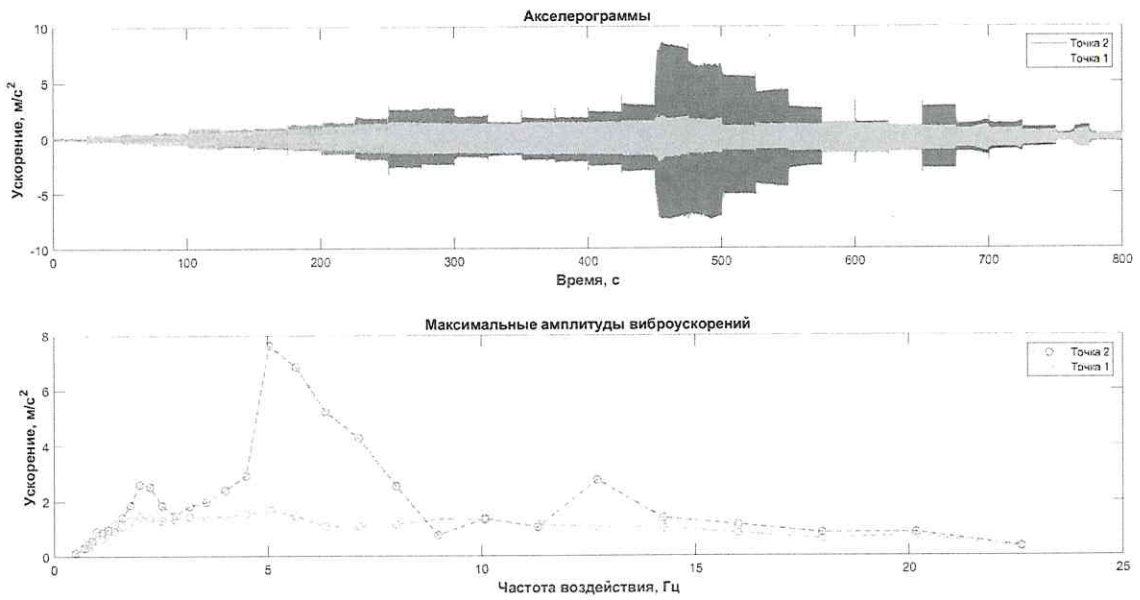


Рисунок 2.22 График акселерограмм виброускорений в точках 1 и 2 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

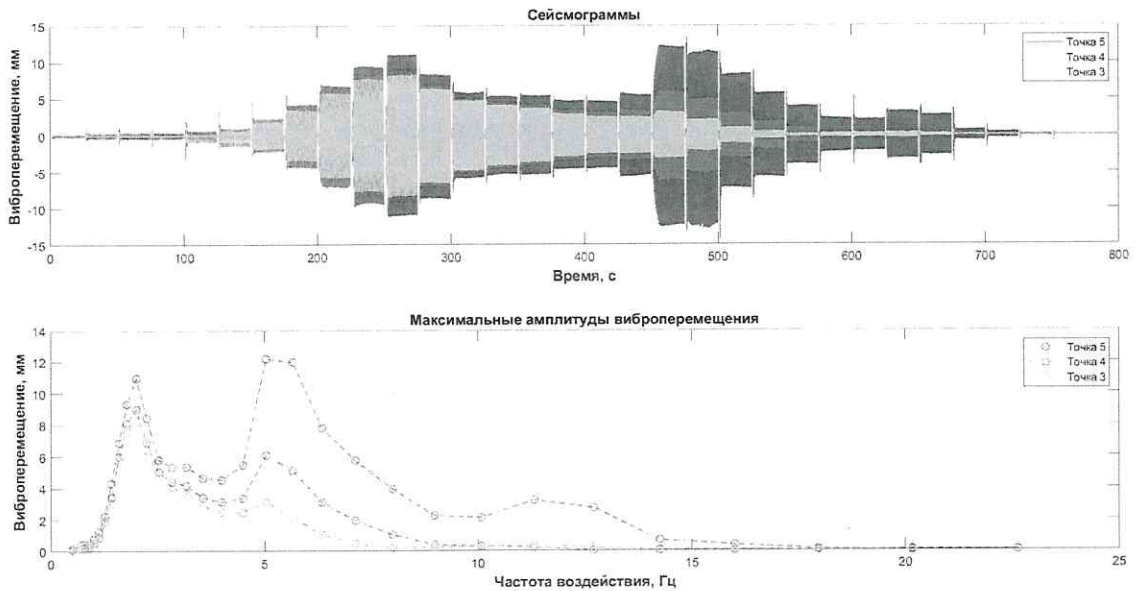


Рисунок 2.23 График сейсмограмм виброперемещений, в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

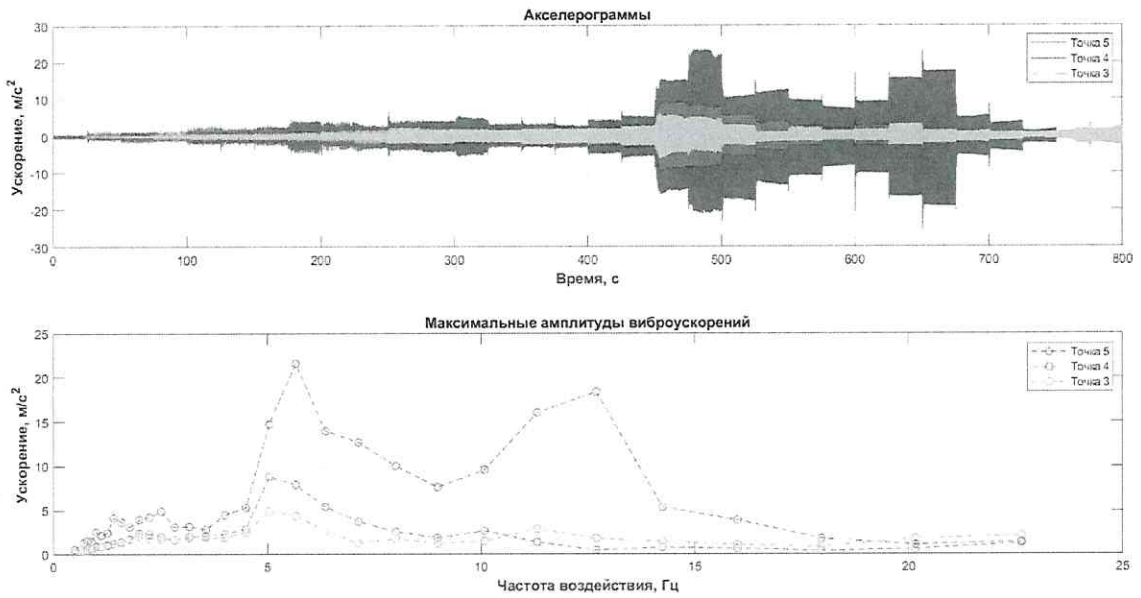


Рисунок 2.24 График сейсмограмм виброускорений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

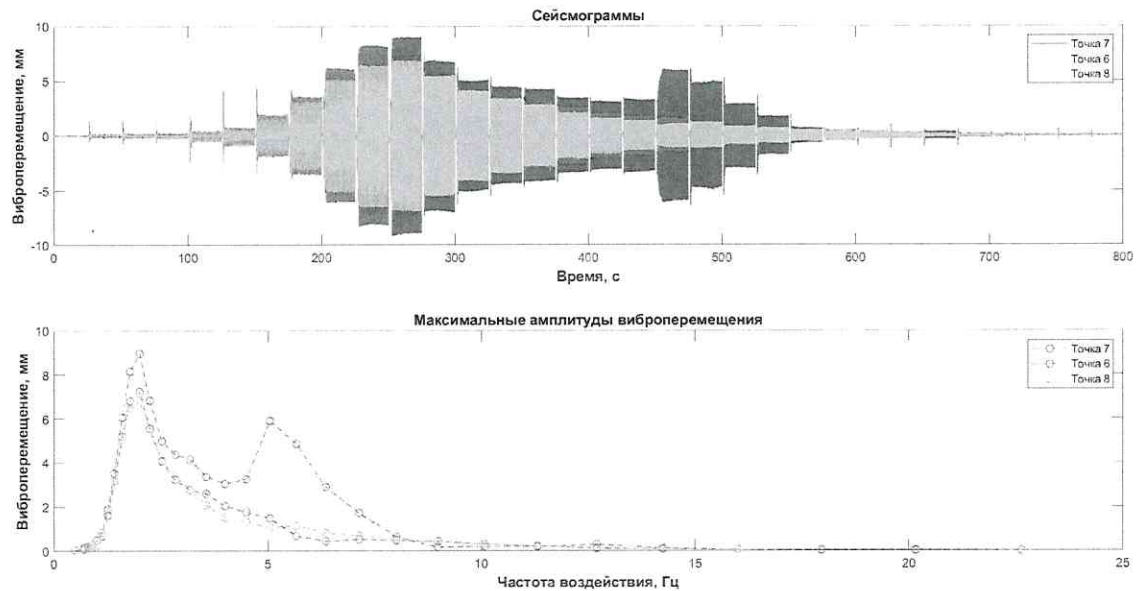


Рисунок 2.25 График сейсмограмм виброперемещений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

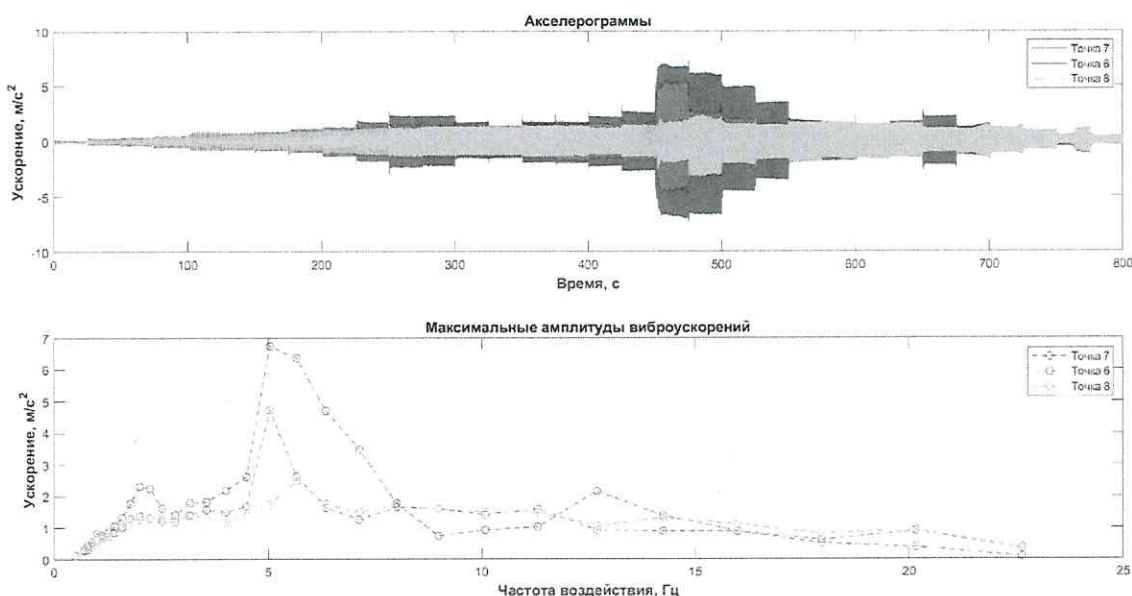


Рисунок 2.26 График сейсмограмм виброускорений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 2.3.3 Моделирование сейсмического воздействия интенсивностью 9 баллов при изменении частотного спектра от 0,5 до 22,63 Гц

В таблицах 2.9-2.17 приведены, соответственно, результаты замеров величин усилий на виброплатформу и стенд от динамических гидродомкратов, перемещений рабочих органов гидродомкратов, жестко связанных с контуром виброплатформы, и величин перемещений, ускорений и перекосов стенда и трехслойных сэндвич-панелей при воздействии интенсивностью 9-1, 9-2 и 9-3 баллов (см. стр.28 настоящего отчета). На рисунках 2.27 – 2.47 приведены сейсмограммы максимальных амплитуд горизонтальных виброускорений и виброперемещений для различных программ нагружения (изменения частотного спектра в интервале от 0,5 до 22,63 Гц) в точках установки акселерометров на стенде и панелях. В Приложении 5 настоящего Технического отчета приведены данные по результатам измерений коэффициентов динамичности (таблицы П.5.3) в точках стенда и элементах панелей при интенсивности воздействия от гидроцилиндров на стенд 9 баллов. Номера акселерометров приняты в соответствии с номерами на схемах рисунков 2.1, 2.2.

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

#### *Для сейсмического воздействия 9-1 баллов:*

- при заданном входном динамическом воздействии, моделирующем 9 балльное сейсмическое воздействие (ускорение до  $2.5 \text{ м/с}^2$  – стр.28 настоящего отчета), максимальное ускорение (таблица 2.15) по данным акселерометров, установленных на стенде, составляло: в т. 1 (низ стенда) –



13,85 м/с<sup>2</sup> (1,59 Гц) и в т.2 (верх стенда) – 14,56 м/с<sup>2</sup> (5,04 Гц). При этом величины ускорений по результатам акселерометров, установленных на горизонтально ориентированных трехслойных сэндвич-панелях, составляли при той же частоте: в т. 6 (низ панелей) – 16,56 м/с<sup>2</sup> и в т. 7 (верх панелей) – 8,96 м/с<sup>2</sup>. Для вертикально расположенных панелей ускорение в верхней точке (т.5) составило 36,38 м/с<sup>2</sup>. Уровни величин максимальных перемещений из плоскости панелей, как следует из таблицы 2.12, составили 21,62 мм (т.5) и в плоскости панелей – 13,90 мм (т.7);

- максимальные коэффициенты динамичности, определяемые соотношением величин ускорений в точках, указанных в таблице П.5.3, и в графических данных огибающих кривых коэффициента динамичности составили:

- для вертикальных панелей: относительно стенда (т.5/т.1) – 19,57 при частоте 11,31 Гц; относительно низа панели (т.5/т.3) – 11,94 при частоте 12,7 Гц;
- для горизонтальных панелей: относительно стенда (т.7/т.1) – 2,27 при частоте 5,04 Гц; относительно низа панели (т.6/т.1) – 2,73 при частоте 5,04 Гц;

- эффект резонанса был установлен при частоте воздействия в интервале 2,0 – 3,17 Гц.

- по результатам измерений, приведенных в таблице 2.9 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 24,53 мм (при частоте 0,89 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 41,34 кН (при частоте 1,59 Гц). Распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда площадью 10,08 м<sup>2</sup> составила 4,10 кН/м<sup>2</sup> (410 кгс/м<sup>2</sup>);

- измерения величин перекосов стенда (таблица 2.18) в вертикальной плоскости показали, что при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное смещение верха стенда относительно его низа составило 10,87 мм (при частоте 4,49 Гц). Таким образом, для стенда  $f/L = 10,87/4200 = 1/386$ , (т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости не превышает нормируемое значение по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное 1/350 (для одного этажа). При указанном значении перекоса стенда повреждений элементов НФС не установлено;

- при заданной величине воздействия, соответствующей 9-1 баллам по шкале MSK-64, повреждений в элементах всех испытанных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z не установлено. Сейсмостойкость конструкций, смонтированных на стенде для условий нагружения, принятых в эксперименте, обеспечена.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		45



### Для сейсмического воздействия 9-2 баллов

- при заданном входном динамическом воздействии, моделирующем 9 балльное сейсмическое воздействие (ускорение до  $5.0 \text{ м/с}^2$  – стр.28 настоящего отчета), максимальное ускорение (таблица 2.7) по данным акселерометров, установленных на стенде, составляло: в т. 1 (низ стенда) –  $16,58 \text{ м/с}^2$  (4,0 Гц) и в т.2 (верх стенда) –  $20,53 \text{ м/с}^2$  (4,0 Гц). При этом величины ускорений по результатам акселерометров, установленных на горизонтально ориентированных трехслойных сэндвич-панелях, составляли при той же частоте: в т. 6 (низ панелей) –  $17,09 \text{ м/с}^2$  и в т. 7 (верх панелей) –  $14,00 \text{ м/с}^2$ . Для вертикально расположенных панелях ускорение в верхней точке (т.5) составило  $50,17 \text{ м/с}^2$ . Уровни величин максимальных перемещений из плоскости панелей, как следует из таблицы 2.13, составили 29,60 мм (т.5) и в плоскости панелей – 14,08 мм (т.7);

- максимальные коэффициенты динамичности, определяемые соотношением величин ускорений в точках, указанных в таблице П.5.4, и в графических данных огибающих кривых коэффициента динамичности составили:

- для вертикальных панелей:

- относительно стенда (т.5/т.1) – 17,08 при частоте 11,31 Гц;
- относительно низа панели (т.5/т.3) – 5,63 при частоте 8,98 Гц;

- для горизонтальных панелей:

- относительно стенда (т.7/т.1) – 1,25 при частоте 6,35 Гц;
- относительно низа панели (т.6/т.1) – 1,53 при частоте 6,35 Гц;

- эффект резонанса был установлен при частоте воздействия в интервале 2,0 – 3,17 Гц.

- по результатам измерений, приведенных в таблице 2.10 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 40,07 мм (при частоте 0,71 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 54,01 кН (при частоте 0,79 Гц). Распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда площадью  $10,08 \text{ м}^2$  составила  $5,36 \text{ кН/м}^2$  ( $536 \text{ кгс/м}^2$ );

- измерения величин перекосов стенда (таблица 2.19) в вертикальной плоскости показали, что при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное смещение верха стенда относительно его низа составило 13,92 мм (при частоте 4,0 Гц). Таким образом, для стенда  $f/L = 13,92/4200 = 1/301$ , (т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости превышает нормируемое значение по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное  $1/350$  (для одного этажа). При указанном значении перекоса стенда повреждений элементов фасадных систем не установлено;

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлостроительным конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		46



- при заданной величине воздействия, соответствующей 9-2 баллам по шкале MSK-64, повреждений в элементах всех испытанных ограждающих из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z не установлено. Сейсмостойкость конструкций, смонтированных на стенде для условий нагружения, принятых в эксперименте, обеспечена.

#### *Для сейсмического воздействия 9-3 баллов*

- при заданном входном динамическом воздействии, моделирующем 9 балльное сейсмическое воздействие (ускорение до  $5.25 \text{ м/с}^2$  – стр.28 настоящего отчета), максимальное ускорение (таблица 2.7) по данным акселерометров, установленных на стенде, составляло: в т. 1 (низ стенда) –  $18,35 \text{ м/с}^2$  (4,49 Гц) и в т.2 (верх стенда) –  $21,06 \text{ м/с}^2$  (4,00 Гц). При этом величины ускорений по результатам акселерометров, установленных на горизонтально ориентированных трехслойных сэндвич-панелях, составляли при той же частоте: в т. 6 (низ панелей) –  $20,14 \text{ м/с}^2$  и в т. 7 (верх панелей) –  $16,68 \text{ м/с}^2$ . Для вертикально расположенных панелей ускорение в верхней точке (т.5) составило  $51,08 \text{ м/с}^2$ . Уровни величин максимальных перемещений из плоскости панелей, как следует из таблицы 2.14, составили 30,39 мм (т.5) и в плоскости панелей – 13,75 мм (т.7);

- максимальные коэффициенты динамичности, определяемые соотношением величин ускорений в точках, указанных в таблице П.5.5, и в графических данных огибающих кривых коэффициента динамичности составили:

- для вертикальных панелей:
  - относительно стенда (т.5/т.1) – 19,52 при частоте 11,31 Гц;
  - относительно низа панели (т.5/т.3) – 5,95 при частоте 10,08 Гц;
- для горизонтальных панелей:
  - относительно стенда (т.7/т.1) – 1,39 при частоте 7,13 Гц;
  - относительно низа панели (т.6/т.1) – 1,67 при частоте 8,0 Гц;

- эффект резонанса был установлен при частоте воздействия в интервале 2,0 – 3,17 Гц.

- по результатам измерений, приведенных в таблице 2.11 установлено, что максимальное перемещение в зоне установки гидроцилиндров составило 39,60 мм (при частоте 0,71 Гц). При этом максимальное усилие на стенд от гидроцилиндров составило 55,06 кН (при частоте 3,56 Гц). Распределенная нагрузка на торцевую поверхность стенда площадью  $10,08 \text{ м}^2$  составила  $5,46 \text{ кН/м}^2$  ( $546 \text{ кгс/м}^2$ );

- измерения величин перекосов стенда (таблица 2.20) в вертикальной плоскости показали, что при высоте стенда 4,2 м максимальное вертикальное смещение верха стенда относительно его низа составило 13,74 мм (при частоте 4,0 Гц). Таким образом, для стенда  $f/L = 13,74/4200 = 1/305$ ,

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		47

(т.е. величина перекоса в вертикальной плоскости превышает нормируемое значение по СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное 1/350 (для одного этажа). При указанном значении перекоса стенда повреждений элементов фасадных систем не установлено;

- при заданной величине воздействия, соответствующей 9-3 баллам по шкале MSK-64, повреждений в элементах всех испытанных ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z не установлено. Сейсмостойкость конструкций, смонтированных на стенде для условий нагружения, принятых в эксперименте, обеспечена.

**Данные с гидроцилиндров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(9-1)**

Таблица 2.9

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
0,50	15,18	3,03	15,19	3,58
0,71	24,08	4,89	24,09	4,44
0,79	24,52	5,09	24,52	4,43
0,89	24,53	6,23	24,54	4,49
1,0	23,69	7,85	23,88	4,57
1,12	22,63	10,03	22,67	8,40
1,26	21,38	17,81	20,21	13,55
1,41	19,75	22,90	17,73	11,87
1,59	17,71	25,60	15,58	15,74
1,78	15,90	17,49	13,81	15,40
2,0	14,20	18,95	12,25	13,67
2,24	12,40	18,64	11,15	12,47
2,52	9,99	11,39	10,17	10,23
2,83	7,96	10,19	8,07	10,10
3,17	6,31	9,31	6,36	6,58
3,56	5,02	10,40	5,07	8,76
4,0	3,96	12,44	4,00	9,60
4,49	3,14	15,13	3,18	13,70
5,04	2,51	14,08	2,55	13,48
5,66	2,00	10,21	2,04	10,05
6,35	1,61	7,09	1,64	6,82
7,13	1,28	3,75	1,31	3,39
8,0	1,02	2,30	1,04	2,34

8,98	0,82	4,48	0,85	1,11
10,08	0,65	4,08	0,68	2,21
11,31	0,51	5,59	0,55	3,72
12,7	0,39	4,06	0,42	2,59
14,25	0,32	3,55	0,37	3,92
16,00	0,24	3,70	0,30	3,17
17,96	0,19	4,10	0,24	3,73
20,16	0,14	4,61	0,17	3,97
22,63	0,10	3,19	0,11	2,84

**9-2**

Таблица 2.10

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
0,50	30,39	5,17	30,37	4,01
0,71	40,07	19,84	35,16	13,11
0,79	35,68	19,82	31,31	18,47
0,89	31,68	19,89	27,81	15,06
1,00	28,29	20,95	24,79	18,46
1,12	25,21	18,71	21,95	18,58
1,26	22,42	18,87	19,51	19,46
1,41	20,04	20,80	17,40	20,10
1,59	17,78	22,87	15,36	25,24
1,78	15,92	16,59	13,64	22,01
2,00	14,14	16,63	12,16	20,06
2,24	12,65	18,53	10,88	20,64
2,52	11,27	19,96	9,68	21,56
2,83	10,05	20,93	8,61	22,52
3,17	8,98	22,45	7,71	23,60
3,56	8,00	27,81	6,86	26,20
4,00	7,12	22,37	5,94	18,36
4,49	6,20	21,67	5,38	16,02
5,04	5,01	19,70	5,06	18,38
5,66	3,99	14,44	4,03	16,81
6,35	3,20	10,11	3,23	12,20
7,13	2,54	5,19	2,57	7,99
8,00	2,01	6,43	2,04	6,48
8,98	1,61	7,78	1,63	6,49
10,08	1,29	8,15	1,32	6,70
11,31	0,99	10,33	1,03	8,21

12,70	0,76	5,63	0,80	5,93
14,25	0,58	5,70	0,63	6,09
16,00	0,45	6,21	0,50	6,81
17,96	0,38	7,60	0,45	8,47
20,16	0,28	7,93	0,33	7,48
22,63	0,19	7,63	0,21	5,90

**9-3**

Таблица 2.11

Данные с гидроцилиндров				
Частота, Гц	Входное воздействие			
	ГЦ №1		ГЦ №2	
	S, мм	F, кН	S, мм	F, кН
0,50	38,07	6,04	38,07	4,94
0,71	39,60	19,13	34,94	14,48
0,79	35,63	18,97	31,31	17,51
0,89	31,68	18,97	27,79	17,92
1,00	28,26	20,58	24,77	21,28
1,12	25,21	17,48	21,96	20,83
1,26	22,42	17,60	19,53	21,49
1,41	20,01	19,95	17,39	21,47
1,59	17,77	22,20	15,37	24,85
1,78	15,89	15,73	13,64	22,35
2,00	14,16	15,97	12,15	20,58
2,24	12,67	17,52	10,88	21,97
2,52	11,28	19,28	9,67	21,47
2,83	10,05	21,09	8,60	22,22
3,17	8,98	23,27	7,68	23,04
3,56	8,01	29,04	6,84	26,02
4,00	7,12	20,11	5,91	20,71
4,49	6,34	23,00	5,29	21,16
5,04	5,64	21,55	4,70	21,07
5,66	4,88	20,26	4,27	19,12
6,35	3,98	14,03	3,99	20,12
7,13	3,17	9,89	3,18	11,79
8,00	2,50	8,26	2,52	10,31
8,98	2,00	10,29	2,01	9,91
10,08	1,60	10,67	1,63	9,82
11,31	1,23	12,75	1,27	11,32
12,70	0,94	6,82	0,99	8,31

14,25	0,73	7,82	0,77	8,47
16,00	0,56	8,13	0,60	9,33
17,96	0,42	9,31	0,46	9,57
20,16	0,34	10,68	0,40	9,63
22,63	0,24	9,84	0,26	7,55

**Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(Перемещения – мм)**

(9-1)

Таблица 2.12

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,07	0,10	0,07	0,10	0,45	0,11	0,08	0,05
0,71	0,40	0,66	0,56	0,67	1,23	0,37	0,61	0,37
0,79	0,45	0,85	0,62	0,87	1,42	0,35	0,69	0,39
0,89	0,68	1,32	0,95	1,42	2,42	0,49	1,18	0,49
1,00	0,97	1,84	1,46	2,02	3,43	1,02	1,69	0,95
1,12	2,29	3,60	2,73	3,35	5,21	2,25	3,26	1,97
1,26	5,50	5,64	4,75	4,78	8,51	5,64	5,30	5,19
1,41	8,56	10,51	8,06	8,53	10,57	8,50	9,84	7,85
1,59	11,18	15,18	11,06	12,99	19,64	10,99	13,97	10,32
1,78	13,08	14,83	11,42	12,97	20,56	13,35	13,90	12,59
2,00	13,77	14,47	12,27	12,86	21,62	14,02	13,73	13,04
2,24	12,39	13,46	11,71	12,00	16,47	12,48	13,09	11,80
2,52	9,39	11,33	9,96	10,74	13,32	9,34	11,20	8,64
2,83	7,69	10,28	8,55	9,61	12,55	7,95	9,88	7,24
3,17	6,45	9,83	7,88	9,31	12,45	6,61	9,49	5,69
3,56	5,00	8,96	6,64	8,30	11,44	5,20	8,59	4,23
4,00	4,11	9,37	6,24	8,49	13,16	4,46	8,86	3,38
4,49	2,96	11,45	5,25	9,93	20,68	3,39	9,35	3,60
5,04	2,03	8,28	3,63	7,21	15,72	2,02	6,54	2,57
5,66	1,68	6,72	2,43	6,13	14,67	3,06	6,02	2,21
6,35	1,10	4,60	1,38	4,08	10,27	1,41	3,70	1,73
7,13	1,01	2,88	0,58	2,63	7,72	1,23	2,27	1,39
8,00	0,85	1,50	0,41	1,46	5,61	0,98	1,14	1,10
8,98	0,71	0,73	0,37	0,81	4,41	0,79	0,50	0,86
10,08	0,58	0,50	0,47	0,60	4,93	0,60	0,31	0,65
11,31	0,52	0,23	0,89	0,55	9,47	0,56	0,31	0,55
12,70	0,28	0,64	0,28	0,06	5,00	0,29	0,47	0,35
14,25	0,25	0,35	0,18	0,06	1,63	0,29	0,21	0,33



16,00	0,23	0,26	0,29	0,07	0,90	0,25	0,14	0,32
17,96	0,18	0,18	0,41	0,15	0,49	0,19	0,09	0,24
20,16	0,14	0,11	0,89	0,39	0,38	0,17	0,03	0,18
22,63	0,09	0,10	0,64	0,31	0,25	1,09	0,02	0,14

9-2

Таблица 2.13

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,46	0,39	0,25	0,27	0,34	0,40	0,23	0,40
0,71	6,80	8,61	6,95	7,46	11,91	7,39	8,02	6,98
0,79	6,23	9,07	6,48	8,04	13,90	6,68	8,24	5,91
0,89	5,49	7,75	5,41	6,99	11,40	5,73	6,89	5,45
1,00	5,30	7,54	5,72	6,78	12,20	5,42	6,57	5,18
1,12	5,40	9,13	5,72	7,86	14,88	5,58	7,91	5,33
1,26	6,15	7,01	5,80	6,33	12,51	6,16	6,42	6,10
1,41	8,43	8,93	8,28	8,15	11,74	8,07	8,61	8,09
1,59	11,36	15,36	11,87	14,16	20,92	10,78	13,61	10,33
1,78	12,78	15,33	12,01	13,56	22,29	12,51	14,08	12,46
2,00	12,78	14,16	12,28	12,83	23,09	9,33	12,89	13,27
2,24	11,22	11,97	11,04	11,50	18,92	-	11,48	12,23
2,52	9,65	10,60	10,02	10,15	14,12	6,08	10,25	10,30
2,83	9,22	10,88	9,61	10,43	13,59	7,93	10,00	9,20
3,17	9,26	12,14	10,26	11,31	14,55	9,51	12,21	8,49
3,56	8,28	13,06	10,35	11,52	16,85	8,76	13,46	7,62
4,00	6,55	13,65	5,78	-	29,60	-	10,98	8,34
4,49	6,31	10,73	4,52	-	23,49	-	8,58	7,93
5,04	4,50	8,30	4,11	-	18,09	4,37	-	5,69
5,66	3,72	7,59	3,92	-	21,41	4,36	-	4,69
6,35	2,55	5,50	2,13	-	13,60	3,21	4,40	3,55
7,13	2,19	3,94	1,00	-	11,57	2,77	3,05	3,01
8,00	1,96	2,17	0,65	-	8,78	2,34	1,68	2,24
8,98	1,20	1,54	0,83	31,84	7,64	1,42	0,85	2,00
10,08	1,15	0,78	0,95	20,04	8,92	1,33	0,43	1,45
11,31	1,07	0,37	1,92	38,03	15,31	1,15	0,33	1,10
12,70	0,56	0,91	0,43	-	6,97	0,65	0,68	0,81
14,25	0,48	0,52	0,44	-	2,33	0,57	0,33	0,66
16,00	0,44	0,41	0,73	-	1,21	0,43	0,21	0,59



17,96	0,36	0,28	1,73	31,85	1,17	0,39	0,12	0,40
20,16	0,37	0,12	0,91	-	0,57	0,41	0,03	0,33
22,63	0,23	0,12	0,37	-	0,36	0,28	0,01	0,30

**9-3**

Таблица 2.14

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,69	0,82	0,80	1,04	1,78	0,81	0,77	0,73
0,71	6,97	8,57	6,96	7,51	12,21	7,01	7,64	6,81
0,79	6,31	9,44	6,43	8,34	14,34	6,43	10,12	5,79
0,89	5,78	7,85	5,52	7,09	12,05	5,73	7,17	5,14
1,00	5,27	7,62	5,86	6,95	12,43	4,79	-	5,26
1,12	5,20	8,89	5,58	7,83	14,76	4,80	7,86	5,44
1,26	6,18	6,92	5,86	6,21	13,16	6,26	6,24	5,96
1,41	8,77	9,28	8,28	8,31	11,63	8,69	8,66	7,76
1,59	11,67	15,40	11,93	13,86	19,85	11,60	13,75	9,93
1,78	12,90	15,53	12,15	13,56	22,09	13,18	13,61	12,54
2,00	13,44	14,11	12,09	12,67	22,38	13,60	13,26	12,72
2,24	12,04	12,41	11,13	11,35	20,06	11,79	11,29	11,68
2,52	10,29	10,87	9,78	9,88	13,98	9,93	10,07	9,79
2,83	9,61	10,90	9,62	10,15	13,29	9,06	10,21	8,90
3,17	9,26	12,08	10,09	11,18	14,40	9,14	11,99	8,60
3,56	8,28	13,54	10,30	11,97	16,93	8,42	-	7,45
4,00	6,49	14,20	5,97	12,71	30,39	5,74	-	7,61
4,49	6,38	11,56	5,09	10,27	23,50	5,57	9,83	7,51
5,04	5,20	8,14	4,60	7,65	18,66	5,47	6,59	6,47
5,66	4,95	9,23	3,76	7,87	19,77	5,75	6,69	6,61
6,35	3,35	5,60	3,22	5,24	15,67	4,16	4,42	4,60
7,13	2,86	4,06	1,59	3,62	13,04	3,49	3,88	3,87
8,00	2,25	2,59	0,96	2,37	10,39	2,77	1,82	2,94
8,98	1,67	1,62	1,07	1,50	9,15	2,01	0,94	2,31
10,08	1,49	0,86	1,33	0,95	11,12	1,74	0,38	1,87
11,31	1,35	0,47	2,49	1,31	19,21	1,43	0,49	1,52
12,70	0,73	0,97	0,52	0,11	6,83	0,85	0,64	1,02
14,25	0,60	0,54	0,53	0,11	2,55	0,74	0,31	0,78
16,00	0,50	0,47	0,81	0,19	1,41	0,53	0,21	0,72
17,96	0,37	0,35	1,68	0,75	1,02	0,74	0,13	0,49
20,16	0,35	0,16	1,35	0,74	0,43	0,43	0,06	0,45
22,63	0,30	0,10	0,75	0,48	0,48	0,40	0,04	0,38

Данные с акселерометров – частотный спектр от 0,5 до 22,63 Гц.  
(Ускорение –  $m/s^2$ )

(9-1)

Таблица 2.15

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,22	0,35	0,36	0,41	2,61	0,24	0,27	0,26
0,71	0,60	0,85	1,31	1,06	3,11	0,66	0,79	0,68
0,79	1,25	1,39	1,49	1,30	2,74	0,85	1,01	1,39
0,89	2,11	2,40	1,82	1,92	4,80	1,22	1,60	1,88
1,00	1,92	2,80	3,78	2,80	8,56	1,49	1,82	2,06
1,12	2,21	3,39	6,68	5,27	15,59	2,11	2,91	2,28
1,26	7,63	4,64	12,29	8,52	20,35	7,74	3,12	9,33
1,41	11,59	7,70	12,98	12,07	19,89	10,69	6,12	13,76
1,59	13,85	10,34	20,82	17,10	26,18	15,52	8,83	17,94
1,78	13,71	10,50	18,39	13,97	32,98	16,65	8,96	19,35
2,00	13,65	8,46	18,82	13,76	36,38	15,86	7,08	19,58
2,24	11,12	6,79	16,48	14,29	25,89	12,60	5,13	14,81
2,52	4,16	5,17	6,79	6,96	15,55	4,30	3,74	4,50
2,83	4,58	4,92	6,80	7,61	15,81	4,61	4,04	4,43
3,17	3,61	4,55	4,73	4,74	9,03	3,94	3,50	3,40
3,56	4,16	5,74	5,80	5,50	10,54	4,37	4,58	3,94
4,00	3,66	7,90	7,92	6,99	14,97	5,02	6,32	3,44
4,49	4,65	13,83	19,19	18,58	33,23	9,70	9,90	7,67
5,04	4,11	14,56	18,92	15,80	33,47	11,23	9,36	6,04
5,66	3,48	10,42	14,06	11,09	32,47	8,51	7,86	4,59
6,35	2,93	7,71	9,33	10,05	22,97	4,05	6,45	3,95
7,13	2,38	5,73	6,47	7,53	16,80	3,32	4,45	3,32
8,00	2,29	4,09	4,32	5,50	14,83	2,84	3,42	2,95
8,98	2,43	2,88	2,23	3,87	15,36	2,77	1,96	2,89
10,08	2,50	2,38	2,37	3,25	22,07	2,67	1,28	2,87
11,31	2,67	1,46	6,83	4,02	52,28	3,13	1,63	2,70
12,70	2,07	4,60	2,89	1,57	34,55	2,24	3,27	2,56
14,25	2,10	3,16	2,62	1,74	12,40	2,68	2,16	3,16
16,00	2,22	2,62	3,48	1,98	9,95	3,01	1,67	3,40
17,96	2,37	2,49	5,52	2,11	6,97	2,55	1,17	3,17
20,16	2,38	2,59	16,33	8,56	14,55	2,78	0,84	2,96
22,63	1,96	1,63	13,14	7,32	7,97	12,75	0,40	2,45

(9-2)

Таблица 2.16

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	1,71	1,41	1,05	0,67	1,36	1,61	0,35	1,45
0,71	13,61	7,07	12,11	12,17	36,02	16,34	5,49	17,80
0,79	13,20	9,36	15,38	11,56	34,23	15,93	6,74	17,34
0,89	13,43	7,00	13,82	11,14	29,52	16,61	5,44	18,16
1,00	13,45	8,16	12,78	9,90	29,61	15,81	5,50	17,46
1,12	13,42	10,56	18,86	13,59	37,38	16,59	7,68	19,04
1,26	13,37	8,00	16,59	14,19	33,82	16,52	5,49	18,39
1,41	13,99	7,48	11,32	11,88	29,24	16,72	5,16	18,57
1,59	14,69	10,52	19,50	14,15	33,57	17,09	9,63	17,75
1,78	12,79	12,25	19,07	21,51	48,21	15,17	8,69	17,20
2,00	13,28	10,26	18,77	16,83	43,16	14,45	6,78	17,26
2,24	13,18	7,89	17,60	16,21	54,97	-	5,15	18,46
2,52	13,13	8,37	12,88	17,26	38,27	16,64	5,42	18,65
2,83	13,67	7,73	18,43	15,43	27,80	15,54	4,09	18,39
3,17	14,40	8,42	14,65	14,04	33,23	17,15	5,90	17,85
3,56	15,31	10,79	21,28	16,87	41,77	15,35	9,29	18,14
4,00	16,58	20,53	28,77	-	63,04	-	14,00	24,91
4,49	13,54	15,57	33,58	-	44,09	-	12,16	18,72
5,04	11,08	14,66	27,92	-	43,74	13,52	-	16,67
5,66	8,56	14,22	33,61	-	-	11,11	-	13,22
6,35	7,44	11,67	19,11	-	49,67	11,41	9,33	10,86
7,13	6,44	9,45	9,53	-	26,81	8,14	7,01	7,66
8,00	5,62	6,37	4,28	-	23,99	7,72	4,84	7,59
8,98	5,98	5,39	4,92	33,63	29,50	7,18	3,46	7,67
10,08	5,27	4,06	5,20	11,95	42,82	7,49	1,91	7,45
11,31	6,22	2,61	25,39	23,60	-	6,39	2,42	6,71
12,70	4,26	6,30	6,85	-	50,17	4,69	4,77	5,67
14,25	4,46	4,53	4,26	-	20,24	5,43	3,25	5,79
16,00	4,76	4,36	7,94	-	11,98	5,07	2,17	5,99
17,96	4,82	5,05	24,27	23,55	35,31	5,25	2,18	6,10
20,16	5,28	3,24	16,24	-	17,40	5,65	1,22	6,31
22,63	4,81	2,31	8,36	-	11,30	5,92	0,40	5,79

(9-3)

Таблица 2.17

Частота, Гц	Номера точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	2,12	2,77	1,47	1,61	3,61	2,20	1,09	2,24
0,71	13,18	6,97	11,11	11,92	34,25	16,90	4,97	17,60
0,79	13,07	9,55	14,68	12,11	35,39	16,67	6,58	17,54
0,89	13,39	7,62	14,14	11,35	31,29	17,08	5,31	18,62
1,00	13,59	8,54	12,08	10,78	26,57	16,69	-	17,69
1,12	13,34	11,11	16,43	13,89	34,46	17,50	7,81	18,93
1,26	13,20	8,16	15,70	14,87	38,53	17,07	5,54	18,23
1,41	13,56	7,97	12,01	12,44	26,78	16,60	4,88	18,35
1,59	13,57	11,08	18,01	12,55	35,88	16,31	10,70	17,59
1,78	12,55	12,18	19,23	20,15	42,62	15,48	9,26	17,40
2,00	12,39	9,31	17,96	17,63	40,02	15,73	6,81	17,55
2,24	12,92	8,13	18,10	17,00	-	16,61	5,73	18,24
2,52	13,40	7,76	12,71	16,45	37,10	18,34	5,09	18,53
2,83	13,61	7,72	17,82	16,07	31,02	17,15	4,49	18,36
3,17	14,13	8,55	16,47	15,53	27,85	16,97	5,37	17,35
3,56	14,67	9,68	23,90	17,15	37,98	13,25	-	16,24
4,00	14,73	21,06	26,29	35,63	-	18,78	-	21,29
4,49	18,35	16,22	31,18	28,32	62,02	24,47	13,15	28,77
5,04	16,48	15,49	35,68	27,54	40,43	20,14	16,68	27,05
5,66	13,07	13,75	30,78	24,94	51,08	15,35	12,02	19,32
6,35	10,64	12,97	41,65	29,90	-	16,61	10,91	17,75
7,13	9,46	11,58	18,03	16,15	35,00	11,28	13,13	12,28
8,00	7,28	7,22	8,57	10,97	30,75	12,15	6,16	10,55
8,98	7,70	6,88	6,48	9,03	37,97	10,93	4,14	11,16
10,08	7,03	4,88	9,64	10,49	57,35	9,41	2,09	10,63
11,31	7,56	3,77	36,34	27,82	-	8,58	3,45	8,84
12,70	4,74	6,59	9,32	3,07	49,60	6,18	4,59	6,36
14,25	5,05	4,74	4,90	1,78	22,37	6,48	3,08	6,82
16,00	5,00	4,61	9,42	3,80	14,56	6,12	2,07	7,09
17,96	4,90	6,42	25,93	13,65	31,10	10,79	2,34	6,72
20,16	5,87	3,49	23,69	18,01	13,69	7,36	2,18	7,50
22,63	5,46	2,27	14,90	14,80	19,24	7,02	0,91	7,56

**Величины перекоса (мм) верха стенда относительно его низа**

(9-1)

Таблица 2.18

Частота, Гц	т.2-т.1	т.7-т.6	т.8-т.6
0,50	0,09	0,06	0,11
0,71	0,22	0,26	0,59
0,79	0,34	0,38	0,57
0,89	0,59	0,66	0,79
1,00	0,94	0,96	1,64
1,12	1,60	1,57	3,73
1,26	2,61	2,46	8,86
1,41	4,44	3,41	14,32
1,59	8,35	6,73	19,48
1,78	8,53	7,73	24,13
2,00	6,98	6,24	25,72
2,24	4,48	4,15	23,21
2,52	3,14	3,09	17,43
2,83	3,50	3,61	14,36
3,17	3,53	3,84	12,33
3,56	4,03	3,65	9,16
4,00	5,43	4,71	7,47
4,49	10,87	37,09	17,25
5,04	8,63	6,58	4,41
5,66	7,77	32,26	4,51
6,35	5,35	4,54	3,05
7,13	3,75	3,17	2,53
8,00	2,31	1,94	2,05
8,98	1,37	1,09	1,60
10,08	1,01	0,74	1,23
11,31	0,41	0,29	1,08
12,70	0,86	0,67	0,67
14,25	0,56	0,44	0,58
16,00	0,48	0,34	0,55
17,96	0,34	0,26	0,45
20,16	0,28	0,19	0,35
22,63	0,20	3,89	3,90

**9-2**

Таблица 2.19

Частота, Гц	т.2-т.1	т.7-т.6	т.8-т.6
0,50	0,14	0,30	0,27
0,71	4,10	3,01	8,67
0,79	5,25	4,02	7,33
0,89	4,29	4,03	5,75
1,00	4,57	4,26	6,03
1,12	6,19	6,23	7,46
1,26	3,97	5,69	9,24
1,41	3,74	5,44	13,78
1,59	7,51	8,30	18,96
1,78	8,71	9,93	23,93
2,00	7,53	14,52	21,26
2,24	5,00	-	-
2,52	4,21	10,28	15,41
2,83	4,03	8,48	16,08
3,17	4,58	8,96	16,82
3,56	6,30	10,84	15,80
4,00	13,92	-	-
4,49	13,53	-	-
5,04	10,51	-	8,27
5,66	9,83	-	8,98
6,35	7,25	-	6,17
7,13	5,96	5,24	5,53
8,00	3,96	3,63	4,38
8,98	2,65	2,44	3,25
10,08	1,86	1,79	2,77
11,31	1,12	1,20	2,22
12,70	1,45	1,40	1,45
14,25	0,97	0,99	1,19
16,00	0,81	0,78	1,03
17,96	0,61	0,57	0,76
20,16	0,42	0,40	0,67
22,63	0,31	0,31	0,57

**9-3**

Таблица 2.20

Частота, Гц	т.2-т.1	т.7-т.6	т.8-т.6
0,50	0,45	0,54	1,04
0,71	4,08	3,27	7,97
0,79	5,60	5,03	6,32
0,89	4,45	4,14	6,16
1,00	4,76	-	5,82
1,12	6,14	8,50	6,77
1,26	3,94	3,81	9,38
1,41	3,76	3,49	13,66
1,59	6,61	11,24	19,35
1,78	8,35	7,00	24,42
2,00	7,04	6,48	25,30
2,24	4,66	4,17	22,26
2,52	3,82	3,24	18,64
2,83	3,76	3,38	16,86
3,17	4,35	4,26	16,57
3,56	6,36	11,04	15,07
4,00	13,74	-	12,98
4,49	13,01	10,63	12,67
5,04	10,56	9,60	11,64
5,66	12,84	7,30	11,73
6,35	8,06	7,37	8,16
7,13	6,70	6,70	7,14
8,00	4,74	4,59	5,54
8,98	3,22	2,98	4,18
10,08	2,25	2,18	3,58
11,31	1,38	1,14	2,86
12,70	1,65	1,53	1,84
14,25	1,16	1,19	1,59
16,00	0,95	1,05	1,23
17,96	0,72	2,43	2,54
20,16	0,49	0,57	0,93
22,63	0,38	0,40	0,73

### Акселерограммы ускорений и перемещений при воздействиях интенсивностью 9 баллов

9-1

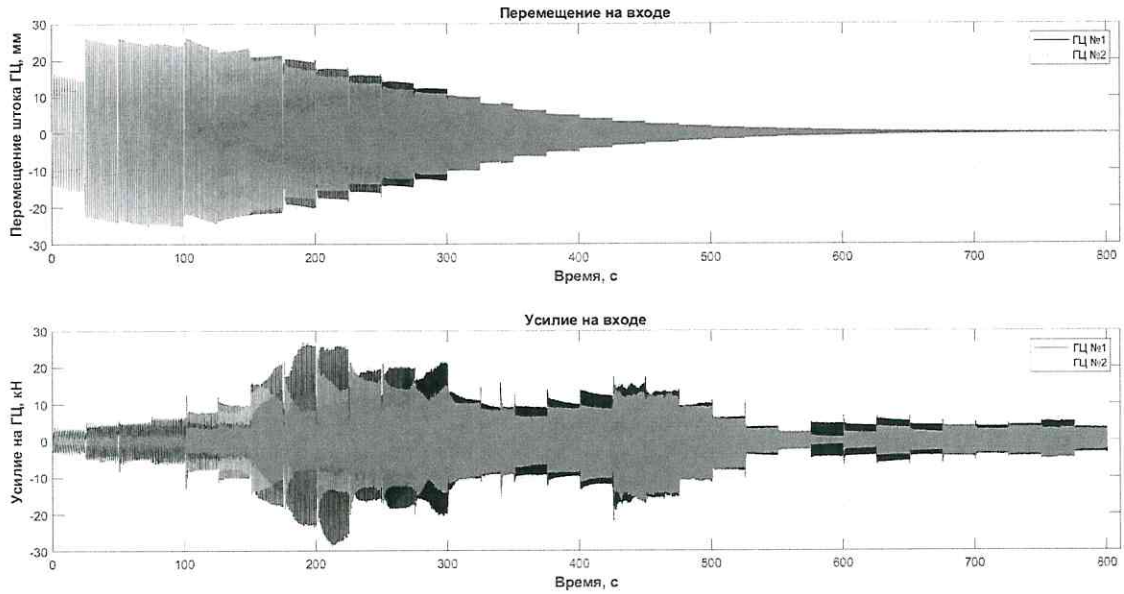


Рисунок 2.27 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

9-2

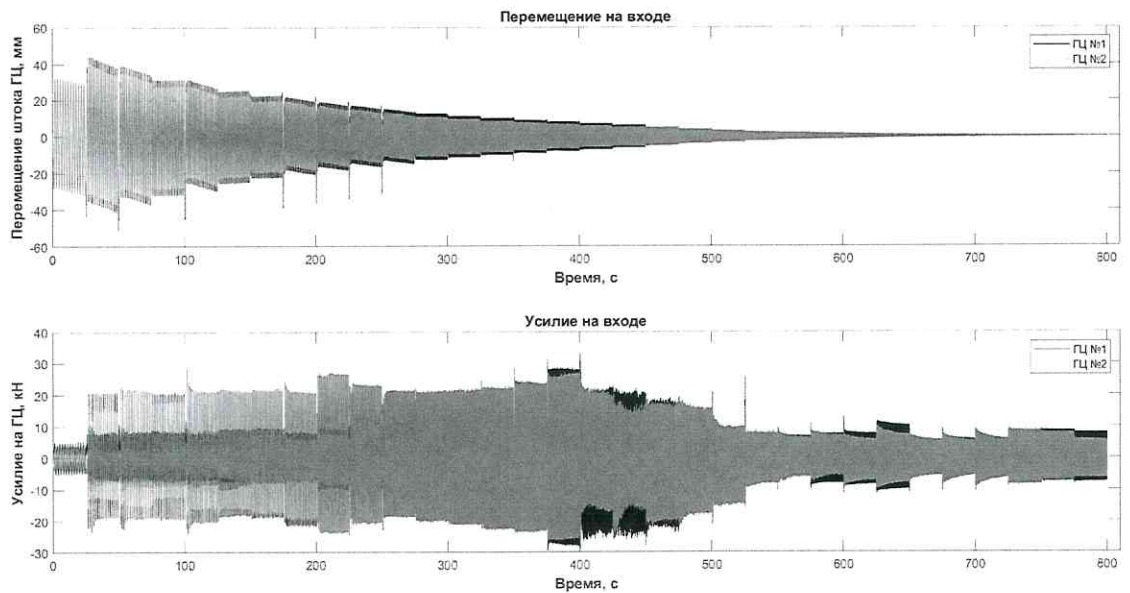


Рисунок 2.28 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

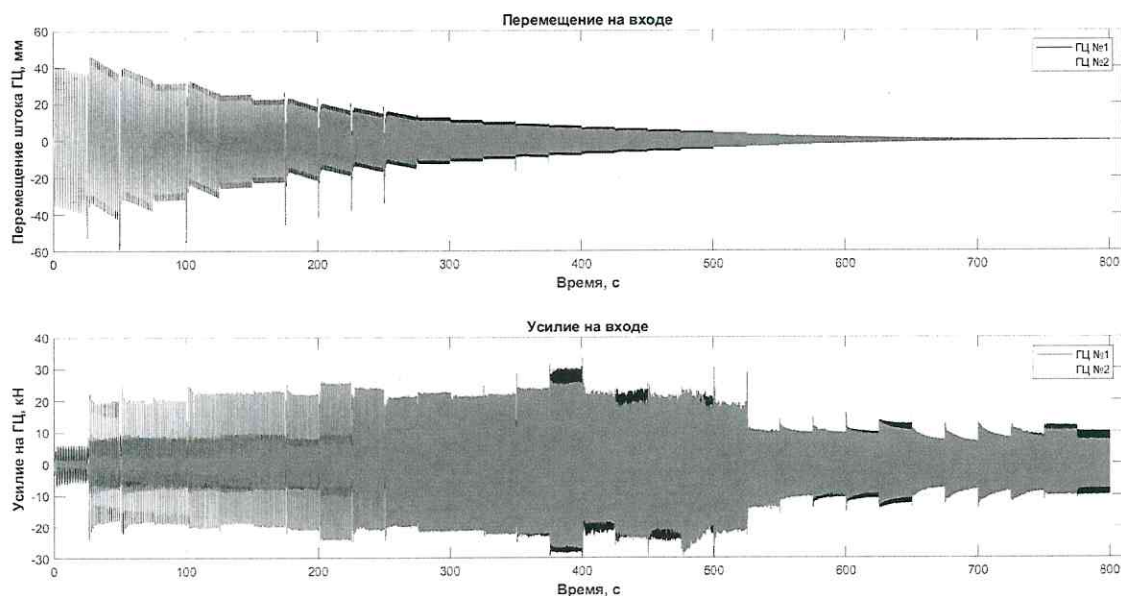


Рисунок 2.29 График акселерограмм виброперемещений и виброусилий в зоне контакта гидродомкратов со стендом при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

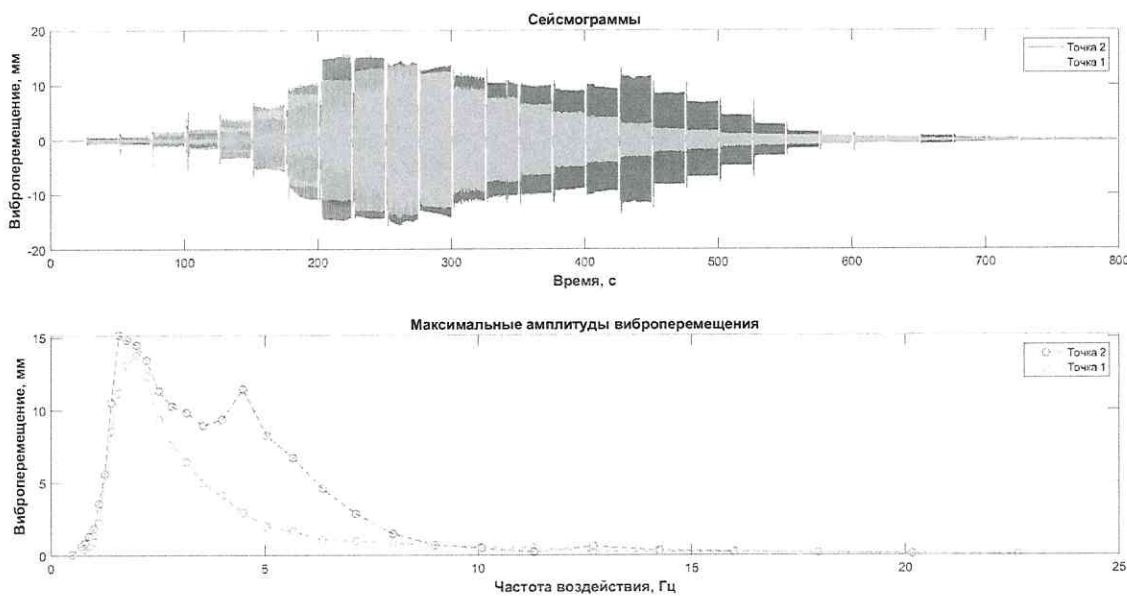


Рисунок 2.30 График сейсмограмм виброперемещений в т.1 и т.2 при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-2

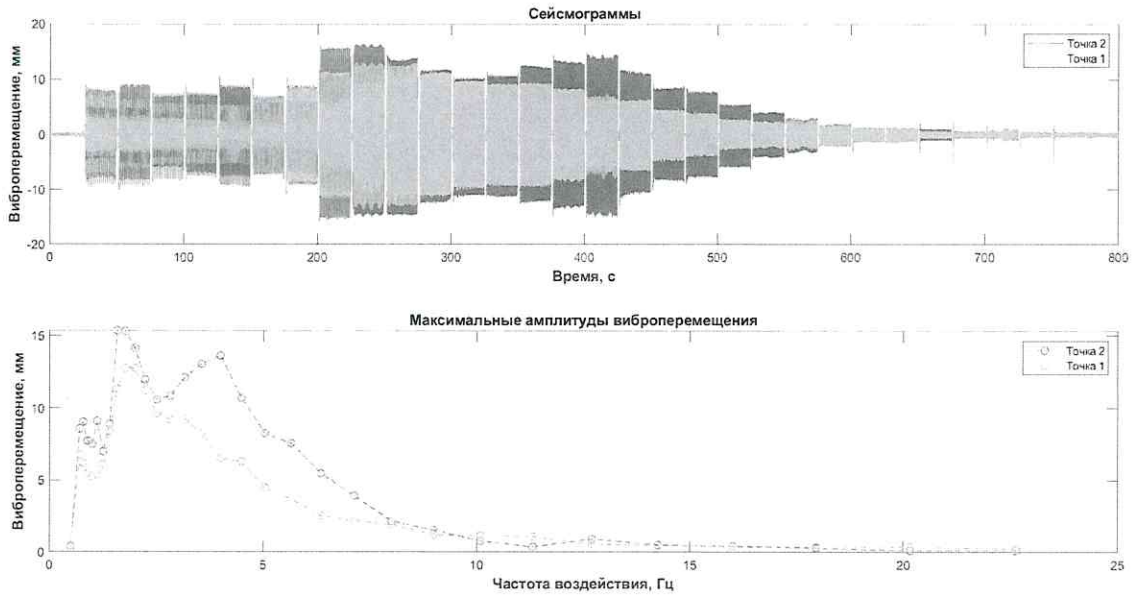


Рисунок 2.31 График сейсмограмм виброперемещений в т.1 и т.2 при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

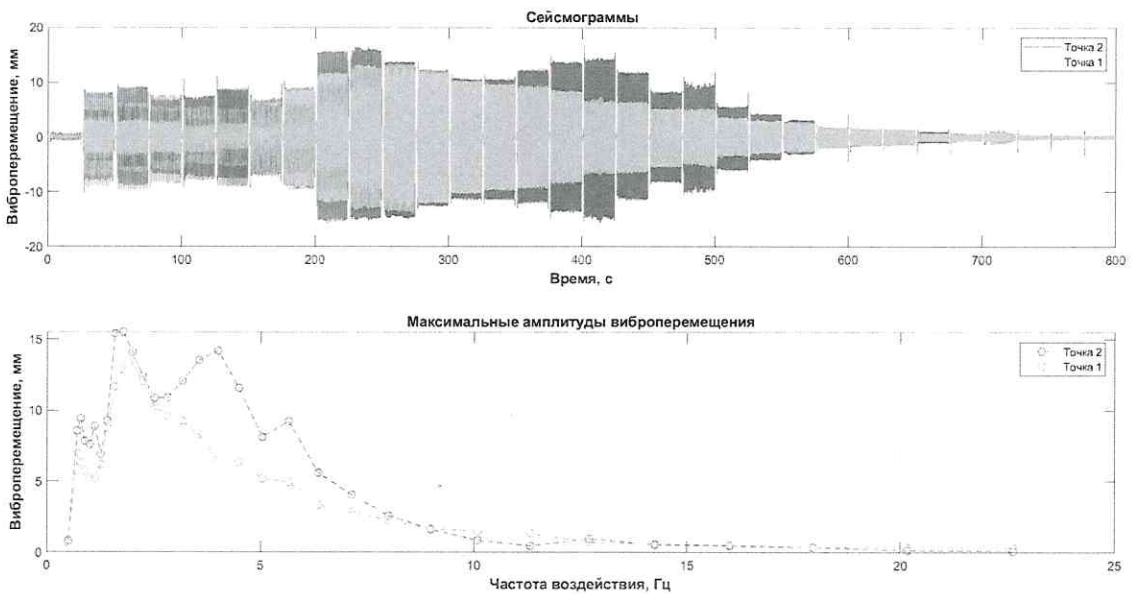


Рисунок 2.32 График сейсмограмм виброперемещений в т.1 и т.2 при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

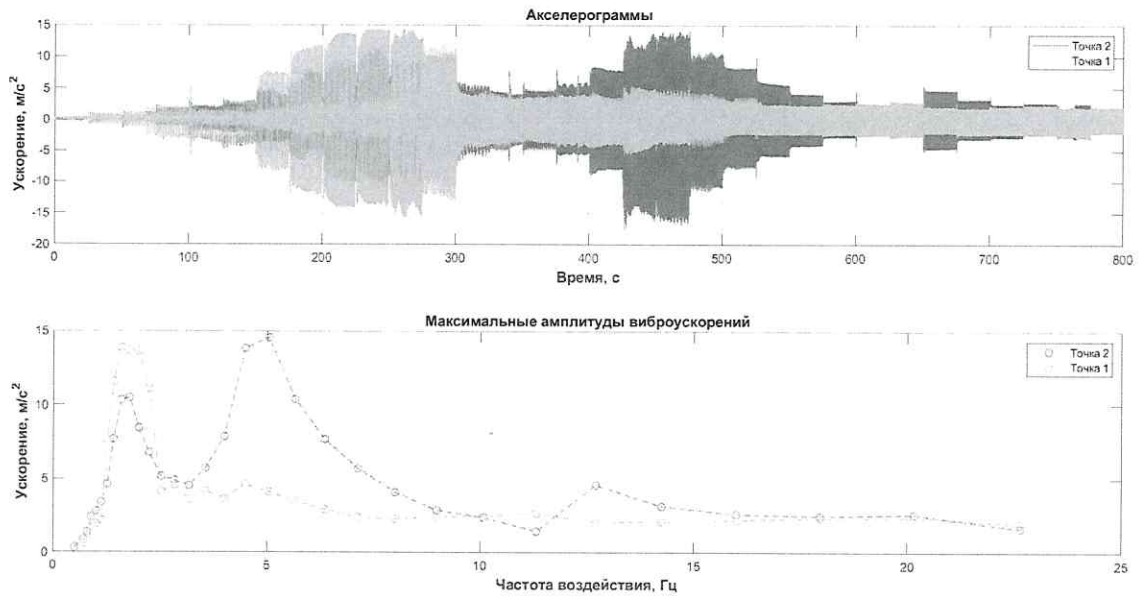


Рисунок 2.33 График сейсмограмм виброускорений в точках 1, 2 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-2

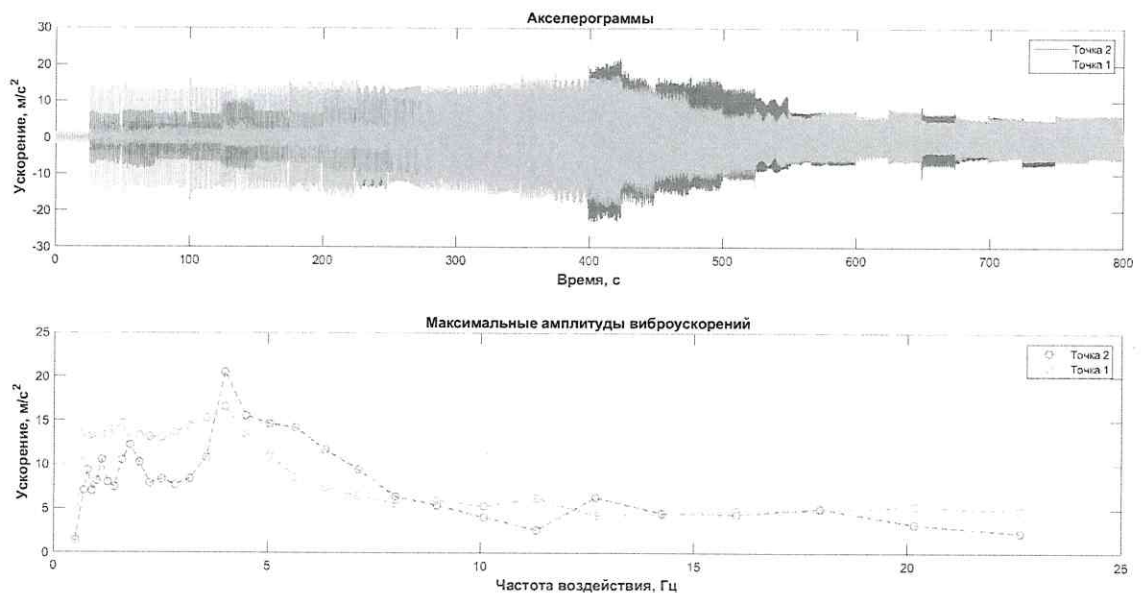


Рисунок 2.34 График сейсмограмм виброускорений в точках 1, 2 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

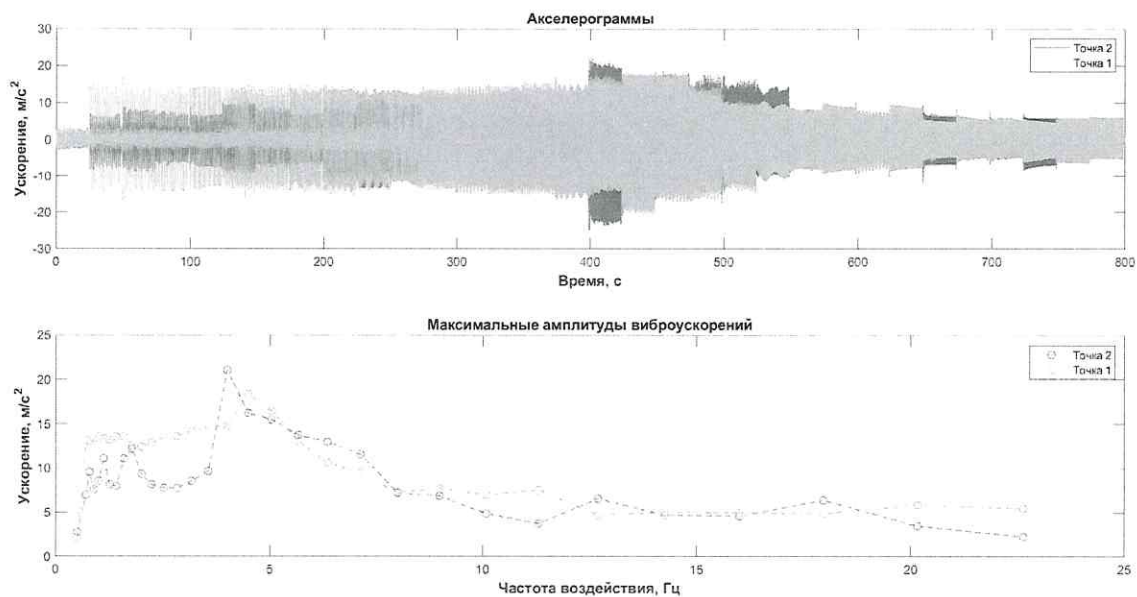


Рисунок 2.35 График сейсмограмм виброускорений в точках 1, 2 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

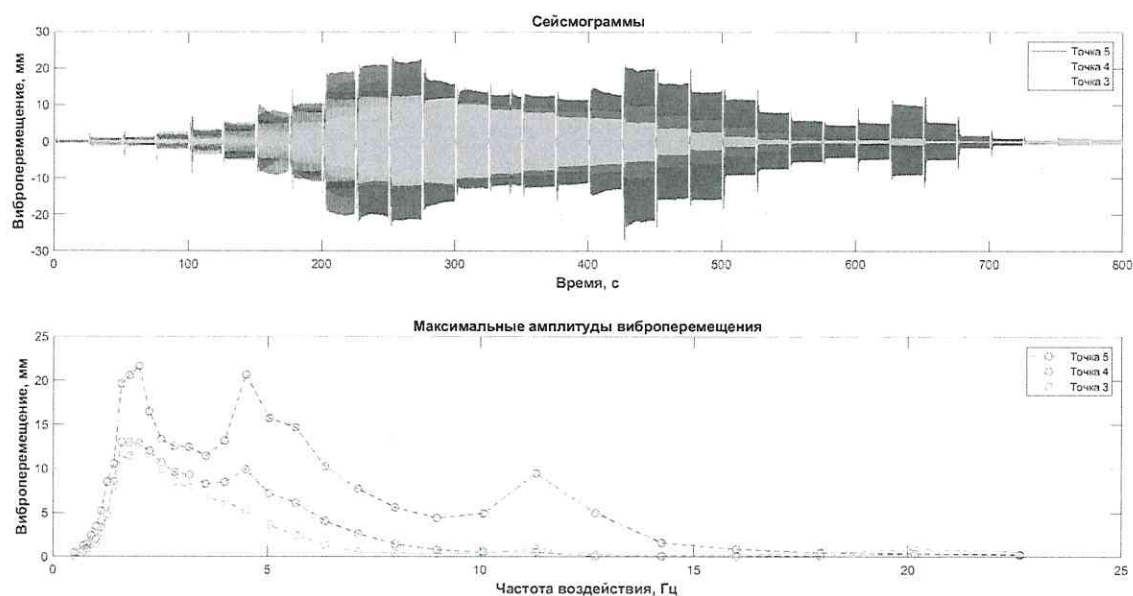


Рисунок 2.36 График сейсмограмм виброперемещения в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-2

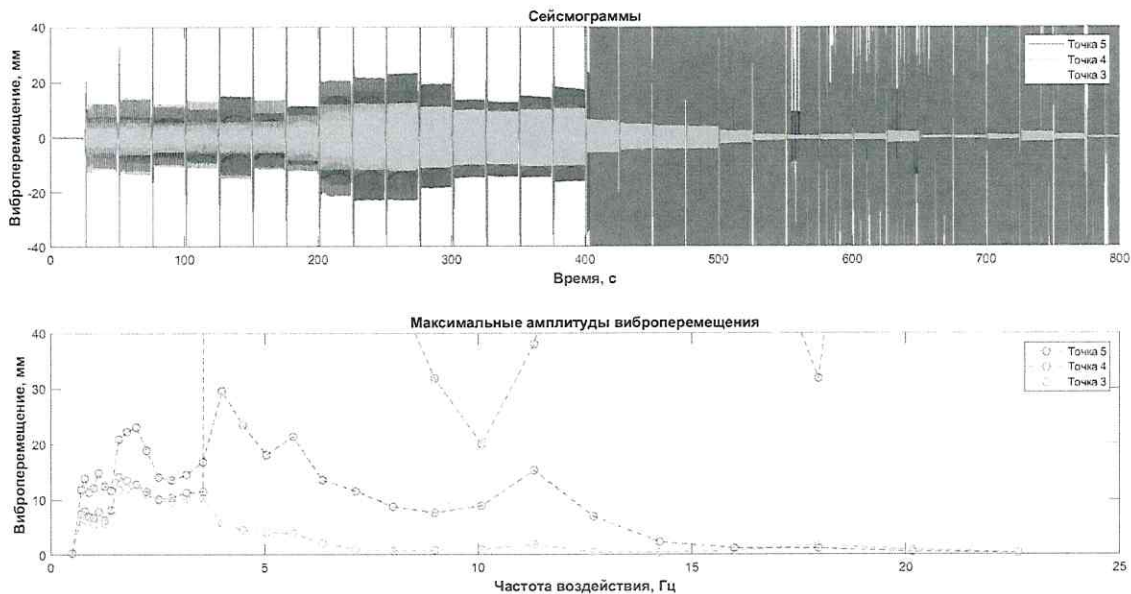


Рисунок 2.37 График сейсмограмм виброперемещения в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

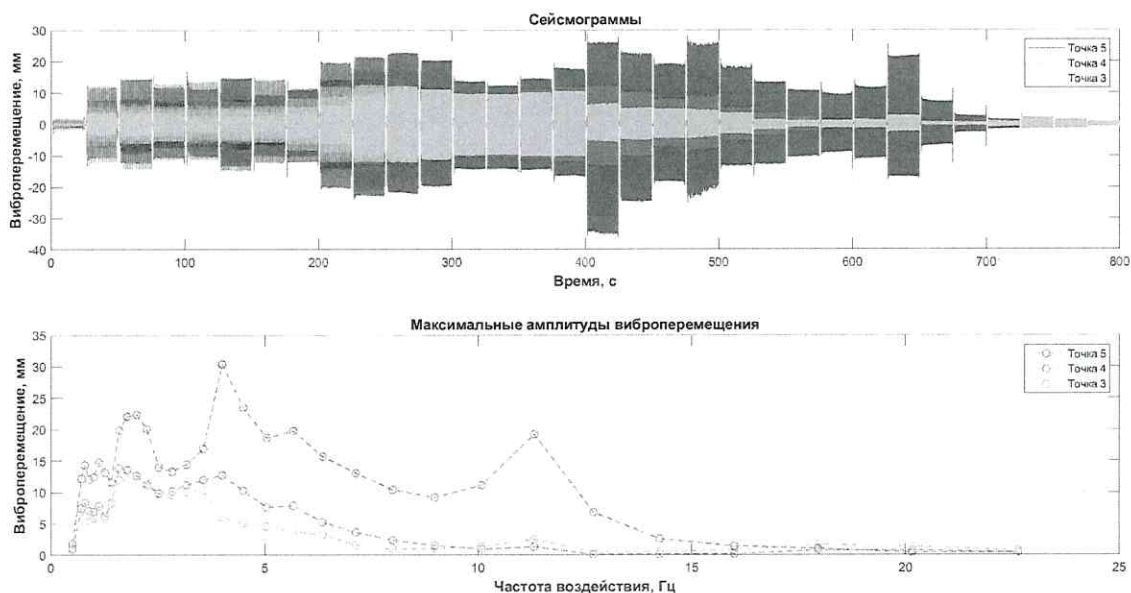


Рисунок 2.38 График сейсмограмм виброперемещения в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

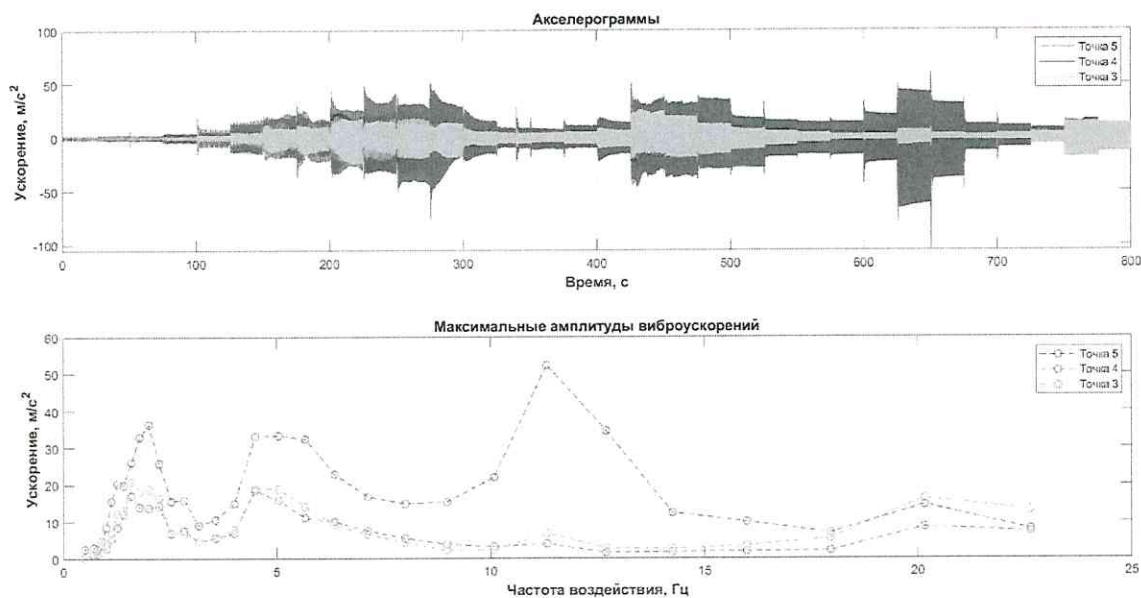


Рисунок 2.39 График сейсмограмм виброускорений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-2

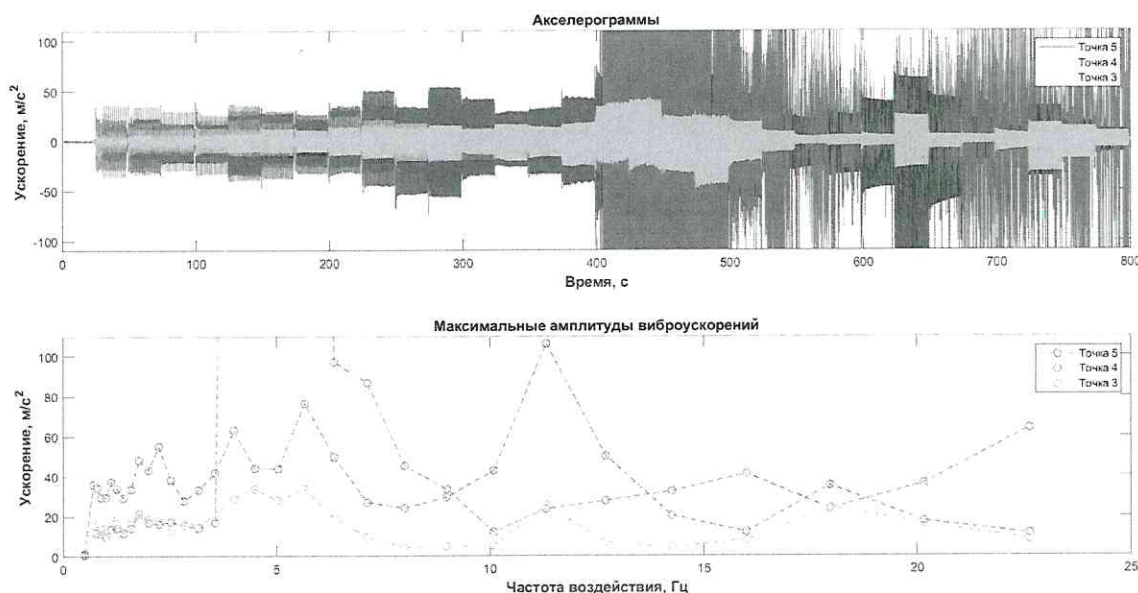


Рисунок 2.40 График сейсмограмм виброускорений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

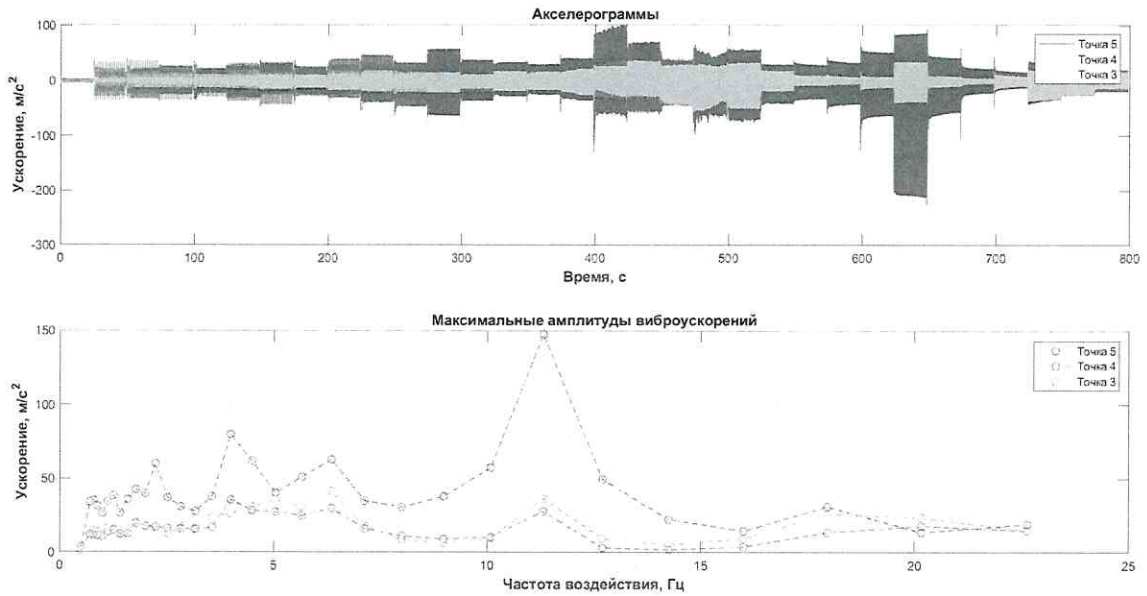


Рисунок 2.41 График сейсмограмм виброускорений в точках 3, 4 и 5 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

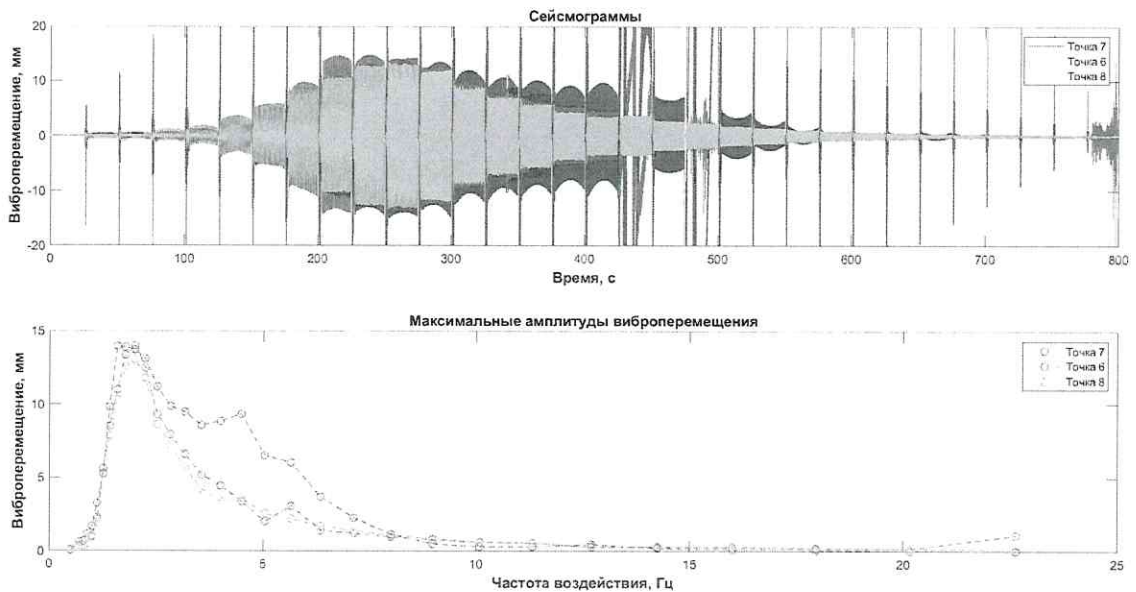


Рисунок 2.42 График сейсмограмм виброперемещений, в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-2

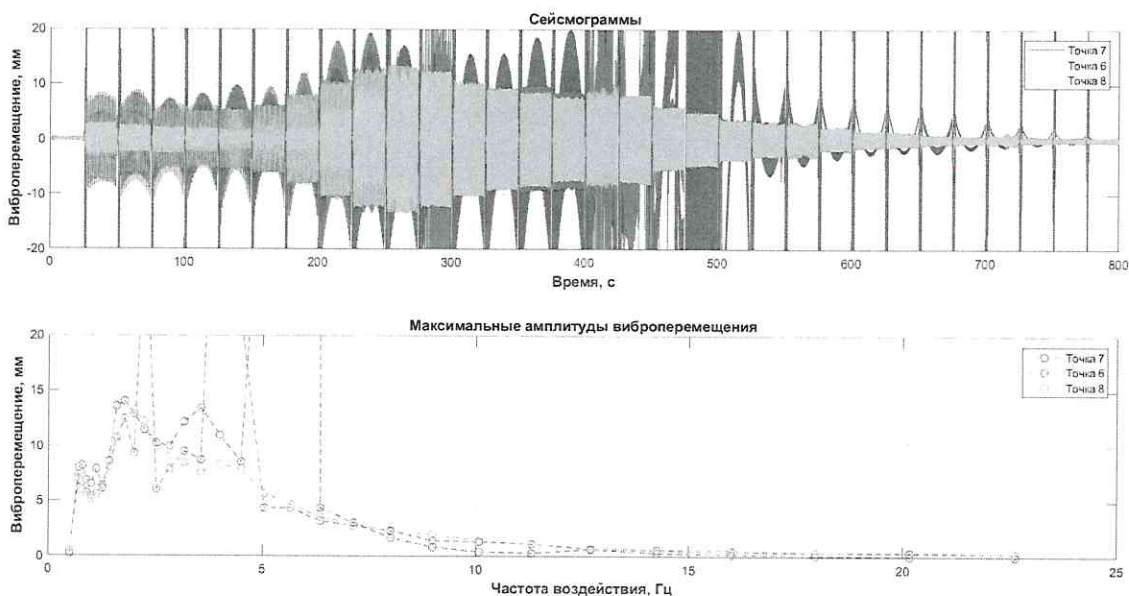


Рисунок 2.43 График сейсмограмм виброперемещений, в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-3

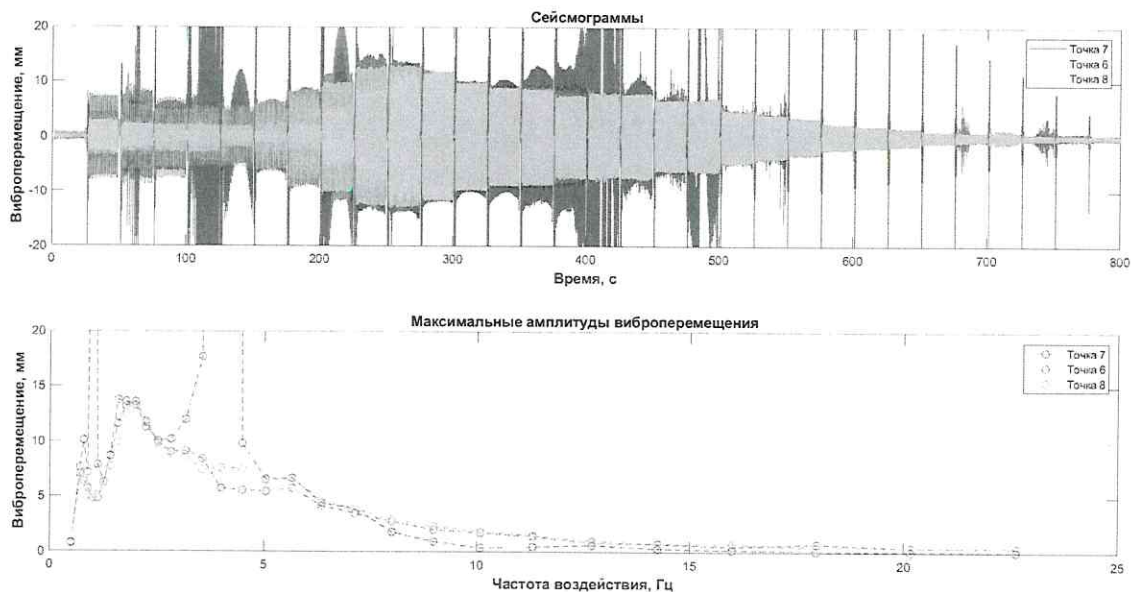


Рисунок 2.44 График сейсмограмм виброперемещений, в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

### 9-1

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		68

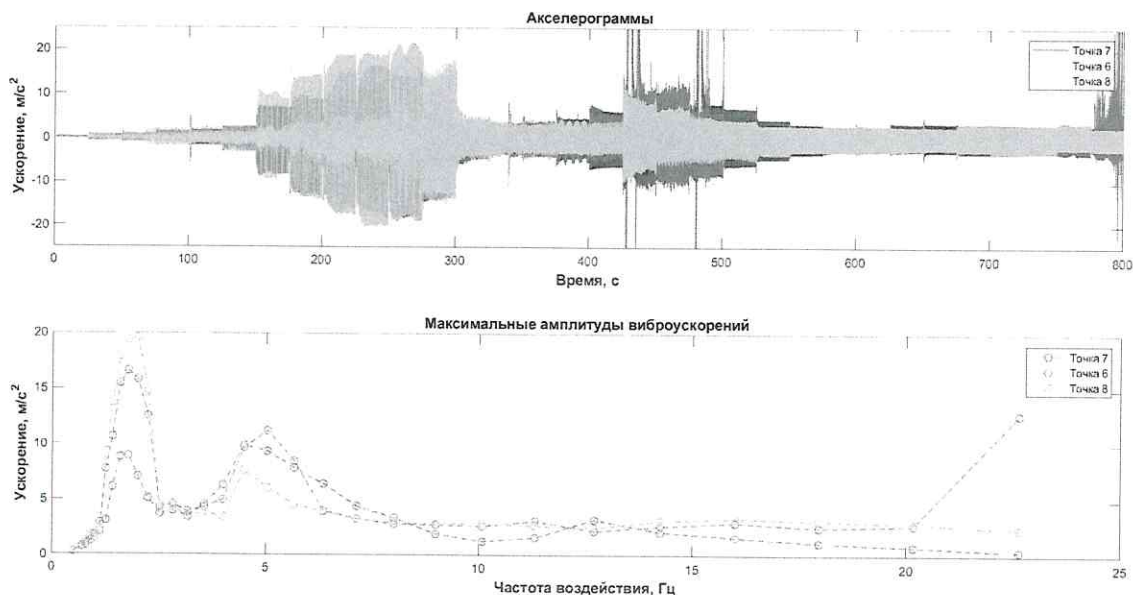


Рисунок 2.45 График сейсмограмм виброускорений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

9-2

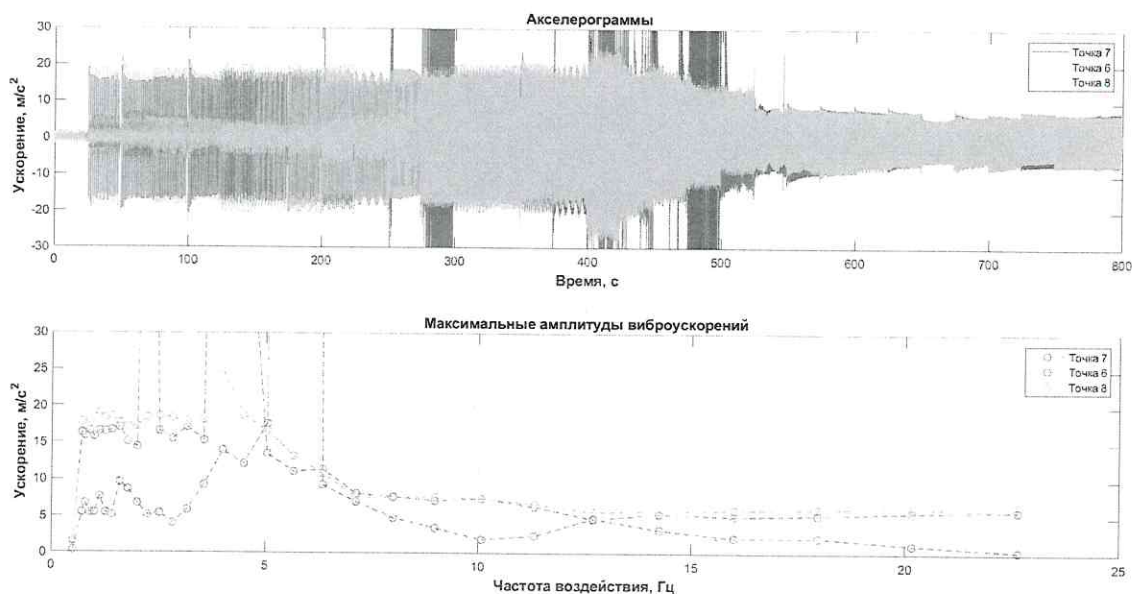


Рисунок 2.46 График сейсмограмм виброускорений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.

9-3

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	Докум.	Подп.	Дата		69

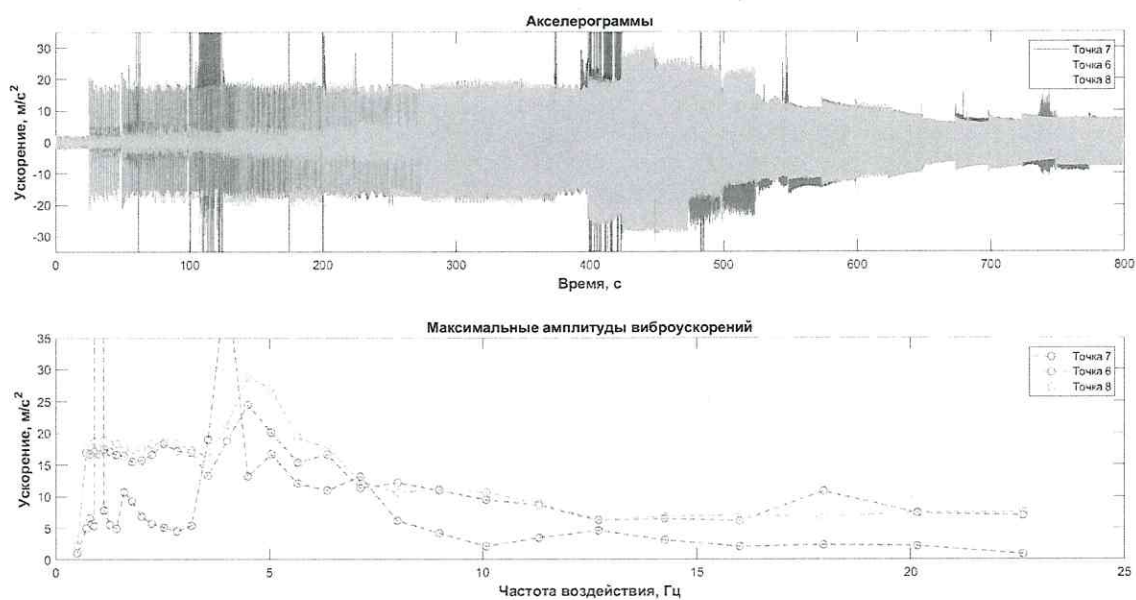


Рисунок 2.47 График сейсмограмм виброускорений в точках 6, 7 и 8 (рисунок 3.1) при изменении частоты от 0,5 до 22,63 Гц.



## Заключение

Анализ результатов экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости ограждающих конструкций в виде сэндвич-панелей марки МП ТСП с типом замка Z-LOCK, длиной панелей 6,0 м и использовании самонарезающих болтов «SmartBolt» при горизонтальном и вертикальном их расположении относительно элементов каркаса стенда, а также с применением дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z позволяет сделать следующие выводы.

1. Экспериментальные исследования выполнены в соответствии с откорректированным Техническим заданием на основе проведения динамических испытаний ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелей длиной 6,0 м и дополнительной облицовки в виде фасадных кассет PUZZLETON Z (см. Раздел 1 настоящего отчета). Образцы были смонтированы и испытаны на специальном стенде в Лаборатории натуральных испытаний НИИ ЭМ НИУ МГСУ.

2. Монтаж ограждающих конструкций в виде трёхслойных сэндвич-панелей марки «МП ТСП» на стенд осуществлялся Заказчиком непосредственно по проекту, разработанному специалистами фирмы ООО «Компания Металл Профиль», основанному на альбоме технических решений для трехслойных сэндвич-панелей ООО «КМП». Крепление к стенду вертикально и горизонтально расположенных панелей осуществлялось по торцам горизонтально и вертикально расположенных панелей соответственно по их ширине с помощью самонарезающих болтов «SmartBolt» к металлическим связевым опорным балкам, имитирующим каркас (рисунки 1.5, 1.7, 1.8 – поз. 3) из уголка 40×40×4 мм и фасонных элементов толщиной 4 мм. Кроме этого, для восприятия динамического воздействия от горизонтальной нагрузки была предусмотрена установка наклонных связевых элементов на консольных участках панелей (рисунок 1.5 – поз.2). По контуру горизонтально и вертикально расположенных панелей крепились обвязочная балка из уголка 40×40×4 мм. Все опорные (поз.3) и связевые (поз.2) элементы крепились с помощью сварки к обвязочному контуру (поз.1) - см. рисунки 1.5-1.8. Данный конструктив позволил максимально точно воспроизвести стандартные решения при строительстве зданий из трехслойных сэндвич-панелей МП ТСП и их крепление к каркасу в реальных условиях и соблюсти наиболее часто применяемые длины пролетов.

3. Вертикально расположенные сэндвич-панели в уровне их середины (H=3,0 м) крепились к продольным балкам стенда с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt» с шагом по ширине панели 100-250-250-250-250-100 мм. **Рекомендуется:** при монтаже конструкций сэндвич-панелей на строительном объекте осуществлять их крепление к продольным (вертикальным) балкам каркаса здания с помощью самонарезающих винтов марки «SmartBolt», расположив их в средней части по длине сэндвич-панелей.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		71

Для проверки надежности горизонтально расположенных панелей к конструкциям каркаса (испытательному стенду) их крепление к обвязочным балкам осуществлялось только с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt» по торцам панелей и опорных элементов согласно [2], [3], [4], [5].

4. Динамические воздействия на виброплатформу и, соответственно, испытательный стенд осуществлялись с помощью динамических гидроцилиндров марки MTS. Два динамических гидроцилиндра обеспечивали максимальное горизонтальное усилие на испытательный стенд с образцами трехслойных сэндвич-панелей до  $5,46 \text{ кН/м}^2$  (см. Раздел 2 настоящего отчета). Динамические испытания исследуемых образцов трехслойных сэндвич-панелей выполнялись с помощью гидродомкратов, обеспечивающих динамические воздействия интенсивностью 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64. Частотный спектр воздействий изменялся в интервале от 0,5 до 22,63 Гц. При этом амплитуда колебаний в уровне низа стенда в зоне приложения усилий от гидродомкратов изменялась от 6,14 мм (0,89 Гц – 7 баллов) до 40,07 мм (0,71 Гц – 9-2 баллов – см. стр.28 настоящего отчета)). Амплитудно-частотный спектр динамического воздействия задавался по ГОСТ 30546.1-98 (п. 4.2, таблица 1) [38].

5. Величины максимальных ускорений в уровне низа и верха стенда и сэндвич-панелей в зависимости от ускорений на гидроцилиндре с учетом требований ГОСТ 30546.1-98 [38] (рисунок 1, таблица 1) изменялись в процессе динамических воздействий следующим образом:

**при 7 баллах**

- металлический стенд – от  $0,99 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $4,69 \text{ м/с}^2$  (верх);
- сэндвич-панели – от  $2,19 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $3,80 \text{ м/с}^2$  (верх);

**при 8 баллах**

- металлический стенд – от  $1,7 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $7,63 \text{ м/с}^2$  (верх);
- сэндвич-панели – от  $4,73 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $6,74 \text{ м/с}^2$  (верх);

**при 9 баллах**

**9-1**

- металлический стенд – от  $13,85 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $14,56 \text{ м/с}^2$  (верх);
- сэндвич-панели – от  $16,56 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $8,96 \text{ м/с}^2$  (верх);

**9-2**

- металлический стенд – от  $16,58 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $20,53 \text{ м/с}^2$  (верх);
- сэндвич-панели – от  $17,09 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $14,00 \text{ м/с}^2$  (верх);

**9-3**

- металлический стенд – от  $18,35 \text{ м/с}^2$  (низ) до  $21,06 \text{ м/с}^2$  (верх);

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		72



- сэндвич-панели – от 20,14 м/с<sup>2</sup> (низ) до 16,68 м/с<sup>2</sup> (верх);

6. Амплитудно-частотный спектр динамического воздействия задавался по ГОСТ 30546.1-98 (п.4.2, таблица 1) для землетрясений интенсивностью 7 – 9 баллов. **Этажность зданий с использованием ограждающих конструкций из трехслойных сэндвич-панелями марки «МП ТСП» фирмы ООО «Компания Металл Профиль» с применением дополнительной облицовки в виде изделий из тонколистового металла, возводимых в сейсмоопасных регионах, должна в зависимости от их конструктивного решения отвечать требованиям таблицы 6.1 СП 14.13330.2018 [1].**

7. **Принятая по предложению Заказчика в экспериментальных исследованиях конструкция крепления горизонтально и вертикально расположенных стеновых трехслойных сэндвич-панелей марки МП ТСП к металлическим элементам стенда с помощью системы опорных и связевых балок, а также связевых элементов (имитирующих каркас здания) и самонарезающих винтов марки «SmartBolt» и применением дополнительной облицовки в виде изделий из тонколистового металла, а именно фасадных кассет PUZZLETON Z, выдержала испытания на сейсмические воздействия интенсивность 7-9 баллов по шкале MSK-64, эта система крепления соответствует техническим решениям, принятым в разработанных специалистами фирмы ООО «Компания Металл Профиль» Альбоме технических решений [4-5] и в Техническом регламенте [2-3].**

Результаты динамических испытаний использованных в эксперименте систем креплений панелей к каркасу здания показали, что в случае крепления верха вертикальных панелей к стенду (сооружению) с помощью опорных балок по схемам на рисунках 1.9, 2.2 (вид по 1) имеет место снижение изгибной жесткости консольного участка панелей (ускорение верха панелей - т.5 –рисунок 2.2 существенно выше ускорений в средней части панелей - т.3 и т.4 рисунок 2.2).

В связи с указанным, несмотря на то, что сейсмостойкость испытанных ограждающих конструкций в виде трехслойных сэндвич-панелей марки МП ТСП обеспечена при балльности площадки строительства 7 – 9 баллов по шкале MSK-64, в случае применения на реальных объектах использованной в эксперименте конструкции крепления панелей к сооружению требуется либо увеличение сечения обвязочных и опорных балок, либо крепление горизонтальных и вертикальных панелей осуществлять непосредственно к несущим конструкциям сооружений с шагом, соответствующим шагу крепления панелей в эксперименте.

8. По результатам динамических испытаний ограждающих конструкций в виде трехслойных сэндвич-панелей марки МП ТСП установлены спектральные значения коэффициентов динамичности  $\beta_{loc}$ , соответствующие конструктивным особенностям каждого испытанного фрагмента.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		73



В Приложении 4 приведены таблицы значений и графики огибающих коэффициентов динамичности ( $\beta_{loc}$ ) для исследованных фрагментов панелей марки МП ТСП фирмы ООО «Компания Металл Профиль». Результаты выполненных динамических испытаний распространяются только на те конструкции и способ их крепления, которые были реализованы при проведении настоящих испытаний.

9. При проектировании ограждающих конструкций в виде трёхслойных сэндвич-панелей марки МП ТСП фирмы ООО «Компания Металл Профиль» **в условиях, отличных от режимов испытаний (например, в случаях превышения значений расчётных ускорений, полученных при испытаниях (см. выше) и, в особенности, при проектировании зданий сложной геометрической структуры, т.е. не соответствующих требованиям п. 5.3 СП 14.13330.2018 [1]),** следует выполнить расчетную проверку сейсмостойкости МП ТСП (проверку несущей способности при действии местных сейсмических нагрузок) по методике раздела 6.20 СП 14.13330 [1]. При этом в формулах п. 6.20.7 СП 14.13330 следует использовать в качестве коэффициента динамичности фасадной системы с сэндвич-панелями, учитывающего возможное усиление колебаний ( $a_p$ ), величины коэффициента динамичности ( $\beta_{loc}$ ), определённые в рамках настоящего исследования. Величины переносных ускорений на отметках установки панелей следует уточнять по результатам динамических расчётов конструкции здания. Допускается величины переносных ускорений на отметках установки панелей назначать в соответствии с п. 4.8 ГОСТ 30546.1-98.

10. При проведении испытаний использовались самонарезающие винты марки «SmartBolt». Монтаж анкеров, их количество и расположение на панелях следует принимать в соответствии с требованиями нормативных и рекомендательных документов [2, 4, 42].

11. **Ограждающие конструкции из трёхслойных сэндвич-панелей марки «МП ТСП» фирмы ООО «Компания Металл Профиль» и самонарезающих винтов марки «SmartBolt» с применением дополнительной облицовки в виде изделий из тонколистовой стали, 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, а также на основании альбомов технических решений ООО «Компания Металл Профиль» и соответствия расчётных ускорений в уровне этажей проектируемого здания значениям, полученным при испытаниях (см. п. 5 настоящего Заключение).**

12. Допускается применение трёхслойных сэндвич-панелей марки «МП ТСП» фирмы ООО «Компания Металл Профиль» и самонарезающих винтов марки «SmartBolt» с применением дополнительной облицовки в виде изделий из тонколистовой стали или без нее (по проекту) в сейсмических районах при балльности площадки строительства 7-9 баллов по

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		74



**шкале MSK-64 при условии соблюдения требований, касающихся долговечности, огнестойкости и коррозионной стойкости сэндвич-панелей.**

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		75



## Список использованных источников

1. СП 14.13330.2018 (с изменением №1). Строительство в сейсмических районах.
2. Технический каталог «Трехслойные сэндвич-панели», 2023 г.
3. Технический каталог «Airpanel®», 2022
4. Альбом технических решений «Трехслойные сэндвич-панели», ООО «Компания Металл Профиль», 2021.
5. Альбом технических решений «Airpanel®».
6. ГОСТ 32603-2021. Панели трехслойные с металлическими облицовками и сердечником из минеральной ваты. Технические условия.
7. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.0301-87.
8. СП 362.1325800.2017. Ограждающие конструкции из трехслойных панелей. Правила проектирования.
9. European Recommendations for Sandwich Panels (CIB 2000), Part 1: Design. Rotterdam, 2000. - 168 p.
10. Self -supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications: EN 14509:2006.BSI.2006. P.147 – (British Standart).
11. Davis J.M. Light weight Sandwich Construction. Blackwell Science. UK, 2001. - 370 p.
12. Davis J.M. ECCS/CIB Joint Committee on sandwich Constructions: Recent European Recommendations on Design and Testing / Oxford, BS. 2010. – 11 p.
13. Прусаков А.П. Основные уравнения изгиба и устойчивости трехслойных пластин с легким наполнителем / ПММ: Т15, вып. 1, 1951 г. – с. 27-36.
14. Королев В.И. Симметричная форма потери устойчивости трехслойных пластин и оболочек / В.И. Королев // Весник МГУю – Сер. физ-мат. наук, % 5, 1956. – с. 52-55.
15. Рабинович А.Л. Устойчивость обшивки с наполнителем при сжатии / А.Л. Рабинович // Труды ЦАГИ, №595. - М.: Изд. бюро новой техники, 1946. – 38.
16. Штамм К. Многослойные конструкции / К. Штамм, Х. Витте; под ред. С.С. Кармилова. - М.: Стройиздат, 1983. – 300 с.
17. Reissner E. Finite deflections of sandwich plates / E. Reissner // J. Aeronaut. Sci, Vol. 15 (№ 7), 1948 – pp. 435-440.
18. Hoff N.J. Bending and Buckling of Rectangular Sandwich Plates / N.J. Hoff// J. NASA TN, 1950. – pp. 22-25.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		76



19. Hoff N.J. The Buckling of Sandwich Type Panels / N.J. Hoff, S.E. Mautner // J. Aeronaut. Sci., 1945, Vol. 12 (№ 3). – pp. 285-297.
20. Губенко А.Б. Строительные конструкции с применением пластмасс / А.Б. Губенко. М.: изд-во литературы по строительству, 1970. – 328 с.
21. Ильдияров Е.В. Несущая способность и деформативность кровельных сэндвич-панелей с минераловатным средним слоем на основе базальтового волокна: диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук по специальности 05.23.01 / Ильдияров Евгений Викторович. – Самара, 2009. – 178 с.
22. Olsson R. Engineering Method for Prediction of Impact Response and Damage in Sandwich Panels. - Journal of Sandwich Structures and Materials, January 2002, Vol. 4. – p.p. 3-29.
23. Smakosz Ł. Evaluation of strength, deformability and failure mode of composite structural insulated panels. / Ł. Smakosz, J. Tejchman // Materials & Design. Volume 54, February 2014. – pp. 1068–1082.
24. ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.
25. ГОСТ 15.101-2021. Система разработки и постановки продукции на производство Порядок выполнения научно-исследовательских работ.
26. Петрова Е.А. Анализ характера деформирования и разрушения трехслойных стеновых панелей серии «Алютерм» /–Харьков: УкрГАЖТ, Вып.151 (2015). – С. 26-43.
27. Петрова Е.А. К определению разрушающих нагрузок для образцов сэндвич-панелей серии «Алютерм» / Петрова Е.А., Калмыков О.А., Лугченко Е.И – Харьков: ХНУБА, 2015. – Вып. 81. – С. 40-48.
28. Петрова Е.А. К оценке предельных состояний трехслойных сэндвич-панелей. / Петрова Е.А., Калмыков О.А. // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник – Харьков: ХНУГХ, №121 (2015). – С. 38-41.
29. Гребнев П.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей // Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук по спец. 05-23-01. Н. Новгород. 2016. 186 С.
30. Грановский А.В., Доттуев А.И., Краснощеков Г.Ю., Макаров Ю.Д. Технические решения при проектировании быстровозводимых зданий из сэндвич-панелей с утеплителем из пенополиизоцианурата (PIR) в зонах повышенной сейсмической опасности // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 3, 2013, с. 22-24.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		77



31. Грановский А.В., Доттуев А.И., Краснощеков Г.Ю., Огурцов М.В. Новые технические решения при проектировании быстровозводимых зданий из сэндвич-панелей в зонах повышенной сейсмической опасности // Стройметалл № 3 (28), 2012, с. 58-60.

32. Грановский А.В., Доттуев А.И., Краснощеков Г.Ю. Сейсмостойкость анкерного крепежа для крепления сэндвич-панелей к металлическому каркасу // Промышленное и гражданское строительство, № 3, 2012, с.46-48.

33. 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.

34. 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.

35. 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.

36. 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.

37. ГОСТ 30546.1-98. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости.

38. ГОСТ 30630.0.0-99. Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования (с Поправкой).

39. ГОСТ 30630.1.2-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий испытания на воздействие вибрации.

40. ГОСТ ИСО 5348-2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.

41. Пособие по проектированию каркасных промзданий для строительства в сейсмических районах (СНиП II-7-81), М., ЦНИИПромзданий. 1984, 292 С.

					Технический отчет по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости фасадных систем в виде сэндвич-панелей МП ТСП, закрепленных к металлическим конструкциям зданий с помощью самонарезающих винтов «SmartBolt»	Лист
Изм.	Лист	Летокум.	Подп.	Дата		78