



ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ИМЕНА В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИ строительство
научно-исследовательский центр

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко
доктор технических наук

И.И. Веляков

2018г.



ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме: «Экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости
конструкций навесной фасадной системы «Альп-Фасад» производства ООО
«Альтернатива» с рекомендациями по повышению эксплуатационной надежности
системы»

(по договору №127/24-05-18/ск от 12 февраля 2018 г.)

Заместитель руководителя ЦНИИСК

А.А. Бубис

Заведующий лабораторией №24,
к. т. н.

А.В. Грановский

Старший инженер

В.А. Ордиев

Москва 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. Введение	3
2. Задачи проводимых экспериментальных исследований.	5
3. Конструктивное решение фасадных систем «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ». ...	6
4. Программа и методика испытаний НФС «Альт-Фасад-05», «Альт- Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ».	34
5. Оборудование для испытаний НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад- А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ» на сейсмические нагрузки. Средства измерения и регистрации динамических характеристик НФС.	36
5.1. Оборудование для создания динамических нагрузок на НФС. ...	36
5.2. Средства измерения и регистрации динамических характеристик конструкций и воздействий на них.	37
5.3 Расчетный анализ экспериментального фрагмента НФС	41
6. Подготовка стенда и измерительного оборудования. Монтаж конструкций НФС.	45
7. Динамические испытания НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад- А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ».	47
7.1. Методика проведения испытаний.	47
7.2. Назначение параметров загрузки.	47
7.3. Условия проведения динамических испытаний	48
7.4. Параметры оценки работы НФС по результатам натурных испытаний	49
7.5. Результаты динамических испытаний НФС и их анализ	52
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выводы и рекомендации.	59
Список литературы	61
Приложение 1. Результаты измерения динамических характеристик конструкций НФС с использованием вычислительного комплекса МІС-036 (только в 1-ом экземпляре отчета)	
Приложение 2. Видеосъемка испытаний НФС на сейсмическое воздействие (только в 1-м экз. отчета)	
Приложение 3. Свидетельство	

1. Введение

Настоящий технический отчет составлен по результатам экспериментальных исследований сейсмостойкости навесных фасадных систем с воздушным зазором (далее НФС) типа «Альт-Фасад»:

- «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из натурального камня;
- «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами;
- «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой декоративными (дизайнерскими) плитками «под кирпич» из литьевого бетона и клинкерными плитками;
- «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из хризотилцемента.

Испытания фасадной системы проводились на специально разработанном в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко стенде, представляющем собой виброплатформу маятникового типа (рисунок 1.1).

Цель лабораторных испытаний - оценка эксплуатационной надежности и сейсмостойкости конструкции НФС «Альт-Фасад» с различными видами облицовок с целью использования их в качестве фасадных систем в сейсмических районах с балльностью 7÷9 баллов по шкале MSK-64 [5];

Отчет оформлен в соответствии с требованиями нормативных документов, технических регламентов и стандартов. При описании методики и результатов экспериментальных исследований сейсмостойкости НФС «Альт-Фасад» использовались термины и определения, содержащиеся в действующих стандартах и нормативах [1÷4].

Для проведения испытаний Заказчиком были доставлены в Центр исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко экспериментальные образцы элементов несущих подконструкций НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ», с элементами облицовки в виде облицовочных плит из натурального камня, керамогранита, хризотилцемента и декоративных плиток «под кирпич», а также клинкерные плитки. Монтаж конструкций и облицовки НФС на экспериментальный стенд был выполнен специалистами Заказчика.



Рисунок 1.1 Общий вид виброплатформы

2. Задачи проводимых экспериментальных исследований

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» новая строительная продукция, разрабатываемая и передаваемая в массовое (серийное) производство, подлежит обязательной оценке и подтверждению на соответствие требованиям безопасности.

Важным этапом таких исследований применительно к вопросам оценки сейсмической безопасности 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 физико-механические, эксплуатационные и другие характеристики исследуемой конструкции, включая динамические показатели испытываемой системы, а также являются основанием для оценки возможности расширения области применения исследуемой системы, с учетом требований безопасности, эксплуатационной надежности и долговечности зданий, возводимых в сейсмических районах.

Оценка возможности применения указанной выше НФС в сейсмических районах России на строительных площадках с балльностью 7÷9 баллов включает в себя следующие этапы:

- комплексные экспериментальные исследования работы, указанных выше НФС «Альт-Фасад» с их вибродиагностикой;
- внесение в Стандарт предприятия или в Технические условия [8] и согласование с ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство» изменений (если это потребуется по результатам испытаний) по конструктивному решению НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ» при использовании их в сейсмических районах РФ.

3. Конструктивное решение навесных фасадных систем «Альт-Фасад»

«Альт-

Для проведения динамических испытаний Заказчиком были доставлены конструктивные элементы НФС «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из

натурального камня, «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами, «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой декоративными плитками «под кирпич» из литьевого бетона и клинкерными плитками, «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из хризотилцемента (рисунки 3.1, 3.2).

Несущие конструкции выше указанных подсистем представляют собой каркас из оцинкованной стали («Альт-Фасад-05») и из алюминия («Альт-Фасад-А/ФБ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/КГ»), с закрепленными на них облицовочными элементами.

При монтаже подконструкции НФС «Альт-Фасад-05» устанавливались кронштейны марки КРУ-2р длиной 200мм с вертикальной ориентацией несущей полки и с шагом 600 мм по вертикали и горизонтали (рисунок 3.3). Крепление кронштейнов производилось через паронитовые прокладки. Вертикальные направляющие профили марки ТО крепились к каждому кронштейну двумя заклепками А2/А2 Ø 4х10 мм из нержавеющей стали (рисунок 3.4). Плиты из натурального камня крепились к элементам несущей подконструкции НФС при помощи стартовых, рядовых и финишных шин марки НК. Шины крепились к вертикальным профилям марки ТО при помощи заклепок А2/А2 Ø 4х10 мм из нержавеющей стали (рисунок 3.5). Далее на лицевую сторону вертикальных профилей марки ТО устанавливали шины марки НК в проектное положение в уровне низа НФС стартовую шину марки НК и закрепляли ее к направляющим заклепками А2/А2 Ø4х10мм (рисунок 3.6).

Установка плит из натурального камня размерами 1000х600х30мм 900х600х30мм, 600х600х30мм и 600х300х30мм осуществлялась на опорные полки горизонтальной шины (кляммера) марки НК в пропилы, выполненные по горизонтальной опорной поверхности плит. После этого осуществлялась установка последующих рядов горизонтальных шин марки НК (рядовые). Рядовые шины устанавливались в пропилы, расположенные по верхней горизонтальной грани плит. Шины утапливались в прорезь в плите, заполненной герметиком, и крепились заклепками А2/А2 Ø4х10мм к вертикальным направляющим (рисунок 3.7). Следующие ряды плит устанавливались аналогичным способом.

а)



б)



Рисунок 3.1

а)



б)



Рисунок 3.2

а)



б)



Рисунок 3.3

а)



б)



а)

Рисунок 3.4

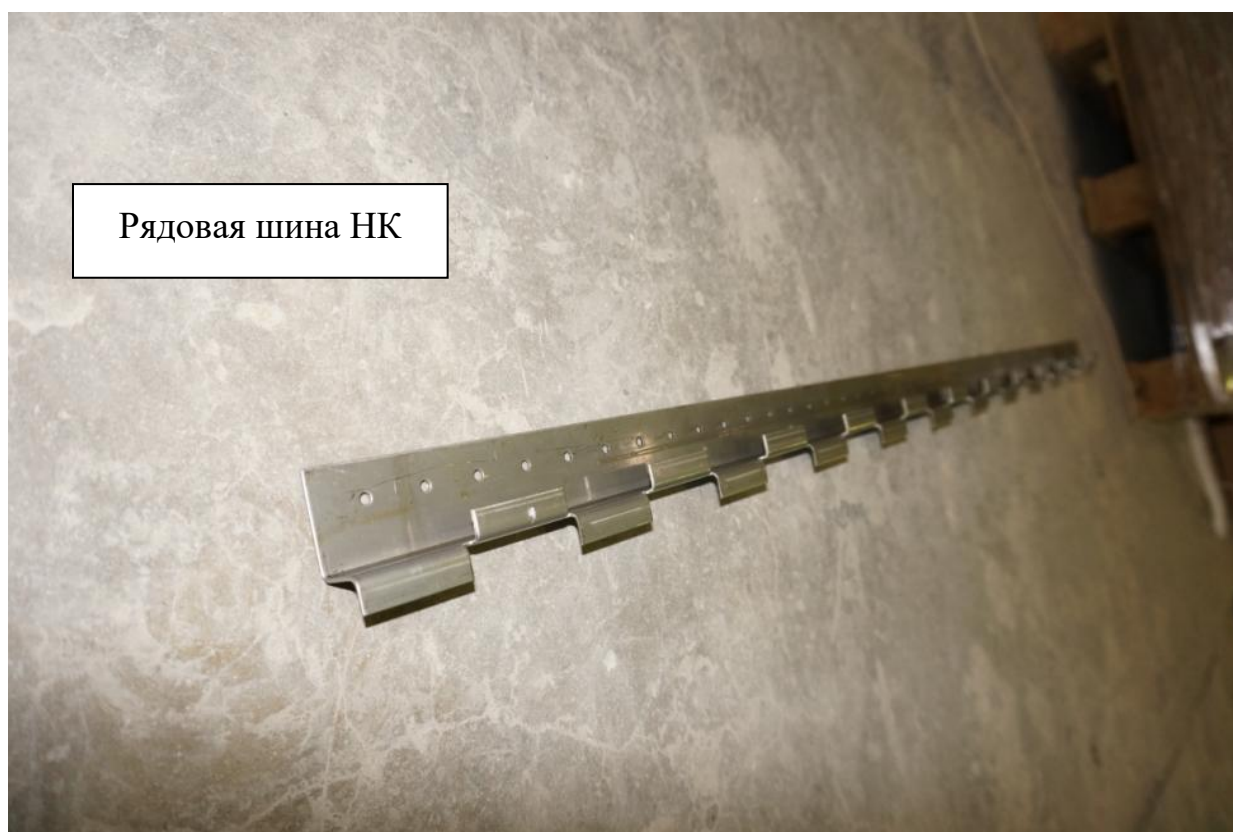


Стартовая шина НК



Финишная шина НК

б)



Рядовая шина НК

Рисунок 3.5

а)



б)



а)

Рисунок 3.6



б)



Рисунок 3.7

Финишные шины марки НК применялись для крепления верхних (замыкающих) рядов облицовочных плит (рисунок 3.8а). В угловой зоне в месте стыка облицовочных плит устанавливалась вертикальная угловая направляющая марки ГО (рисунок 3.8б), которая крепилась к смежным шинам марки НК при помощи двух коррозионностойких заклепок А2/А2 Ø4х10мм (см. рисунок 3.8а). Для предотвращения смещений в угловой зоне облицовочных плит: по первому варианту к вертикальному угловому Г-образному профилю направляющей крепился зацеп (4 штуки на 1 плиту) с помощью заклепок А2/А2 Ø4х10мм (рисунок 3.9), по второму варианту в угловой зоне на внешнем углу необходимо выполнить запил облицовочных плит под 45 градусов.

При монтаже подконструкции НФС «Альт-Фасад-А/КГ» использовались алюминиевые кронштейны марок Г75 (опорный), Г125 (несущий) длиной 200мм и удлинители кронштейнов марок Г75, Г125 соответственно (рисунок 3.10). Кронштейны устанавливались через термомост с вертикальной ориентацией несущей полки с шагом 600мм по горизонтали и по вертикали. Вертикальная направляющая фиксировалась прижимным усом удлинителя кронштейна. Далее к удлинителям кронштейнов крепили вертикальные Т-образные и Г-образные направляющие профили марок ТО и ГО соответственно с помощью заклепок А2/Ал Ø4,8х12мм (рисунок 3.11а).

Принятые в испытаниях несущие кронштейны и удлинители кронштейнов обеспечивали возможность установки облицовочных материалов на расстояние 250 мм от базового основания, то есть обеспечивали проектную установку направляющих в случае наличия неровностей стены.

В угловой зоне в месте стыка устанавливалась вертикальная Г-образная направляющая марки ГО, которая крепилась с помощью горизонтальных угловых профилей к ближайшим вертикальным направляющим профилям с помощью двух коррозионностойких заклепок А2/Ал Ø4,8х12мм (рисунок 3.11б). Для повышения жесткости алюминиевых подсистем специалистами ЦНИИСК было предложено установить дополнительные кронштейны в угловых зонах марок Г125 с горизонтальной ориентацией несущей полки (1 кронштейн на одну 3-х метровую направляющую по высоте), которые крепились к стеновому основанию. На горизонтальные кронштейны марки Г125 с помощью заклепок А2/Ал Ø4,8х12мм крепились горизонтальные связи в угловых зонах из неравнополочных уголковых профилей (рисунок 3.12). Связи из уголковых профилей между вертикальными направляющими марки ТО устанавливались с шагом 1200 мм по высоте.

а)



б)

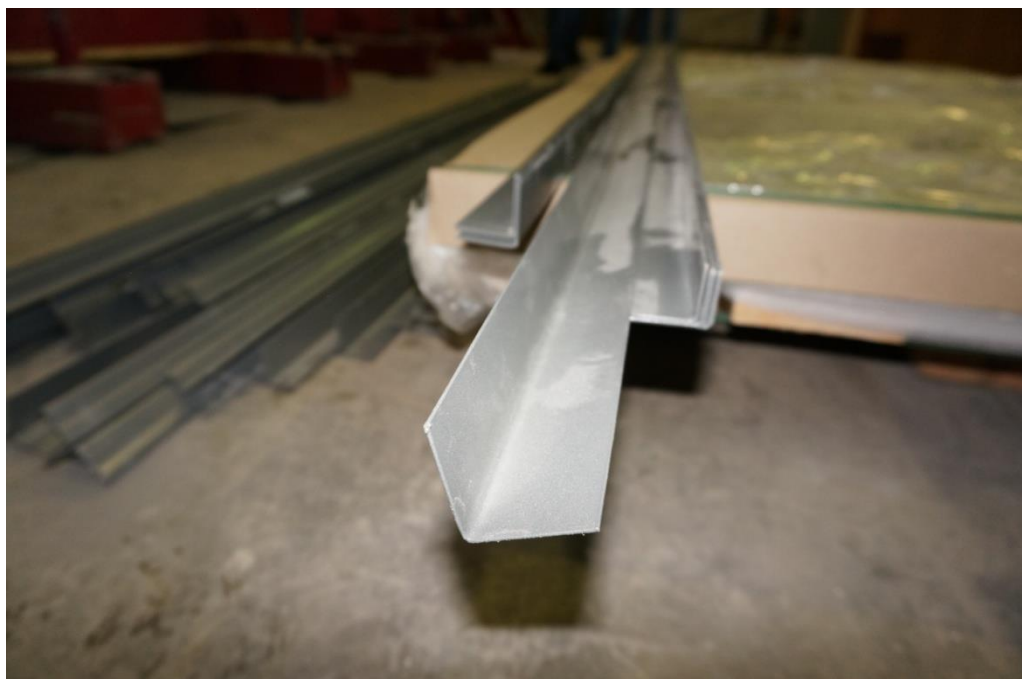


Рисунок 3.8

а)



б)



а)

Рисунок 3.9



б)

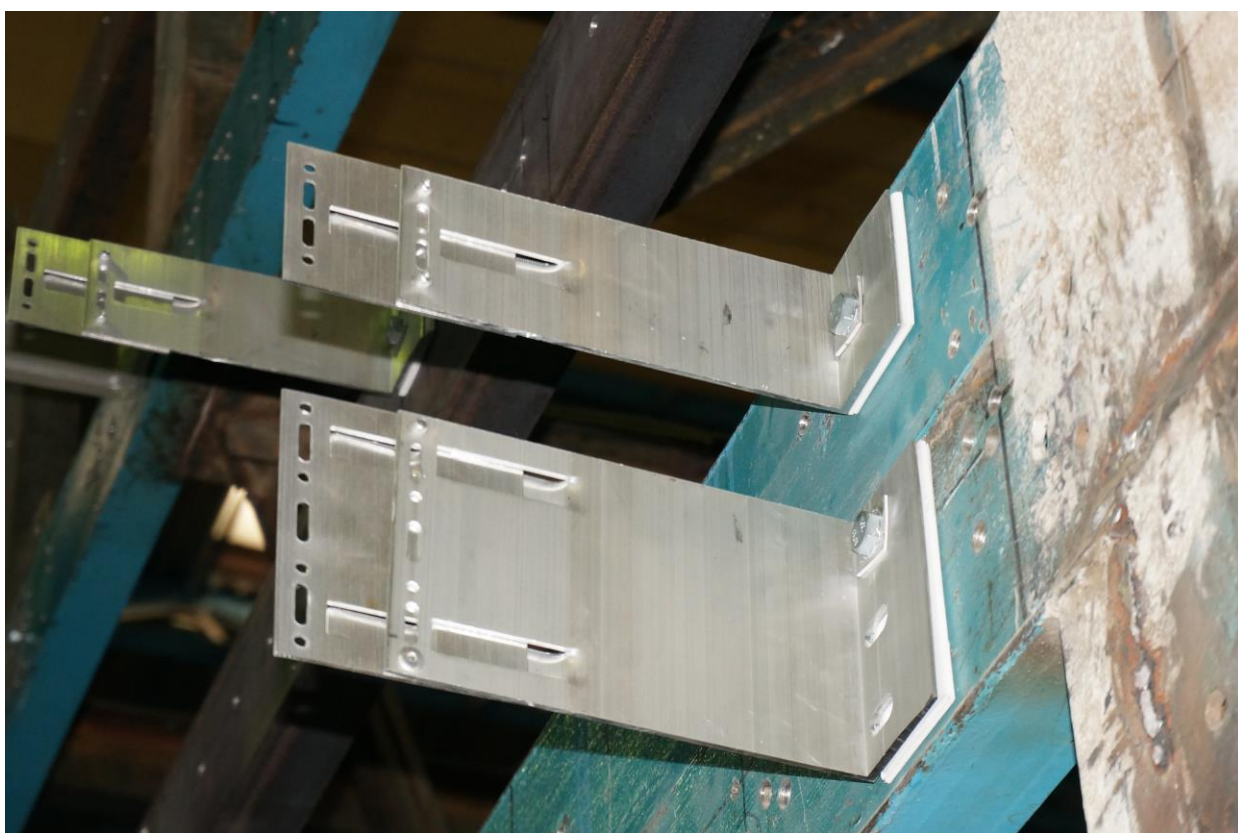
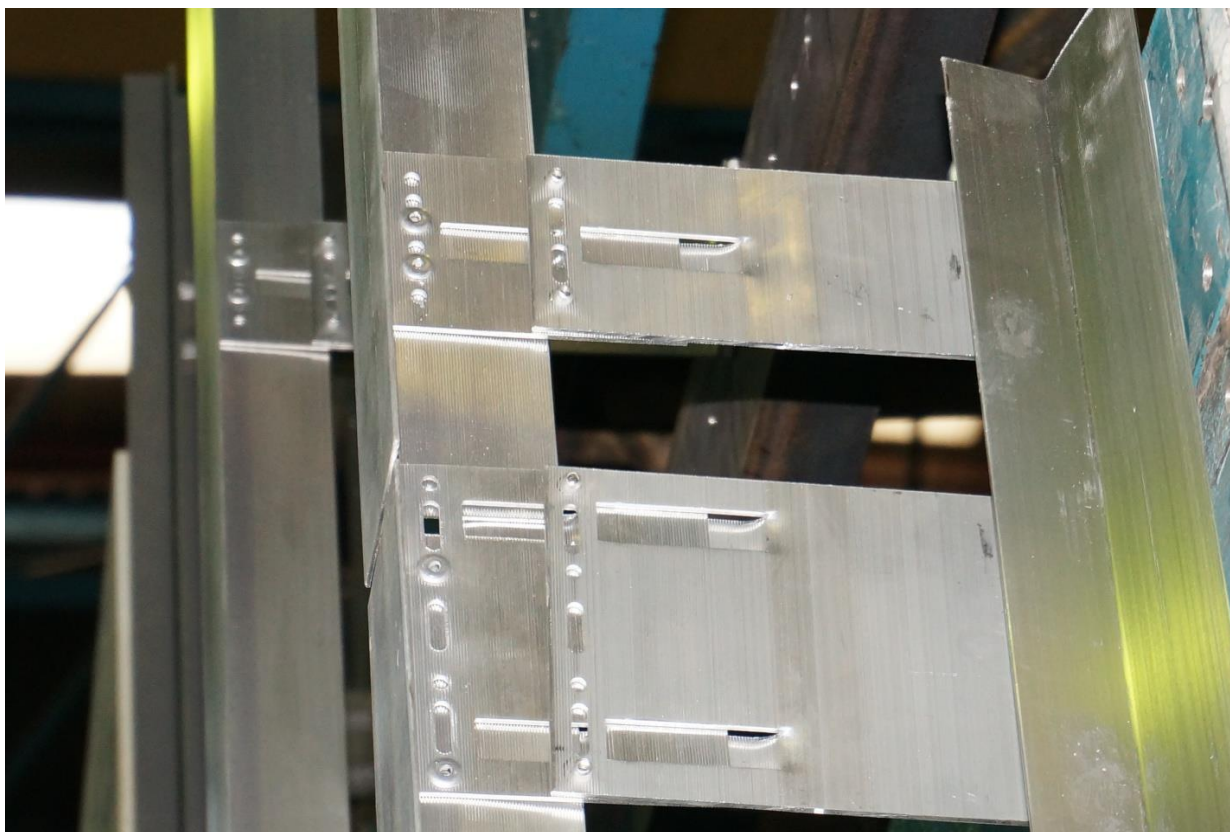


Рисунок 3.10

а)



б)



а)

Рисунок 3.11



б)



Рисунок 3.12

Установка облицовочных керамогранитных плит размерами 600х600х10мм и 1200х600х10 мм (см. рисунок 3.2) производилась снизу вверх с помощью пружинных кляммеров из нержавеющей стали (рисунок 3.13) по следующей схеме:

- первоначально устанавливались стартовые кляммеры «КЛ ст» с креплением с помощью двух заклепок А2/А2 Ø4х10мм к лицевой полке вертикальной направляющей (рисунок 3.14а);
- далее устанавливались керамогранитные плиты нижнего ряда (рисунок 3.14б);
- далее производилась установка следующего ряда кляммеров «КЛ рд 01» и монтаж последующих рядов плит (рисунок 3.15).

Для предотвращения горизонтальных смещений облицовочных плит в угловой зоне в месте стыка облицовочных плит использовалась декоративная планка, а с торцов свободных (неугловых) зон устанавливался сейсмоупор в виде уголка, который крепился к вертикальным направляющим заклепками А2/А2 Ø4х10мм (рисунок 3.16).

При монтаже подконструкций НФС «Альт-Фасад-А/КЛ» использовались алюминиевые кронштейны марок Г155 (несущий), Г75 (опорный), и удлинители кронштейнов марок Г155, Г75 (см. рисунок 3.10). Кронштейны устанавливались через термомост с вертикальной ориентацией несущей полки с шагом 600мм по горизонтали и по вертикали. Установка вертикальных направляющих и крепление их к элементам несущих подконструкций НФС было аналогично варианту НФС «Альт-Фасад-А/КГ», описанному выше (рисунок 3.17).

Принятые в испытаниях несущие кронштейны и удлинители кронштейнов обеспечивали возможность установки облицовочных материалов на расстояние 250 мм от базового основания и позволяют учитывать неровности стеновой поверхности здания.

а)



б)

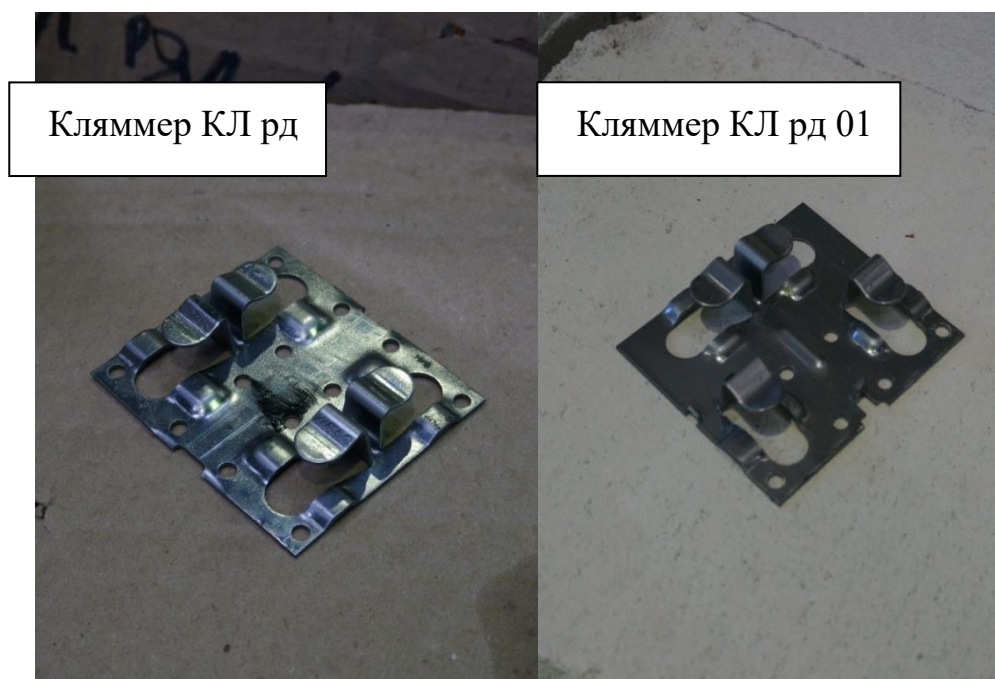


Рисунок 3.13

а)



6)



Рисунок 3.14



Рисунок 3.15

a)



б)

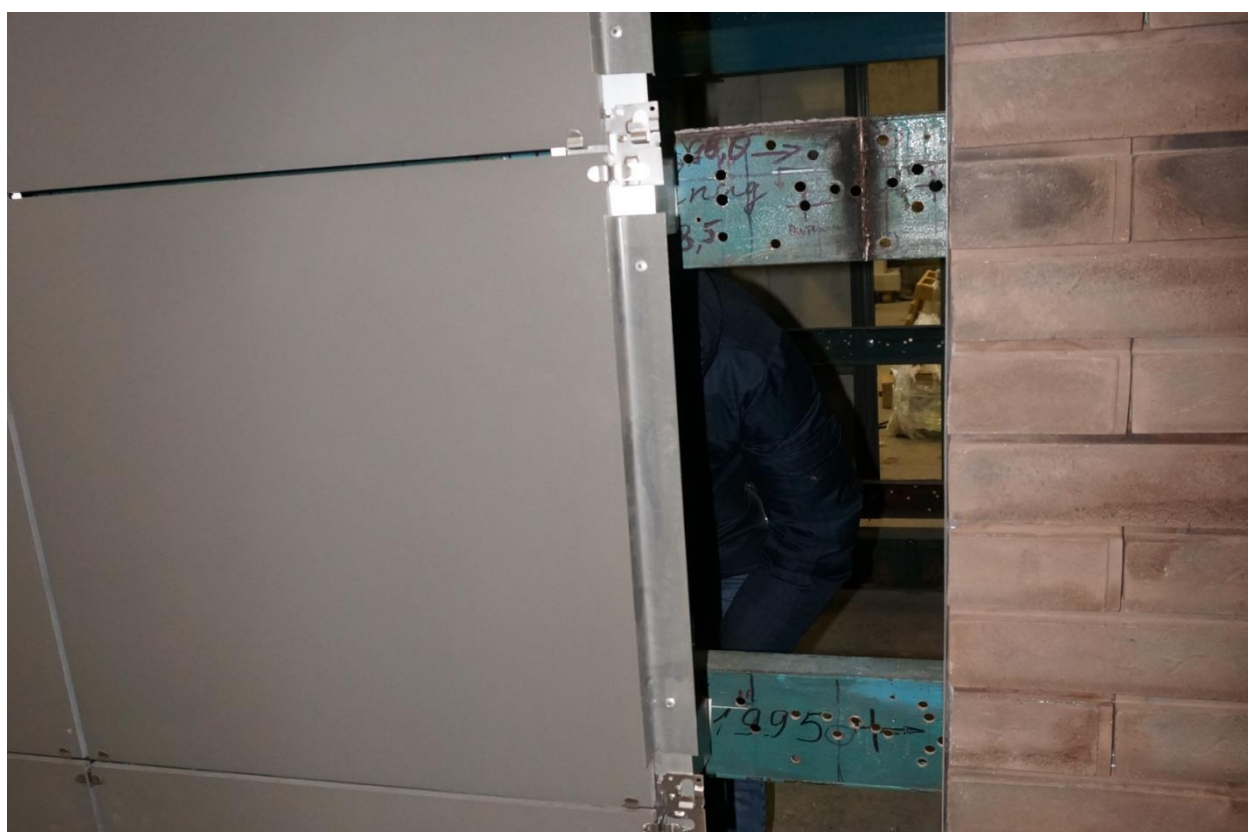


Рисунок 3.16



Рисунок 3.17

После установки вертикальных несущих профилей марок ТО и ГО в проектное положение производилась установка и крепление к вертикальным несущим профилям с помощью двух заклепок А2/А2 Ø4х10мм в каждом узле крепления стартового профиля марки ПСК (рисунок 3.18). В угловой зоне в месте стыка производился монтаж вертикального профиля марки ГО, который крепился к смежным профилям марок ПСК (стартовый) и ПРК (рядовой) при помощи двух коррозионностойких заклепок А2/А2 Ø4х10мм (рисунок 3.19а). Далее, на стартовый профиль марки ПСК устанавливались клинкерные плитки и дизайнерские плитки «под кирпич» с последующей их фиксацией по верхней грани с помощью рядовой планки марки ПРК, фиксируемой также с помощью заклепок А2/А2 Ø4х10мм (рисунок 3.19б). Последующая установка плиток производилась по указанной выше схеме (рисунок 3.20).

При монтаже алюминиевой подконструкции НФС «Альт-Фасад-А/ФБ» использовалась аналогичная схема крепления, описанная ранее, с использованием кронштейнов и удлинителей кронштейнов марок Г125 (несущий), Г75 (опорный) (см. рисунок 3.10), а также вертикальных направляющих марок ТО и ГО (см. рисунок 3.11).

Кронштейны с удлинителями крепились к стенду через термомост с шагом 600мм по вертикали и горизонтали и обеспечивали возможность установки облицовочных материалов на расстояние 250 мм от базового основания.

Крепление облицовочных фиброцементных (хризотилцементных) плит размерами 1200*1570*8 и 1220*2500*8мм производилось непосредственно к вертикальным Т-образным направляющим марки ТО и Г-образным направляющим марки ГО при помощи нержавеющей заклепок с широким бортиком 4,8*21 А2/А2. Шаг крепления плит составлял 300мм по вертикали и 600мм по горизонтали (рисунок 3.20). Между профилем и плитой устанавливали ленту EPDM (рисунок 3.21).

а)



б)



Рисунок 3.18

а)



б)



Рисунок 3.19

а)



б)



а)

Рисунок 3.20



б)



Рисунок 3.21

На рисунках 3.22-3.23 показаны смонтированные на стенде и готовые к испытаниям навесные фасадные системы НФС «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из натурального камня, «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами, «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой декоративными плитками «под кирпич» из литьевого бетона и клинкерными плитками, «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из хризотилцемента.



Рисунок 3.22

а)



б)



Рисунок 3.23

4. Программа и методика испытаний НФС

Программа экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ», включала в себя следующие этапы:

1. Анализ конструктивных особенностей испытательных образцов.
2. Выбор и согласование с Заказчиком конструктивных параметров и самих элементов испытательных образцов для назначения экспериментальных фрагментов.
3. Подготовка вибростенда и измерительного оборудования для проведения динамических испытаний.
4. Назначение режимов нагружения фрагментов облицовочных плит и их систем крепления динамической нагрузкой, соответствующей силовым воздействиям на сооружения при землетрясениях различной интенсивности (от 7 до 9 баллов).
5. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований испытательных образцов.
6. Составление технического отчета по результатам испытаний фрагментов НФС с рекомендациями по обеспечению эксплуатационной надежности фасадных систем при сейсмических воздействиях.

Методика испытаний. Возбуждение колебаний экспериментальных моделей осуществляется с использованием различных устройств. При проведении динамических испытаний фасадных систем возбуждение колебаний осуществлялось с помощью вибромашины ВИД-12М, установленной на специальную виброплатформу маятникового типа (рисунок 1.1).

С учетом отмеченного выше программа динамических испытаний НФС на виброплатформе включала в себя следующие этапы:

1. Испытания систем с изменением частотного спектра от 0 до 10 Гц при фиксированной амплитуде перемещения виброплатформы. Далее задавалось значение амплитуды и осуществлялось изменение частот в указанном выше

спектре. Длительность каждого из указанных этапов динамического нагружения (при фиксированных амплитуде и частоте) системы составляла в эксперименте от 25 до 30 сек.

2. По результатам 1-го этапа испытаний (п.1) устанавливались уровни воздействий, соответствующие резонансным колебаниям систем, и уровни ускорений виброплатформы, соответствующие 7÷9-ти балльным воздействиям по шкале MSK-64.
3. После завершения испытаний НФС в соответствии с заданной программой изменения амплитудно-частотного спектра виброплатформы проводились повторные испытания экспериментальных образцов при соотношениях амплитудно-частотных параметров виброплатформы, соответствующих резонансным колебаниям систем и 7÷9-ти балльным воздействиям. Длительность динамических испытаний при указанных выше сочетаниях составляла 15-20 сек. Указанный этап испытаний позволял оценить сейсмостойкость систем в зависимости от характера и времени сейсмического воздействия.

Программа испытаний учитывала следующий фактор: если в процессе испытаний происходило разрушение или изменение конструктивной схемы НФС совместно с Заказчиком разрабатывались способы повышения надежности экспериментальных образцов за счет внесения в конструктивную систему изменений. После этого испытания повторяются согласно п.п. 2 и 3 настоящего раздела.

5. Оборудование для испытаний систем конструкций НФС «Альт-Фасад» на сейсмические нагрузки. Средства измерения и регистрации динамических характеристик НФС

5.1. Оборудование для создания динамических нагрузок на НФС

Как уже отмечалось, для создания динамических воздействий на испытываемые образцы использовалась специальная виброплатформа.

Маятниковая платформа подвешена на гибких (из полосовой стали) силовых связях к опорной силовой раме. Рама жестко закреплена в силовой пол лабораторного корпуса. Активация платформы осуществляется вибромашиной ВИД-12М, установленной на консоли маятниковой платформы (см. фото на рисунке 1.1).

Вибромашина ВИД-12М позволяет обеспечить необходимые параметры динамических воздействий на исследуемые образцы в широком диапазоне частот и инерционных нагрузок путем возбуждения механических колебаний платформы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На фото рисунков 3.22-3.23 показан общий вид виброплатформы с установленным на ней стендом, к которому крепились экспериментальные образцы НФС.

Основные технические данные машины ВИД-12М

Таблица 5.1.

№№	Наименование параметра	Значение
1	Инерционная сила, развиваемая машиной при наибольшем радиусе дебалансов: - при 60 об/мин (1 Гц) - при 180 об/мин (3 Гц) - при 240 об/мин (4 Гц) - при 300 об/мин (5 Гц)	0,8 т 7,0 т 12,5 т 20,0 т
2	Частотная характеристика - нижняя частота, Гц - верхняя частота, Гц	0,4 25
3	Характер изменения частот	Бесступенчатый

Примечание: по соображениям прочности отдельных деталей и веса вибромашины при любой скорости вращения инерционная сила ограничена величиной 12т.

Управление ВИД-12М осуществляется с пульта управления, расположенного в электрошкафу. Основные технические характеристики вибромашины ВИД-12М приведены в таблице 5.1.

5.2. Средства измерения и регистрации динамических характеристик конструкций и воздействий на них

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

Комплекс выполняет следующие функции:

- измерение, регистрацию и первичную обработку сигналов (частотных, дискретных и пр.), полученных в результате испытаний;
- отображение значений измеряемых величин или преобразованных параметров на мониторе;
- контроль значений измеряемых величин или преобразованных параметров; оценка результатов их измерения и преобразования;
- самодиагностику проводимых измерений (анализ работоспособности с возможностью вызова диагностических программ);
- архивацию результатов измерения и преобразования (хранение данных с возможностью просмотра и анализа);
- вывод текущих значений измеряемых параметров, кодов аварий и технологических сообщений на ЭВМ верхнего уровня;
- возможность подключения печатающих устройств, в том числе для оформления протоколов результатов измерений;
- возможность связи с другими системами (подключение в существующую локальную вычислительную сеть);
- возможность выдачи сигнала типа «сухой контакт» для включения сигнализации и использования в системах защиты;
- возможность выдачи тестовых аналоговых сигналов.

Измерительно-вычислительный комплекс МИС – 036 дополнительно укомплектован ноутбуком со специализированным пакетом прикладных программ и

периферийных устройств, необходимых для автоматизированного процесса обработки сигналов, а также для документирования результатов обработки (рисунок 5.1, а).

Для измерения ускорений, частот колебаний, а также динамических перемещений применяются однокомпонентные датчики – акселерометры АТ 1105 – 10м (рисунок 5.1, б).

Характеристики датчиков (акселерометров) представлены в таблице 5.2.

Основные технические данные акселерометра АТ 1105 – 10м

Таблица 5.2.

№	Наименование параметра	Значение
1	Электропитание от источника постоянного тока относительно средней точки, В	± 12
2	Диапазон измерения, м/с ² (g)	98,1 (10,0)
3	Частотная характеристика - нижняя частота, Гц - верхняя частота, Гц	0 700
4	Диапазон рабочих температур, °С	от +5 до +35

Количество датчиков на виброплатформе и испытываемых образцах назначалось таким образом, чтобы можно было замерить вертикальные и горизонтальные ускорения и деформации виброплатформы и элементов экспериментальных образцов.

Точки расположения акселерометров выбирались из следующих условий:

- места, где по результатам расчетов ожидается развитие максимальных ускорений и перемещений;
- возможность одновременного определения относительных деформаций в разных координатных плоскостях;

Для контроля задаваемых нагрузок и сравнения с нормируемыми (СП 14.13330.2014) параметрами воздействия применялись датчики, которые были установлены на платформ, вблизи источника динамического нагружения. Общее количество контролируемых точек (количество акселерометров) – 4. Схема расстановки датчиков показана на рисунок 5.2.

а)



6)



Рисунок 5.1

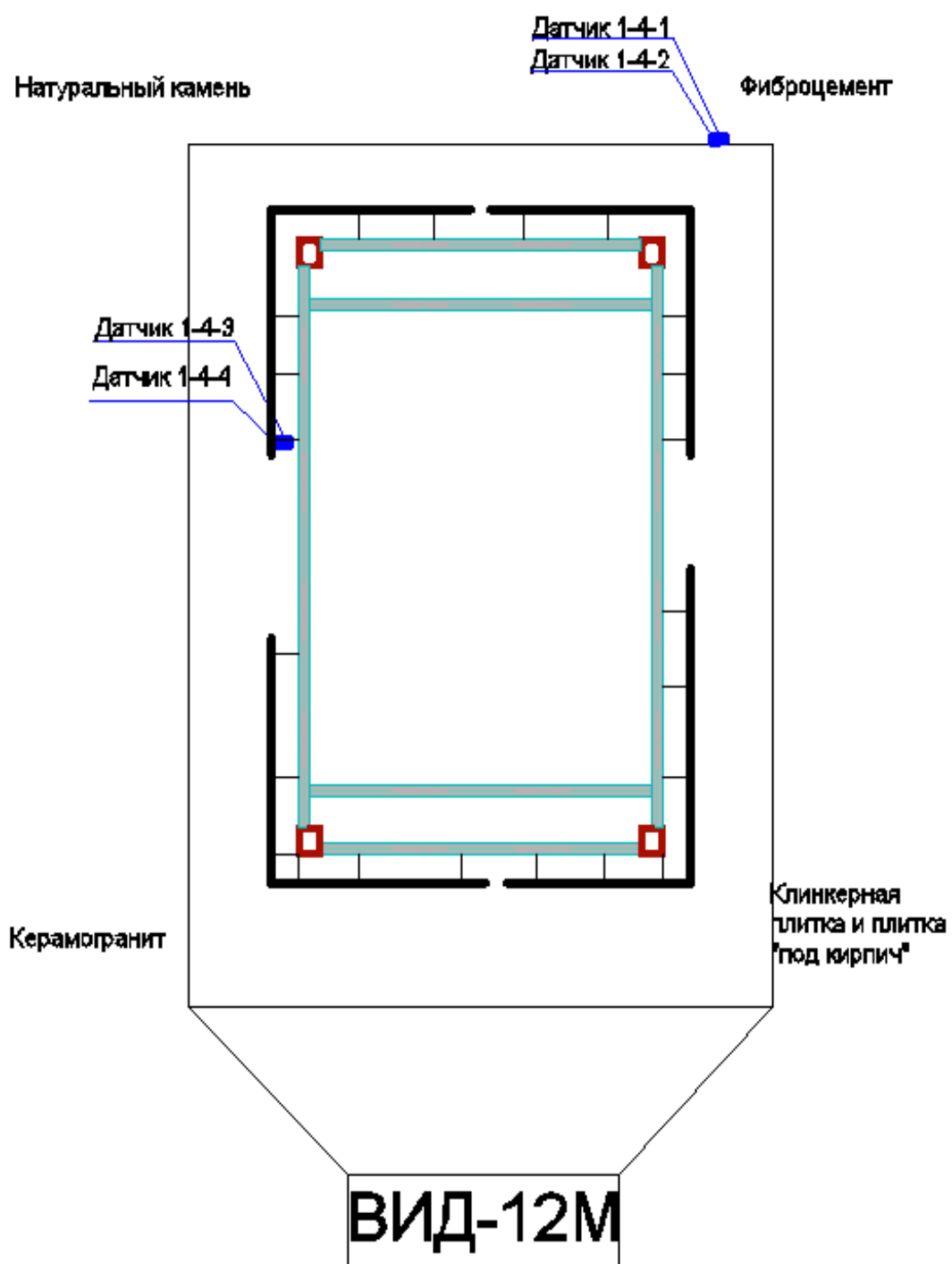


Рис. 5.2. Схема расстановки акселерометров на стенде и НФС

5.3 Расчетный анализ экспериментального фрагмента НФС

Формирование расчетных моделей и расчетный анализ фрагментов для испытаний проводился с применением программного комплекса "SCAD". Комплекс обладает широкими возможностями для расчета различных строительных конструкций и позволяет выполнить расчет на статические и динамические нагрузки в соответствии с требованиями нормативных документов.

Целью расчета является определение расчетных характеристик (собственных частот, периодов колебаний)

Характеристики материалов и конструкций приняты в соответствии с материалами, представленными Заказчиком.

Результаты расчетов показаны на рисунках 5.3 – 5.8.

Динамические характеристики экспериментального образца приведены в таблице 5.3.

Динамические характеристики экспериментального образца

Таблица 5.3.

№ формы	Частоты колебаний, Гц	Периоды колебаний, сек.
1	2,9	0,33
2	3,0	0,33
3	4,1	0,25
4	4,9	0,21
5	4,9	0,21

Полученные в результате проведенных расчетов характеристики системы являются основой для назначения режимов нагружения конструкции (этапов, частотного состава и прочее).

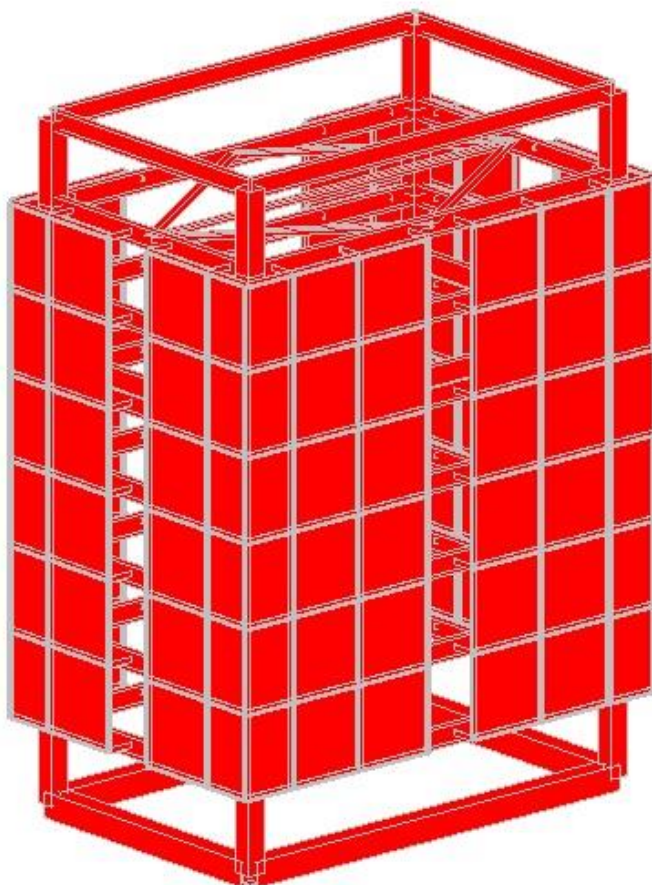


Рисунок 5.3 Расчетная схема

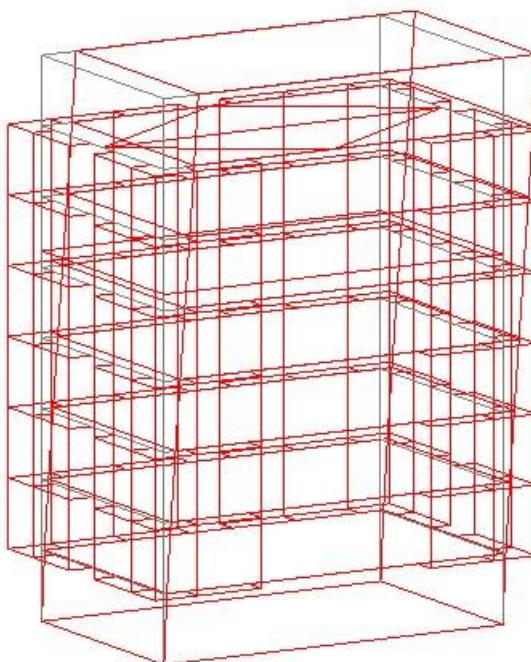


Рисунок 5.4 - 1-я форма колебаний, $f=2,9$ Гц, $T=0,33$ сек.

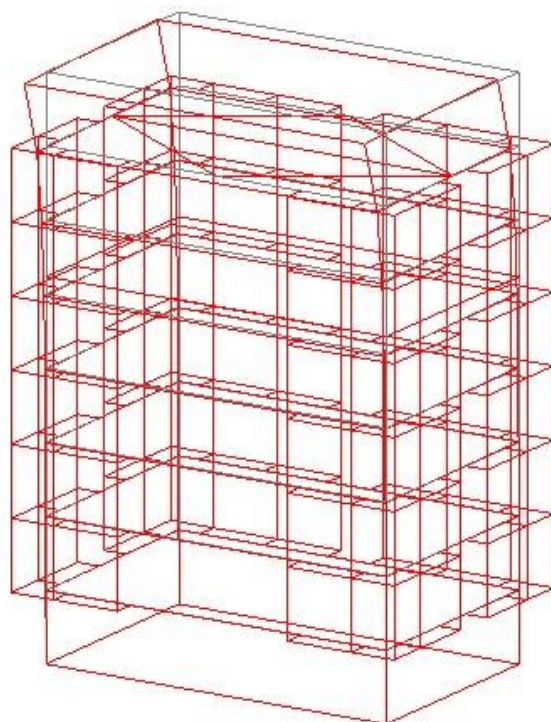


Рисунок 5.5 - 2-я форма колебаний, $f=3,0$ Гц, $T=0,33$ сек.

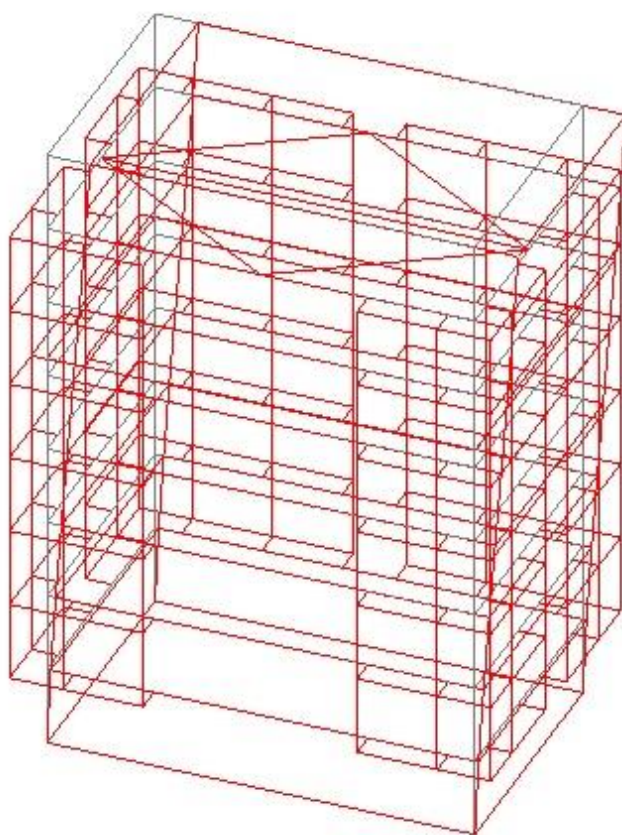


Рисунок 5.6 - 3-я форма колебаний, $f=4,1$ Гц, $T=0,25$ сек.

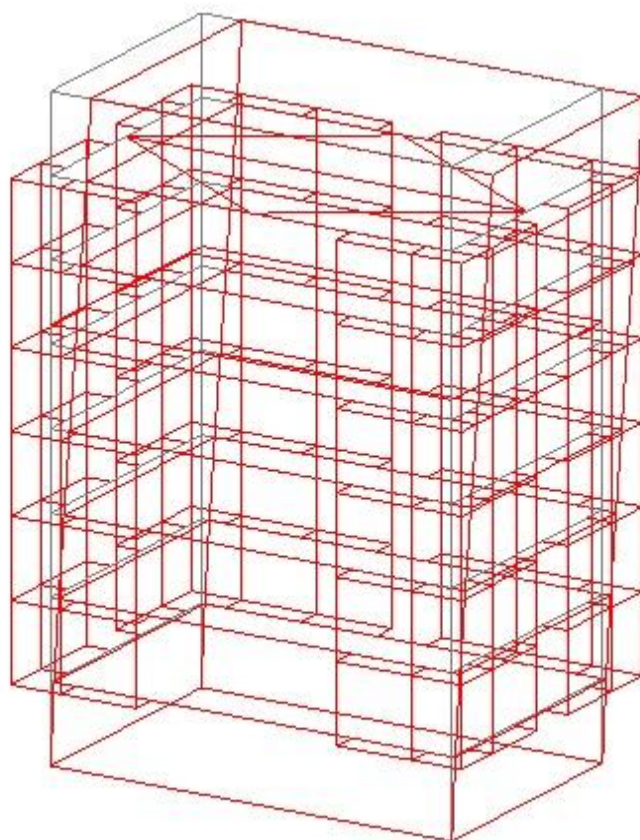


Рисунок 5.7 - 4-я форма колебаний, $f=4,9$ Гц, $T=0,21$ сек.

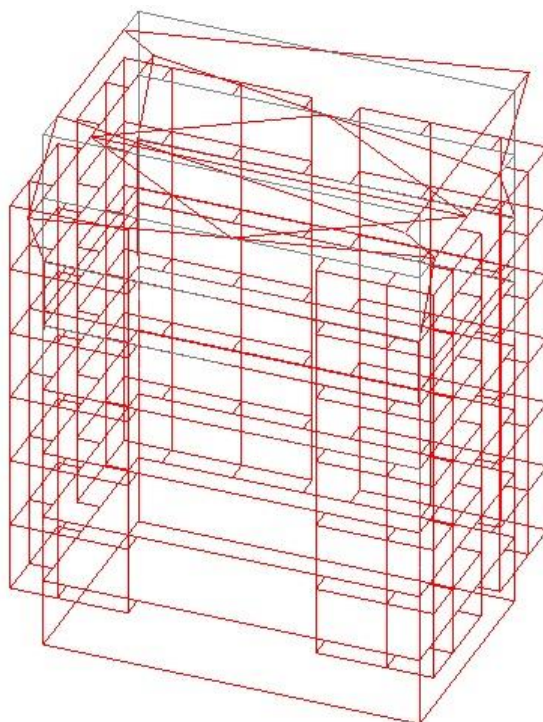


Рисунок 5.8 - 5-я форма колебаний, $f=4,9$ Гц, $T=0,21$ сек.

6. Подготовка стенда и измерительного оборудования.

Монтаж конструкций НФС

Параметры стенда для проведения испытаний назначались исходя из состава экспериментальной базы Центра исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, а также конструктивных особенностей принятых опытных образцов (см. выше).

Для проведения испытаний, моделирующих сейсмические воздействия, был сконструирован специальный стенд, который представляет собой две металлические рамы, связанные между собой металлическими швеллерами для обеспечения общей жесткости конструкции стенда (рисунок 6.1). Компоновка несущих элементов стенда проводилась с учетом монтажных схем установки кронштейнов.

Монтаж НФС «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из натурального камня, «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами, «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой плитками «под кирпич» из литьевого бетона, «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из фиброцемента (хризотилцемента) для проведения испытаний осуществлялся силами Заказчика. Приемка образцов для монтажа, оценка их соответствия требованиям, установленным нормативными и техническими документами до и после установки на испытательный стенд, осуществлялась представителями Заказчика совместно со специалистами Центра исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Монтаж конструкций НФС, указанных выше, на стенд осуществлялся по следующей схеме:

1. Система навешивалась на кронштейны, которые крепились к металлическим элементам стенда с помощью болтов.
2. В зависимости от модификации системы несущие вертикальные направляющие профили жестко крепились к несущим кронштейнам с помощью вытяжных заклепок из нержавеющей стали.
3. С помощью крепежных элементов осуществлялась установка облицовки в виде плит из фиброцемента, натурального камня, керамогранита и плиток из клинкера и литьевого бетона.

После монтажа несущих и облицовочных элементов систем НФС специалистами ЦНИИСК проводилась проверка всех узлов крепления конструкций НФС.

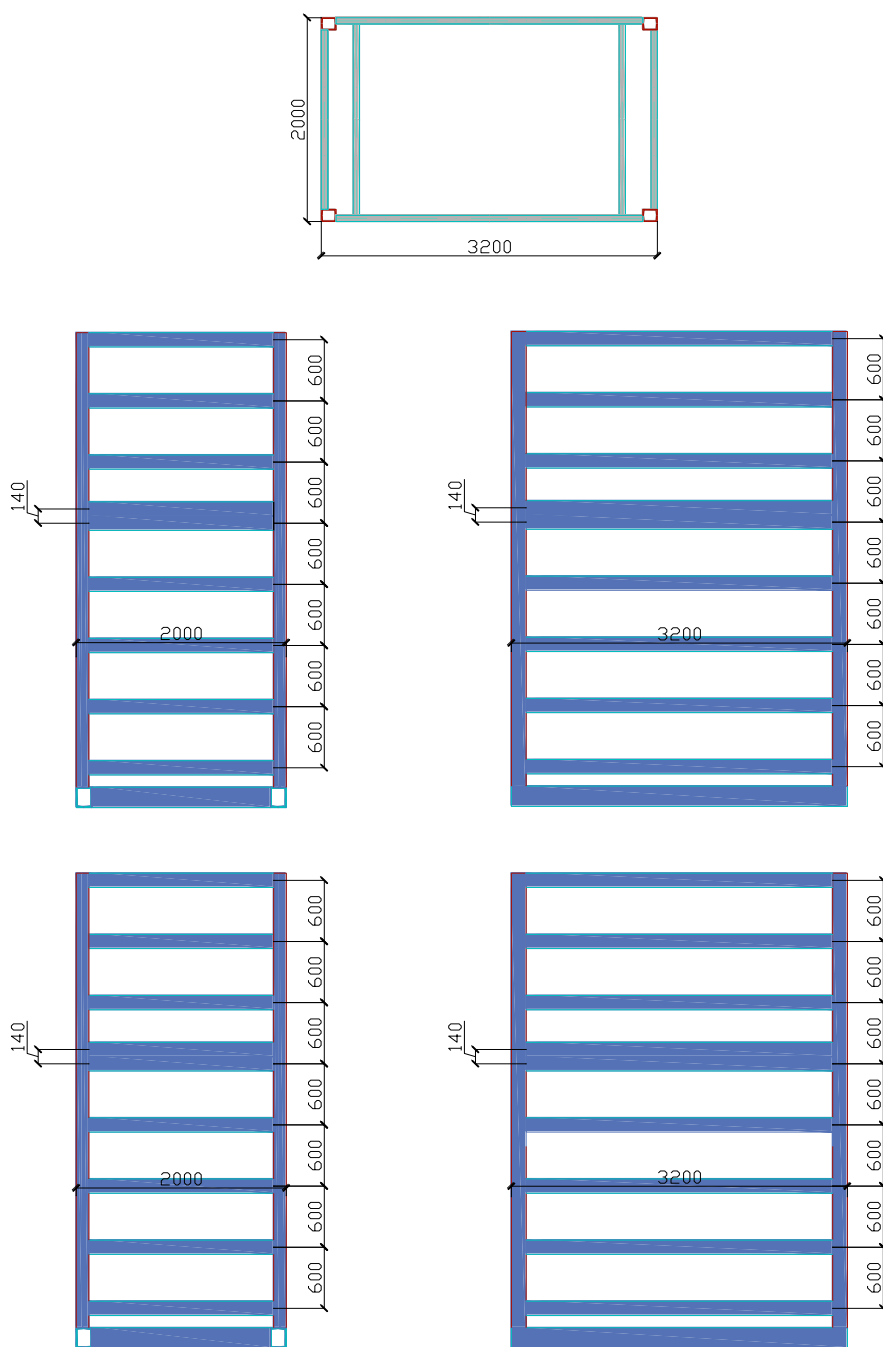


Рисунок 6.1. Схема стенда для испытаний.

7. Динамические испытания НФС «Альт-Фасад»

7.1. Методика проведения испытаний

Испытания фрагментов экспериментальных образцов проводились вибрационным (резонансным) методом, который позволяет измерить количественно силовую нагрузку, имитирующую сейсмическое воздействие в широком диапазоне частот.

По данным вибрационных испытаний для конкретных уровней нагружения были определены амплитудно-частотные характеристики испытываемых фрагментов. Кроме этого, по результатам обработки на ЭВМ с использованием специального программного комплекса «WinПОС» записей были построены графики зависимости изменения ускорений в различных точках модели от времени.

По характеру изменения частоты воздействия и амплитуды колебания платформы, оценивались динамические характеристики (частоты основного тона колебаний, диссипативные свойства и пр.), а также принципиальный характер работы экспериментальных моделей.

7.2. Назначение параметров загрузки

Длительность сейсмического воздействия. По данным [8,9] продолжительность основной части процесса колебаний составляет 10÷40 сек (землетрясение в Сан-Франциско 18.04.1906 – сильные колебания продолжались 25 сек, Мехико – 28.07.1957–15 сек).

Периоды колебаний. По наблюдениям Б.К. Карапетяна [10] максимальные ускорения почвы при землетрясениях соответствовали периодам 0.05 и 0.1 сек ($f=20$ и 10 Гц). По данным И.Л. Корчинского [11]:

- при жестких системах ($T=0\div 0.05$) максимальные ускорения возникают почти мгновенно с началом колебаний (зона наиболее высоких значений коэффициента динамичности);
- наиболее характерные периоды сейсмического воздействия находятся в диапазоне короткопериодного спектра от 0.1 до 0.5 сек ($f \rightarrow$ от 10 до 2 Гц);
- в [9] отмечается, что как показывают многочисленные экспериментальные исследования, независимо от частот внешнего воздействия сооружение обычно колеблется с частотой, отвечающей частоте их собственных колебаний. Периоды

же свободных колебаний большинства зданий составляют 0.1–2.0 сек. Т.е. частота динамической нагрузки, испытываемой сооружением в условиях землетрясений, будет находиться в основном в пределах 0.5–10 Гц.

Число циклов нагружения. Под руководством И.Л. Корчинского [11,13] Р.С. Бердяевой, Г.В. Беченовой и В.А. Ржевским были проведены испытания железобетонных и стальных балочных образцов при нагружениях со скоростью 300÷1000 циклов в минуту, что, как указывается в [12], отвечает скорости нагружения строительных конструкций при сейсмических нагрузках.

Этапы загрузки выбраны так, чтобы иметь возможность оценить поведение испытательного образца при резонансе.

7.3. Условия проведения динамических испытаний

Вибрационные испытания проводились 23 марта 2018г. в дневное время при температуре воздуха - не ниже +15 °С. Условия проведения вибрационных испытаний соответствуют нормальным и рабочим условиям применения используемого типа акселерометров АТ1105–10м.

7.4. Параметры оценки работы НФС по результатам натурных испытаний

Основным свойством, определяющим надежность испытательных образцов при воздействии динамических нагрузок, является их способность сохранять определенные эксплуатационные свойства, характеризующуюся предельными состояниями в соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований».

Предельные состояния НФС в связи с отсутствием нормативных документов, определяющих надежность облицовочных конструкций в процессе их эксплуатации в сейсмоопасных районах РФ, условно разделены на две группы:

- первая группа включает предельные состояния, достижение которых ведет к полной непригодности к эксплуатации конструкции испытательных образцов или

к полной (частичной) потере несущей способности их основных элементов и креплений;

- вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию испытательных образцов из-за значительных деформаций конструкции и больших горизонтальных и вертикальных их перемещений.

Предельные состояния первой группы характеризуются:

- разрушением креплений и элементов облицовочных систем любого характера (пластическим, хрупким, усталостным);
- потерей устойчивости формы составных элементов НФС, приводящей к полной непригодности системы;
- качественным изменением конфигурации испытательных образцов;
- другими явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерными деформациями в результате сдвига в соединениях, раскрытия швов и пр.).

Параметры предельных состояний непосредственно элементов испытательных образцов для идентификации их технического состояния в настоящее время отсутствуют и являются предметом отдельного исследования. В связи с этим, а также для целей настоящего исследования специалистами ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко предложен следующий подход.

1. Уровень внешнего воздействия определяется по результатам натурных испытаний и принимается в сравнении с данными инструментальной части макросейсмической шкалы MSK-64 по ГОСТ Р 22.0.03-95, которые приведены в таблице 7.1.
2. За 1-е предельное состояние конструкций, испытанных образцов металлических конструкций, принимается такое техническое состояние, при котором происходит разрушение элементов конструкции и узлов крепления облицовки к направляющим или разрушение самой облицовки. 2-му предельному состоянию соответствует смещение облицовочных плит относительно друг друга на $\Delta \geq$

10мм. Этому уровню смещения соответствует (как показал эксперимент) вырыв элементов крепежа из тела облицовки.

Соответствие уровня воздействия инструментальным значениям ускорения

Таблица 7.1.

I, балл, MSK-64	Ускорения A[12], м/с ²	Ускорения A согласно MSK-64, м/с ²	Ускорение A _p по СНИП-II-7-81*, м/с ²
5	-	-	-
6	0,28-0,56	0,25-0,50	0,50
7	0,56-1,12	0,50-1,00	1,00
8	1,12-2,24	1,00-2,00	2,00
9	2,24-4,48	2,00-4,00	4,00
10	-	-	-

7.5 Результаты динамических испытаний НФС «Альт-Фасад»

Анализ результатов лабораторных динамических испытаний НФС «Альт-Фасад-05», «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/КЛ», «Альт-Фасад-А/ФБ» позволяет отметить следующее.

1. В таблицах 7.3-7.4 приведены параметры динамического нагружения платформы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, установленные по акселерометрам, закрепленным в уровне платформы, а в таблицах 7.5-7.6 - параметры динамического нагружения фрагментов образцов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, установленные по акселерометрам, закрепленным непосредственно к несущим вертикальным направляющим. Приведенные в табл. 7.3-7.4 значения по цветовой гамме соответствуют зонам сейсмичности, указанным на карте сейсмического районирования территории РФ (рисунок 7.1).

2. В процессе испытаний ускорение виброплатформы по данным акселерометров (таб. 7.3-7.4), установленных на ней, изменялось в интервале от 0,5 до 18,6 м/с² - в горизонтальном направлении, и от 0,1 до 4,3 м/с² - в вертикальном направлении. Ускорения фрагментов образцов по данным акселерометров (таб. 7.5-7.6) изменялись в интервале от 0,6 до 21,5 м/с² в горизонтальном направлении и от 0,1 до 4,3 м/с² – в вертикальном. Полученные значения горизонтальных ускорений виброплатформы превышают значения нормативных ускорений, соответствующих 9 баллам (по шкале MSK-64 – 4 м/с²). При этом коэффициент динамичности, полученный по результатам обработки акселерограмм, составил $\beta = a_v/a_n = 21,5/18,6 = 1,2$.
3. Частота колебания системы изменялась в интервале от 1,2 до 8,5 Гц. Максимальная амплитуда горизонтальных колебаний виброплатформы составила 12,1 мм, а вертикальных колебаний – 2,1 мм. Максимальная амплитуда горизонтальных колебаний фрагментов испытательных образцов по данным приборов составила 31,2 мм, а вертикальных – 3,0 мм.
4. В процессе динамических испытаний НФС «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из натурального камня, «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами, «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой декоративными плитками «под кирпич» из литьевого бетона и клинкерными плитками, «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из хризотилцемента прочность и эксплуатационная надежность систем не была нарушена.

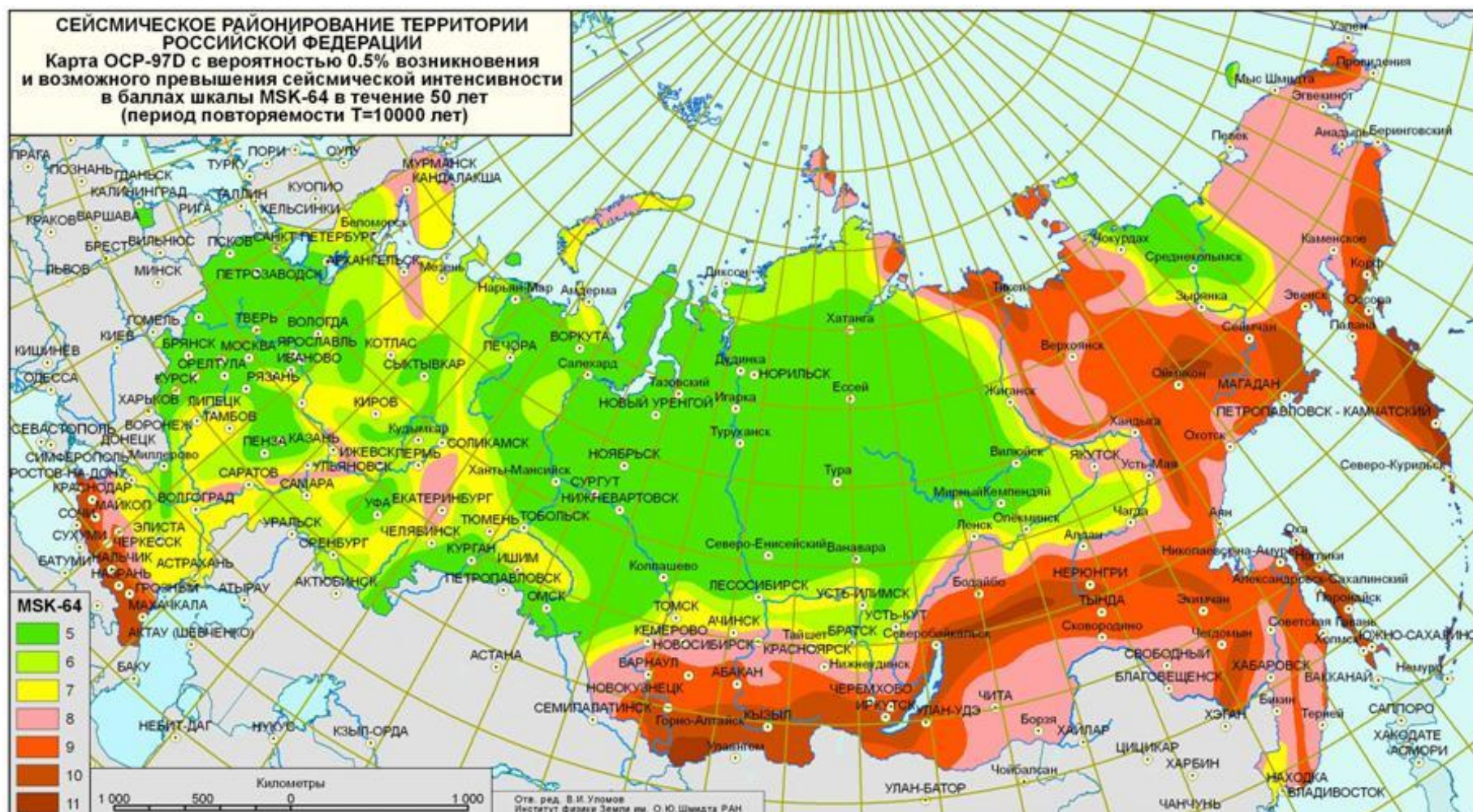


Рисунок 7.1

**Параметры динамического нагружения виброплатформы
в горизонтальной плоскости (датчик 1-4-1)**

Таблица 7.3

№ режима	Частота f (Гц)	Амплитуда A (мм)	Ускорение a (м/с ²)
1	1,5	1,8	0,8
2	2,3	1,0	1,0
3	3,1	0,8	0,9
4	3,4	2,3	4,0
5	3,5	1,9	1,0
6	4,3	1,8	1,3
7	5,2	1,2	1,3
8	5,3	1,7	0,8
9	1,8	4,2	0,5
10	2,6	4,0	1,0
11	3,5	3,7	1,8
12	4,2	2,9	2,0
13	4,5	2,9	2,8
14	1,7	6,0	0,7
15	2,6	6,0	1,7
16	3,3	5,4	2,3
17	3,9	4,9	2,9
18	4,1	4,5	3,0
19	1,2	7,3	0,5
20	2,2	6,0	1,8
21	2,8	7,4	2,3
22	3,2	7,1	2,9
23	1,5	10,3	1,0
24	2,2	9,5	1,8
25	2,6	9,2	2,4
26	2,9	8,8	3,0
27	3,4	8,5	3,9
28	6,5	1,2	1,9
29	7,2	12,1	4,7
30	8,5	6,7	18,6

**Параметры динамического нагружения виброплатформы
в вертикальной плоскости (датчик 1-4-2)**

Таблица 7.4

№ режима	Частота f (Гц)	Амплитуда A (мм)	Ускорение a (м/с ²)
1	1,5	0,1	0,2
2	2,3	0,1	0,1
3	3,1	0,3	0,1
4	3,4	0,1	0,4
5	3,5	0,3	0,1
6	4,3	0,1	0,3
7	5,2	0,1	0,2
8	5,3	0,1	0,1
9	1,8	0,3	0,1
10	2,6	0,2	0,1
11	3,5	0,1	0,1
12	4,2	0,1	0,1
13	4,5	0,1	0,2
14	1,7	0,1	0,2
15	2,6	0,1	0,6
16	3,3	0,2	0,7
17	3,9	0,1	0,1
18	4,1	0,1	0,1
19	1,2	0,1	0,1
20	2,2	0,1	0,1
21	2,8	0,7	0,2
22	3,2	0,1	0,1
23	1,5	0,2	0,1
24	2,2	0,1	0,1
25	2,6	0,1	0,3
26	2,9	0,1	0,4
27	3,4	0,2	0,1
28	6,5	0,1	0,1
29	7,2	2,1	3,3
30	8,5	1,5	4,3

**Параметры динамического нагружения опытного образца
в горизонтальной плоскости (датчик 1-4-3)**

Таблица 7.5

№ режима	Частота f (Гц)	Амплитуда A (мм)	Ускорение a (м/с ²)
1	1,5	2,4	1,7
2	2,3	4,0	4,3
3	3,1	8,4	10,0
4	3,4	2,9	4,8
5	3,5	3,0	1,5
6	4,3	3,7	2,7
7	5,2	7,3	7,7
8	5,3	9,1	10,4
9	1,8	4,8	0,6
10	2,6	5,0	1,3
11	3,5	5,8	2,8
12	4,2	6,3	4,4
13	4,5	7,8	6,4
14	1,7	6,8	0,8
15	2,6	7,6	2,0
16	3,3	8,0	3,4
17	3,9	9,0	5,3
18	4,1	9,5	6,2
19	1,2	8,0	0,6
20	2,2	7,0	1,4
21	2,8	9,7	3,0
22	3,2	10,5	4,3
23	1,5	11,3	1,0
24	2,2	11,2	2,2
25	2,6	11,6	3,0
26	2,9	12,2	4,2
27	3,4	13,7	6,2
28	6,5	3,2	5,3
29	7,2	15,0	10,3
30	8,5	31,2	21,5

**Параметры динамического нагружения опытного образца
в вертикальной плоскости (датчик 1-4-4)**

Таблица 7.6

№ режима	Частота f (Гц)	Амплитуда A (мм)	Ускорение a (м/с ²)
1	1,5	0,5	0,3
2	2,3	1,0	1,0
3	3,1	2,1	2,6
4	3,4	0,3	0,4
5	3,5	0,4	0,2
6	4,3	0,7	0,5
7	5,2	1,6	1,6
8	5,3	2,7	3,0
9	1,8	0,3	0,1
10	2,6	0,5	0,1
11	3,5	0,9	0,4
12	4,2	1,2	0,9
13	4,5	1,6	1,3
14	1,7	0,5	0,1
15	2,6	0,9	0,2
16	3,3	1,1	0,5
17	3,9	1,5	0,9
18	4,1	1,8	1,1
19	1,2	0,5	0,1
20	2,2	0,6	0,1
21	2,8	1,1	0,3
22	3,2	1,4	0,6
23	1,5	0,9	0,1
24	2,2	1,0	0,2
25	2,6	1,2	0,3
26	2,9	1,5	0,5
27	3,4	2,0	0,9
28	6,5	0,7	1,2
29	7,2	1,8	1,6
30	8,5	1,0	3,0

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выводы и рекомендации.

На основе анализа результатов динамических исследований с оценкой сейсмостойкости навесных фасадных систем с воздушным зазором НФС типа «Альт-Фасад» можно отметить следующее:

1. В соответствии с программой экспериментальных исследований на виброплатформе Центра исследований сейсмостойкости сооружений были проведены динамические испытания навесных фасадных систем «Альт-Фасад»:

- «Альт-Фасад-05» с облицовкой плитами из натурального камня;
- «Альт-Фасад-А/КГ» с облицовкой керамогранитными плитами;
- «Альт-Фасад-А/КЛ» с облицовкой декоративными (дизайнерскими) плитками «под кирпич» из литьевого бетона и клинкерными плитками;
- «Альт-Фасад-А/ФБ» с облицовкой плитами из хризотилцемента.

2. При динамических испытаниях моделировались нагрузки, соответствующие сейсмическим воздействиям 7-9 баллов по шкале MSK-64.

3. По результатам испытаний систем наружных фасадов «Альт-Фасад» может быть рекомендовано следующее:

- система «Альт-Фасад-05» с использованием несущих подконструкций из нержавеющей и оцинкованной стали допускается их применение в сейсмоопасных регионах с балльностью площадки 7-9 баллов по шкале MSK без каких-либо конструктивных изменений;
- системы «Альт-Фасад-А/КГ», «Альт-Фасад-А/ФБ», «Альт-Фасад-А/КЛ» с использованием несущих подконструкций из алюминия допускается их применение в сейсмоопасных регионах с балльностью площадки 7-9 баллов по шкале MSK-64 при внесении в конструктивное решение НФС изменений, предложенных специалистами ЦНИИСК (см. раздел 3 настоящего отчета) в части устройства дополнительных связевых элементов.

- 4. При применении навесных фасадных систем «Альт-Фасад» в сейсмических районах при балльности площадки строительства 7-9 баллов должны соблюдаться требования, касающиеся долговечности, коррозионной и огнестойкости элементов фасадной системы.**
5. В приложении 2 к настоящему отчету приведена видеосъемка испытания навесных фасадных систем НФС «Альт-Фасад» на динамические нагрузки, моделирующие сейсмические воздействия 7-9 баллов по шкале MSK-64.
6. В приложении 3 к отчету приведен аттестат на сеймоплатформу, утвержденный ФБУ «Ростест-Москва».

Список литературы

1. Альбом технических решений «Навесная фасадная система с воздушным зазором «Альт-Фасад-05» для облицовки плитами из натурального камня и агломератными плитами».
2. Альбом технических решений «Конструкции навесной алюминиевой теплоизоляционной фасадной системы «Альт-Фасад-А/КГ» для облицовки плитами из керамического гранита на видимом и скрытом креплении».
3. Альбом технических решений «Конструкции навесной алюминиевой теплоизоляционной фасадной системы «Альт-Фасад-А/КЛ» и «Альт-Фасад-А/НК» для облицовки плитами из натурального камня и агломератными плитами на скрытом креплении, декоративными плитками «под кирпич», клинкерными плитками»
4. Альбом технических решений «Конструкции навесной алюминиевой теплоизоляционной фасадной системы «Альт-Фасад-А/ФБ» для облицовки плоскими фиброцементными и асбоцементными панелями, панелями ROCKPANEL с видимым и скрытым креплением».
5. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости».
6. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (Актуализированного СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) с Изменением №1).
7. Поляков С.В., «Сейсмостойкие конструкции зданий», Изд. «Высшая школа», М., 1969г., 335 с.
8. Корчинский И.Л. и др., «Сейсмостойкое строительство зданий», Изд. «Высшая школа», М., 1971г., 319 с.
9. Карапетян Б.К. «Колебание сооружений, возведенных в Армении», Изд. «Айостан», Ереван, 1967.
10. Корчинский И.Л., Беченева Г.В. «Прочность строительных материалов при динамических нагрузениях», Стройиздат, М., 1966г.

11. Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко ГОССТРОЯ СССР. - М., 1980, 62 с.
12. Назаров А.Г., С.С. Дарбинян. Шкала для определения интенсивности сильных землетрясений на количественной основе. // В. кн.: Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. Академия наук СССР. Междуведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС) при президиуме АН СССР. М.: Наука, 1975.
13. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

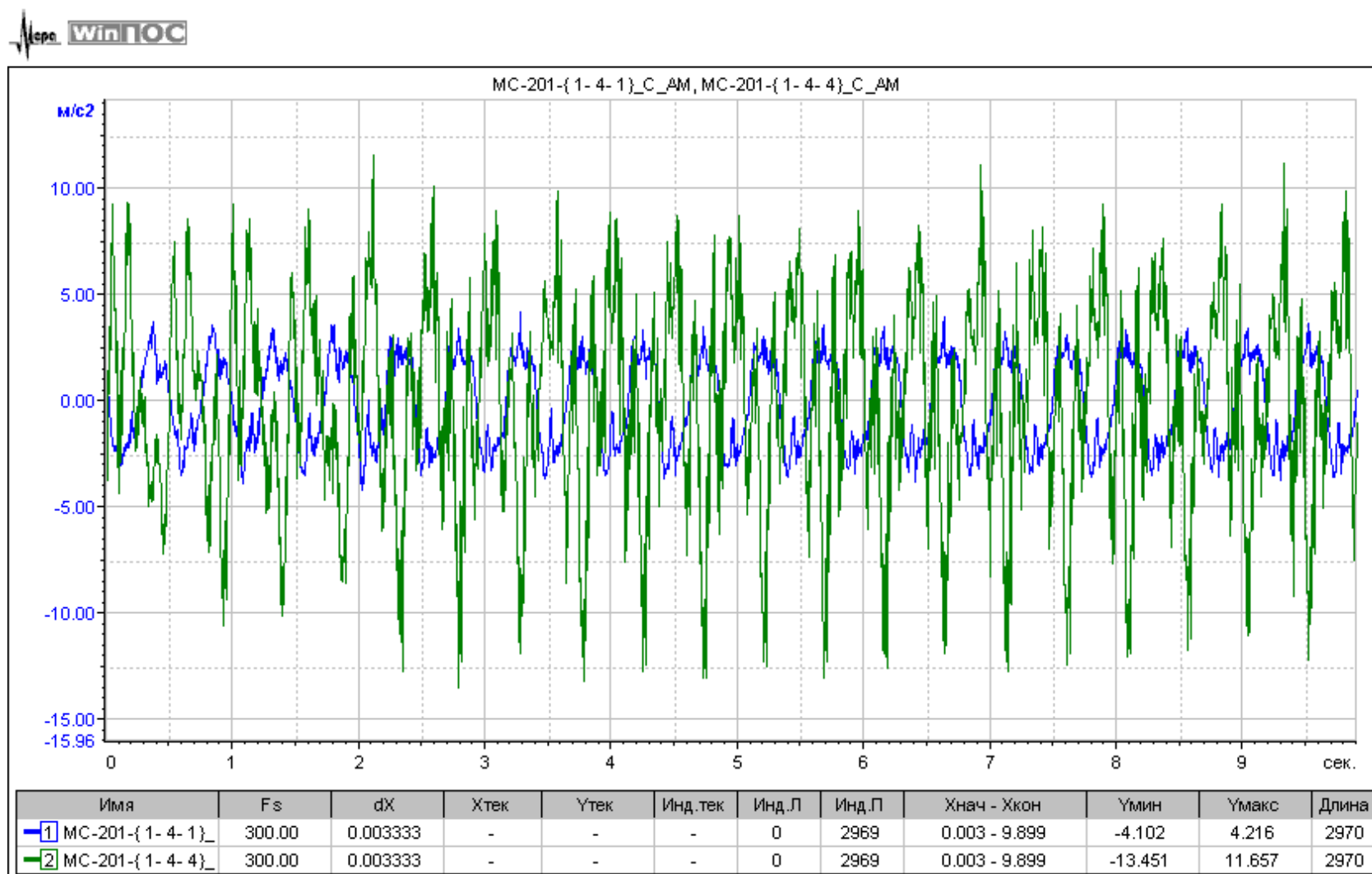


Рис. П1.1 Акселерограмма горизонтальных ускорений. Режим 24.

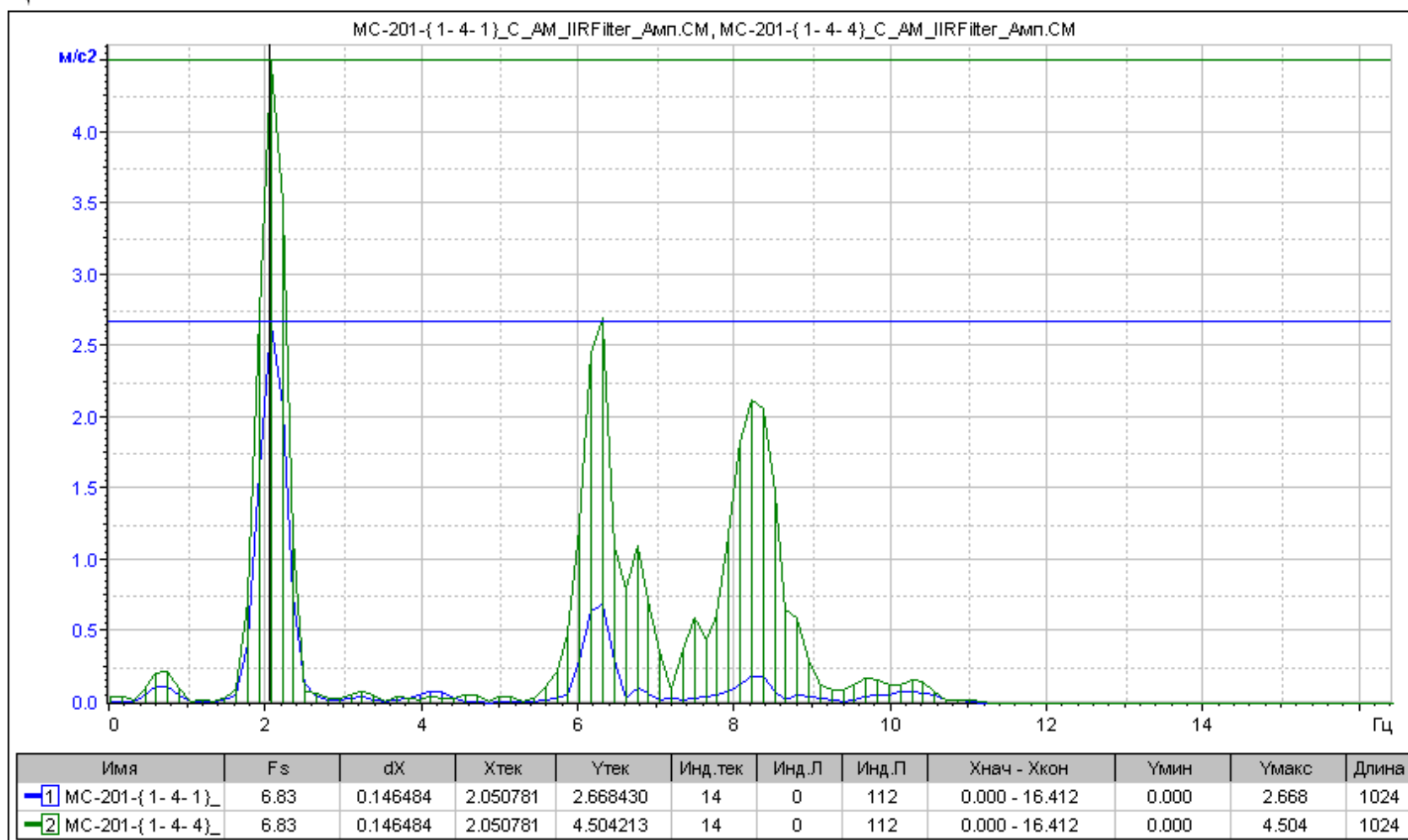


Рис. П1.2 Спектр пиковых значений горизонтальных ускорений. Режим 24.

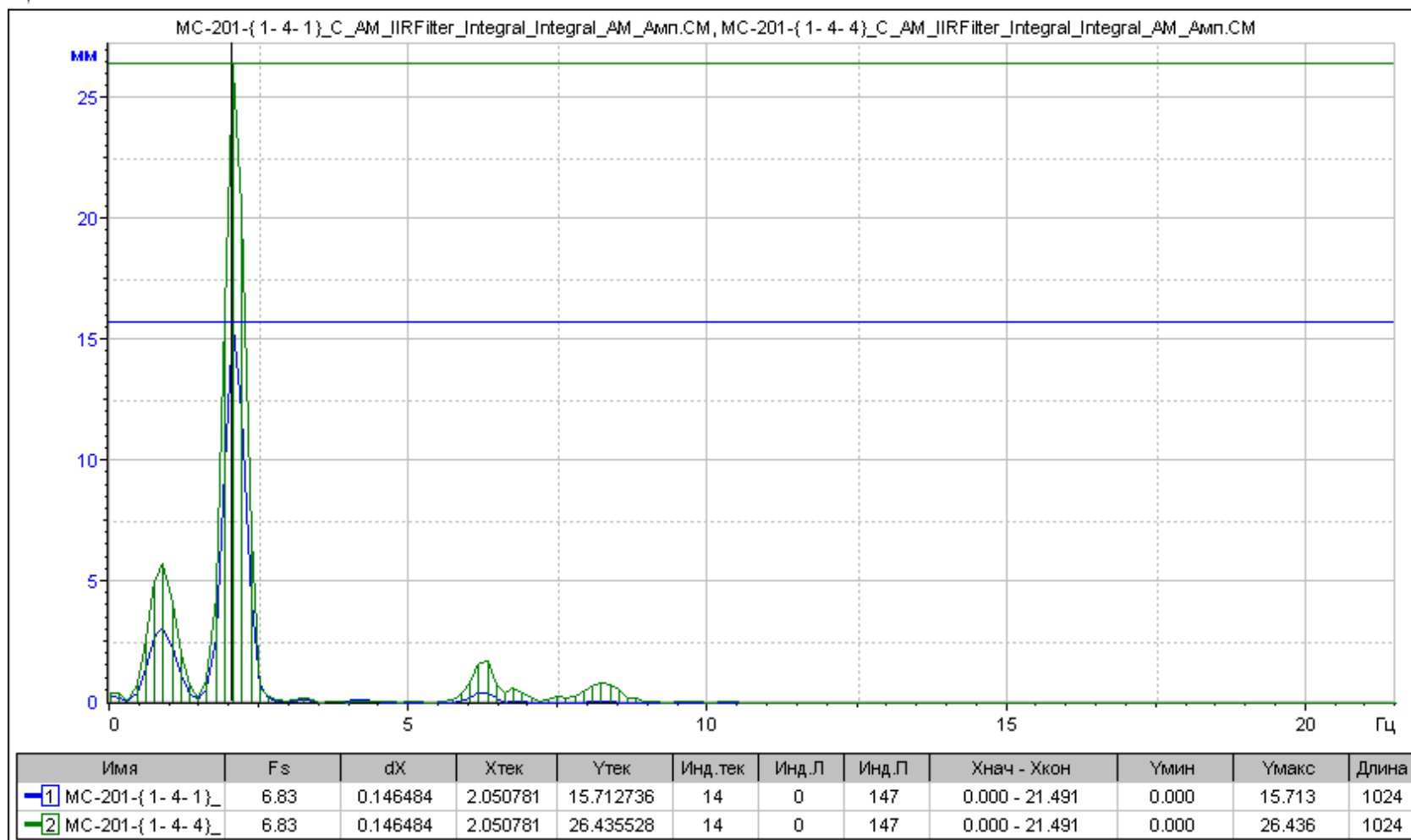


Рис. П1.3 Спектр пиковых значений горизонтальных перемещений. Режим 24.

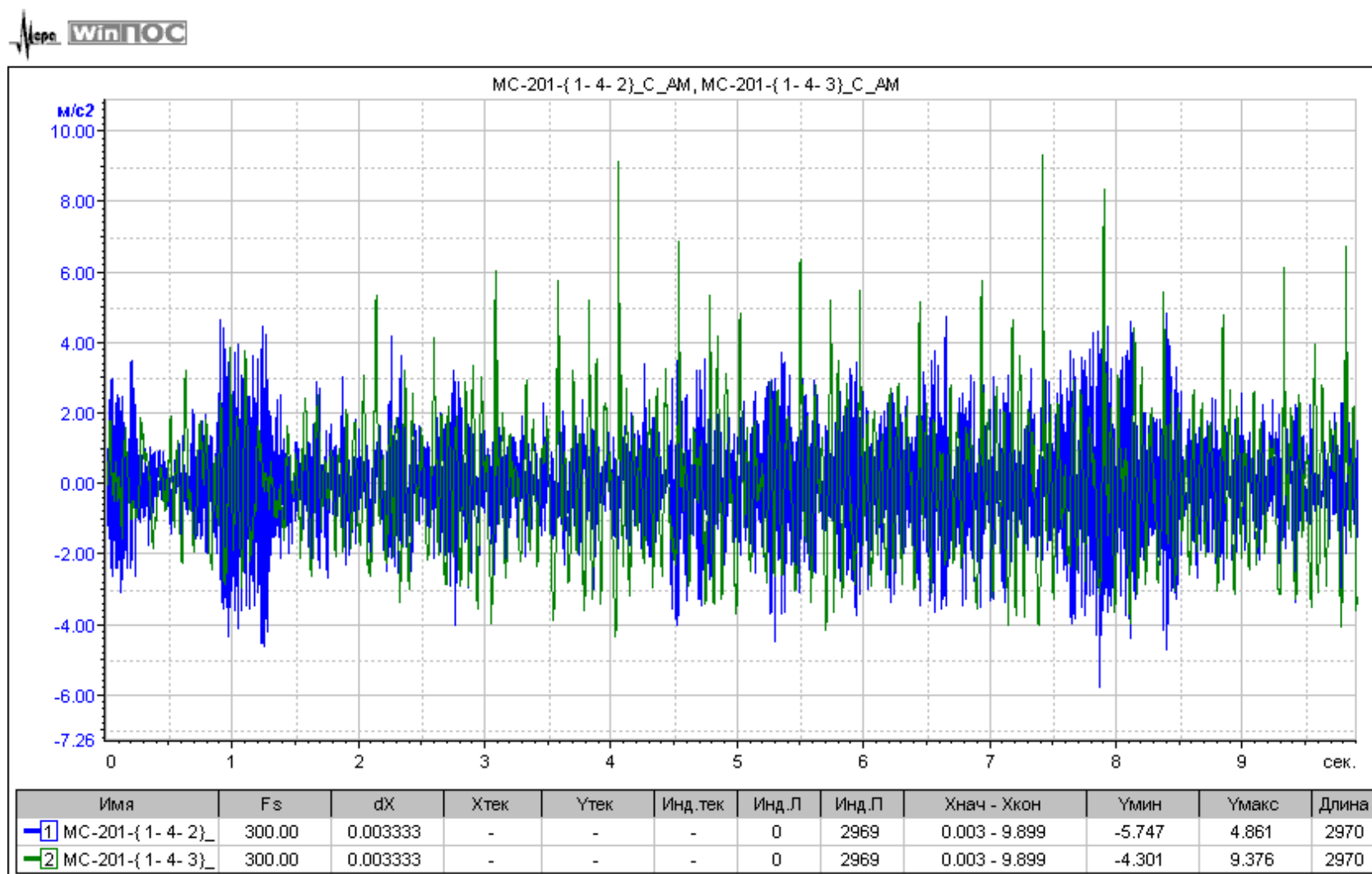


Рис. П1.4 Акселерограмма вертикальных ускорений. Режим 24.

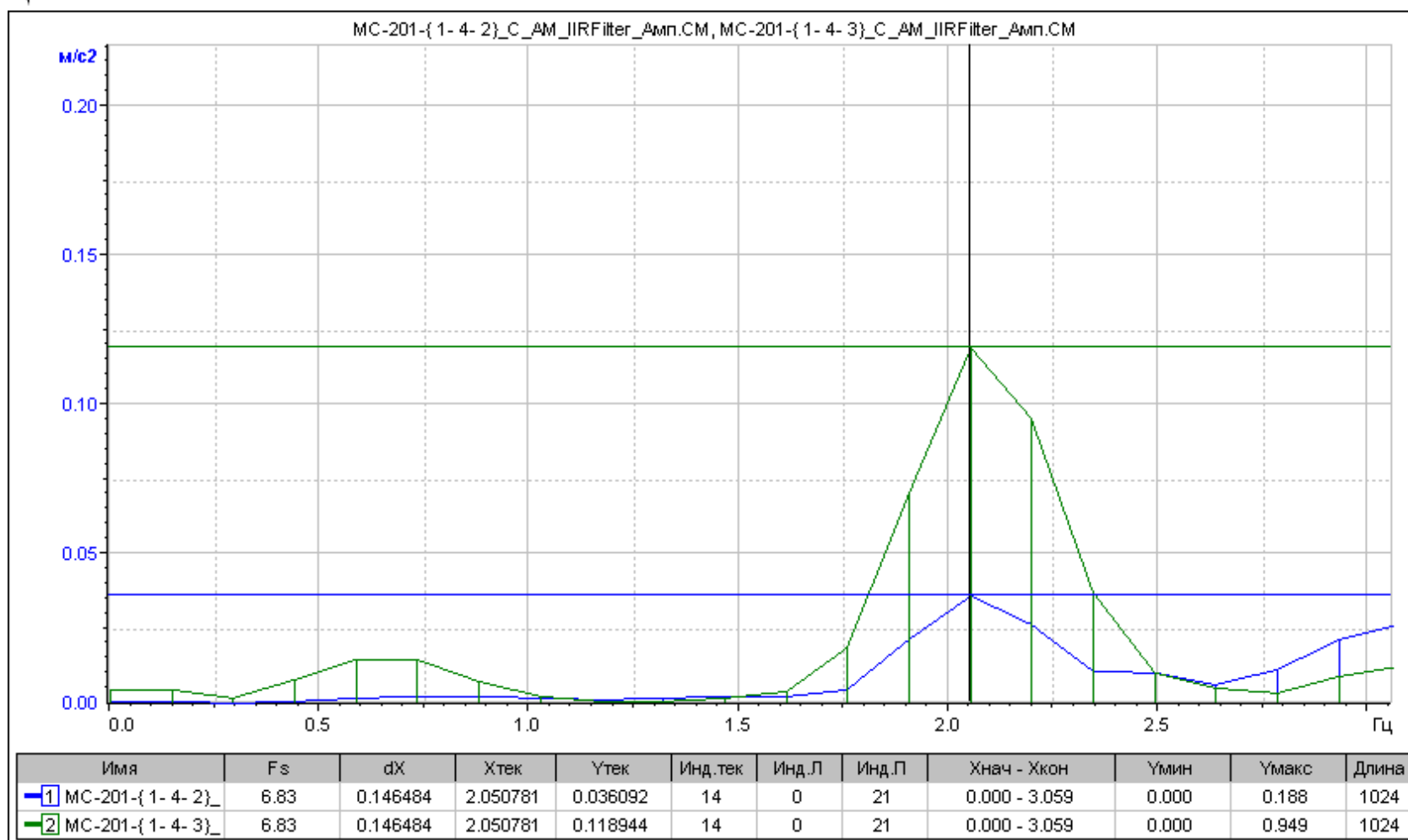


Рис. П1.5 Спектр пиковых значений вертикальных ускорений. Режим 24.

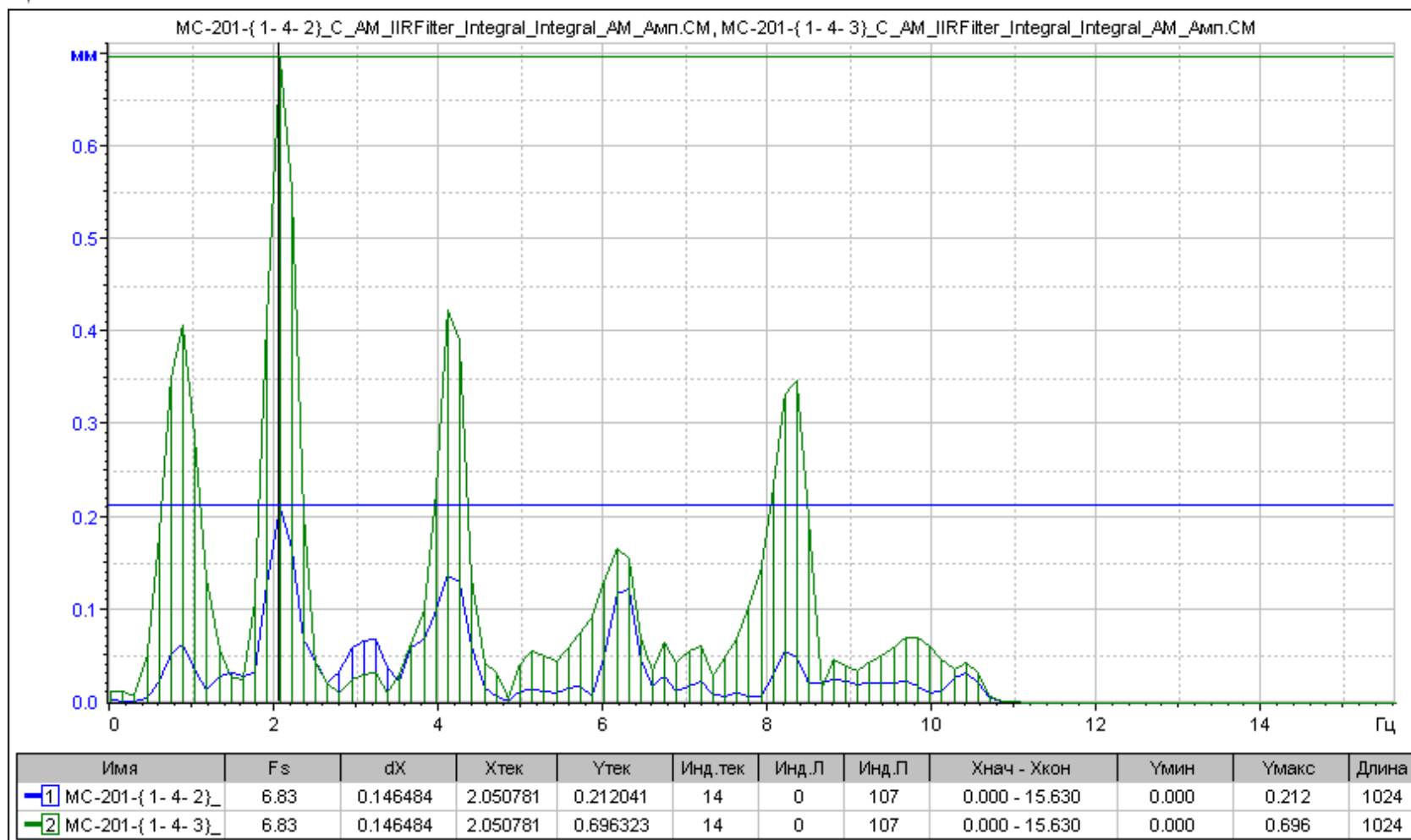


Рис. П1.6 Спектр пиковых значений вертикальных перемещений. Режим 24.

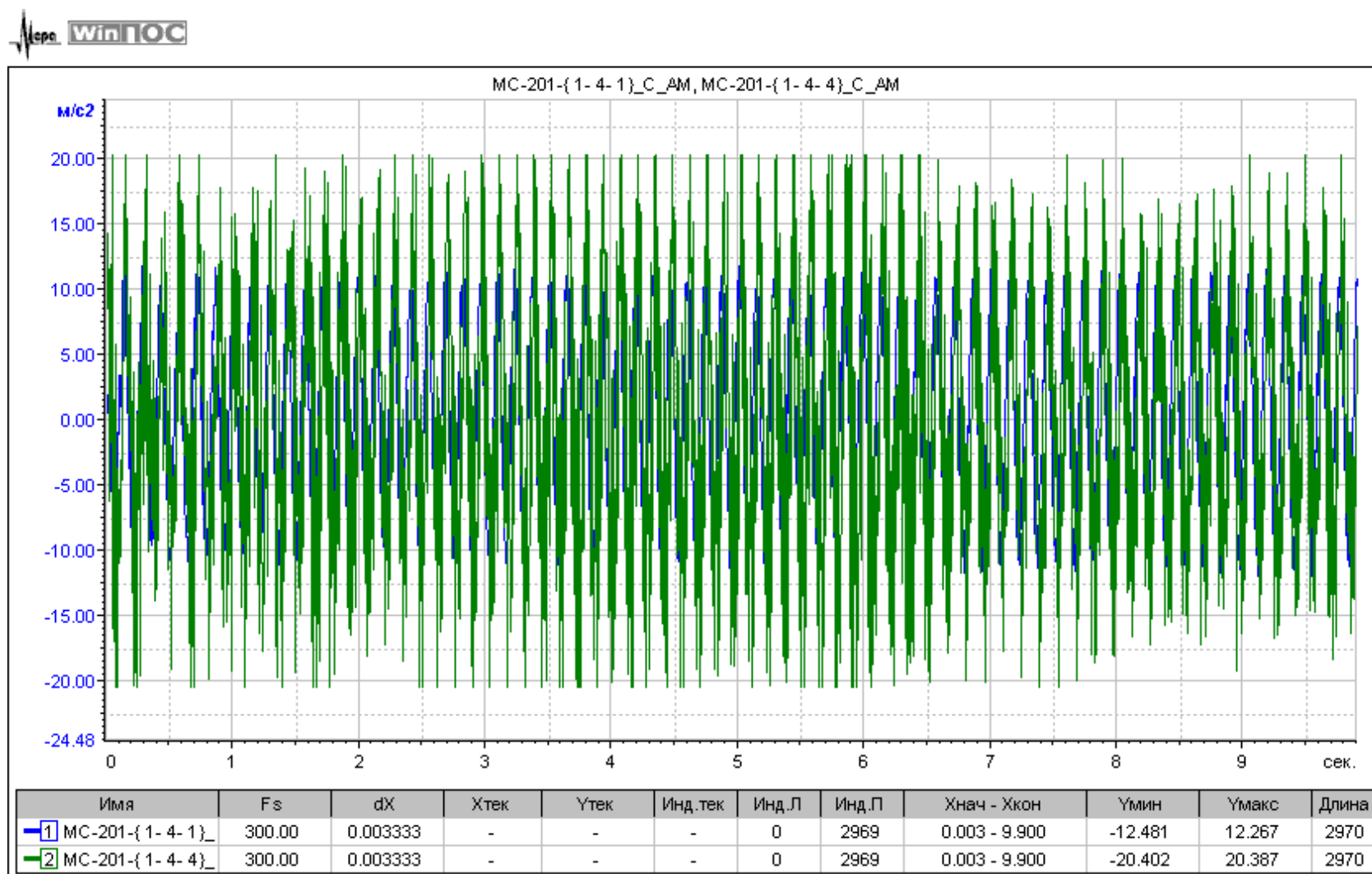


Рис. П1.7 Акселерограмма горизонтальных ускорений. Режим 29.

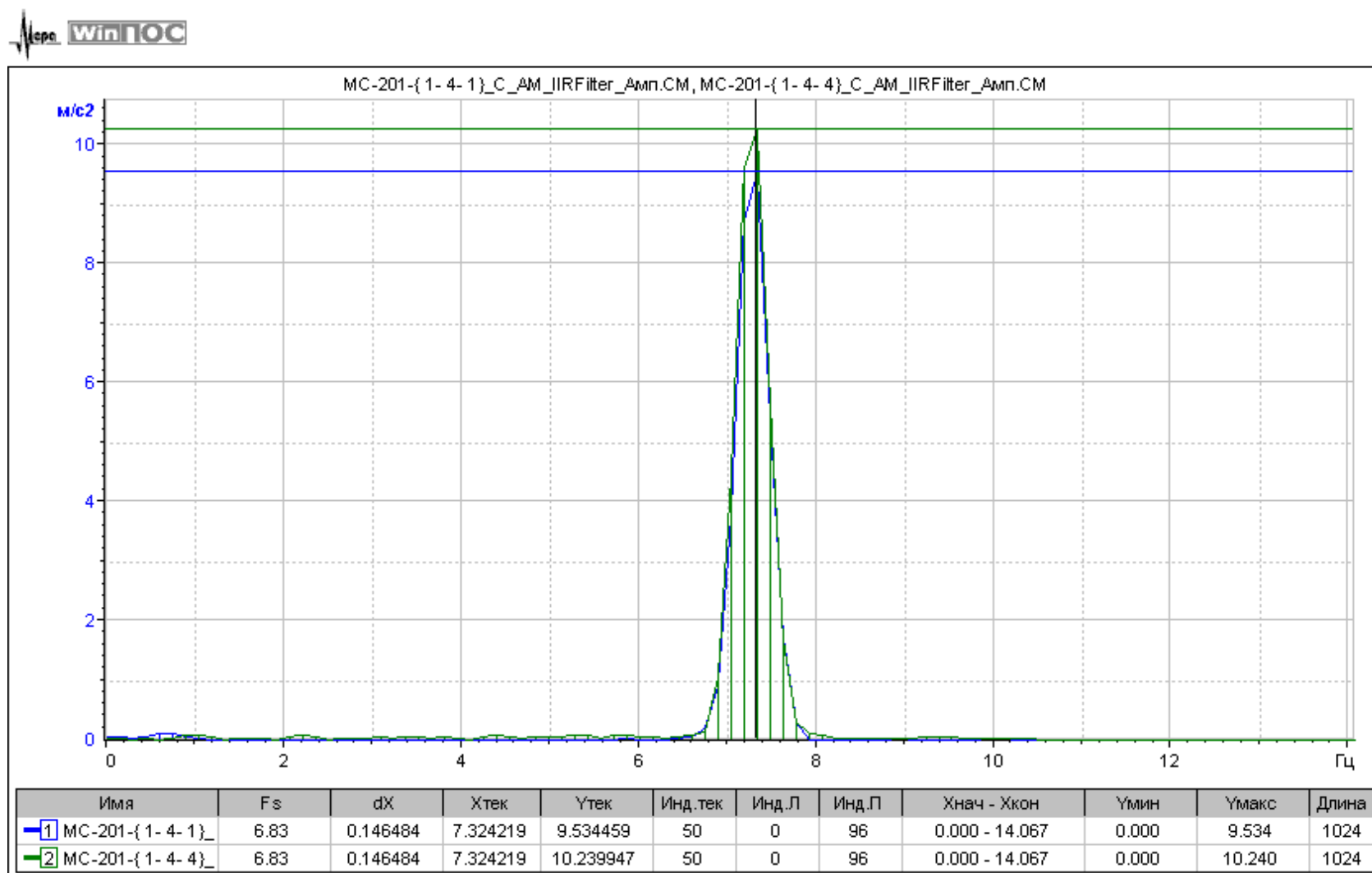


Рис. П1.8 Спектр пиковых значений горизонтальных ускорений. Режим 29.

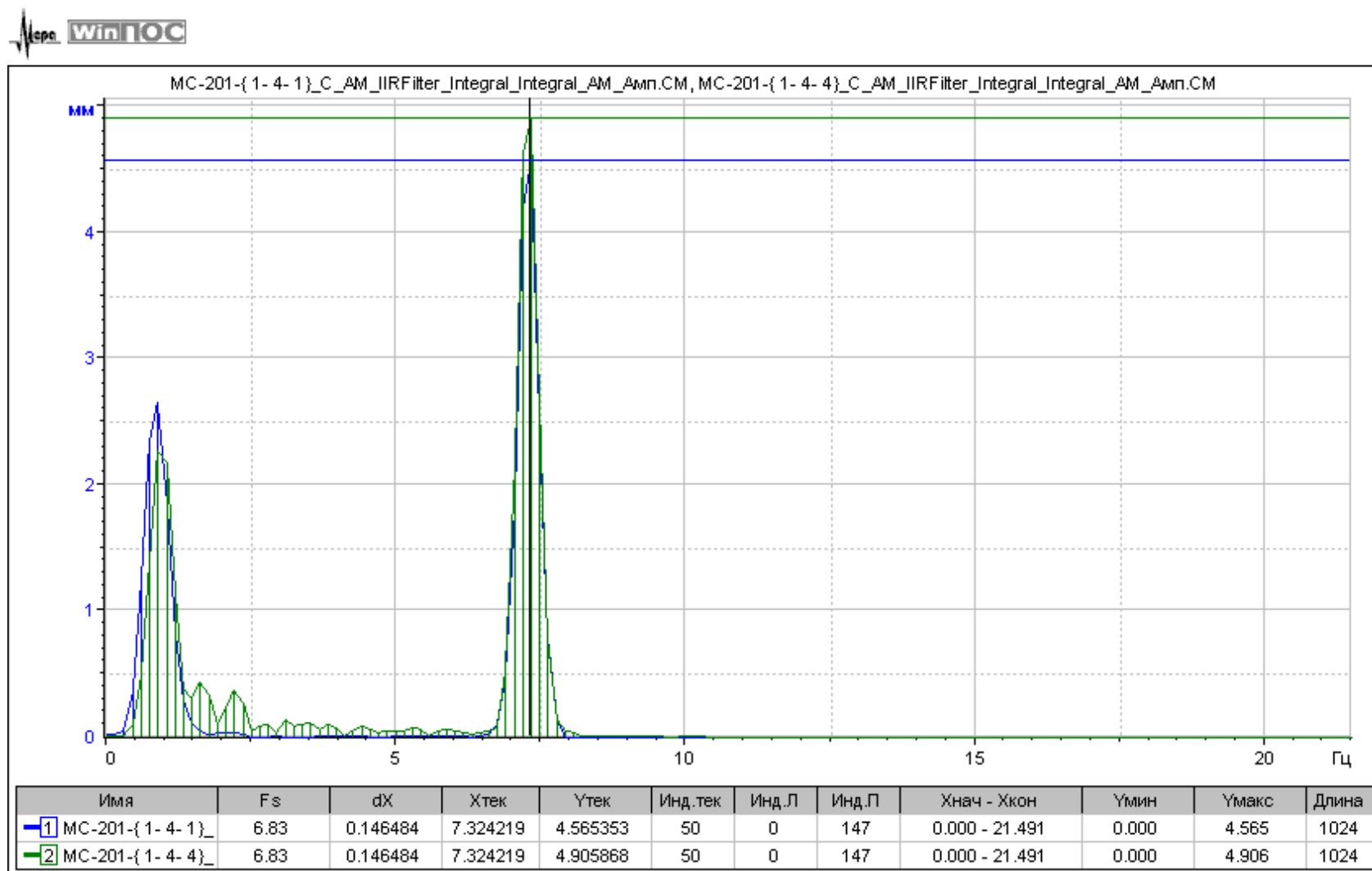


Рис. П1.9 Спектр пиковых значений горизонтальных перемещений. Режим 29.

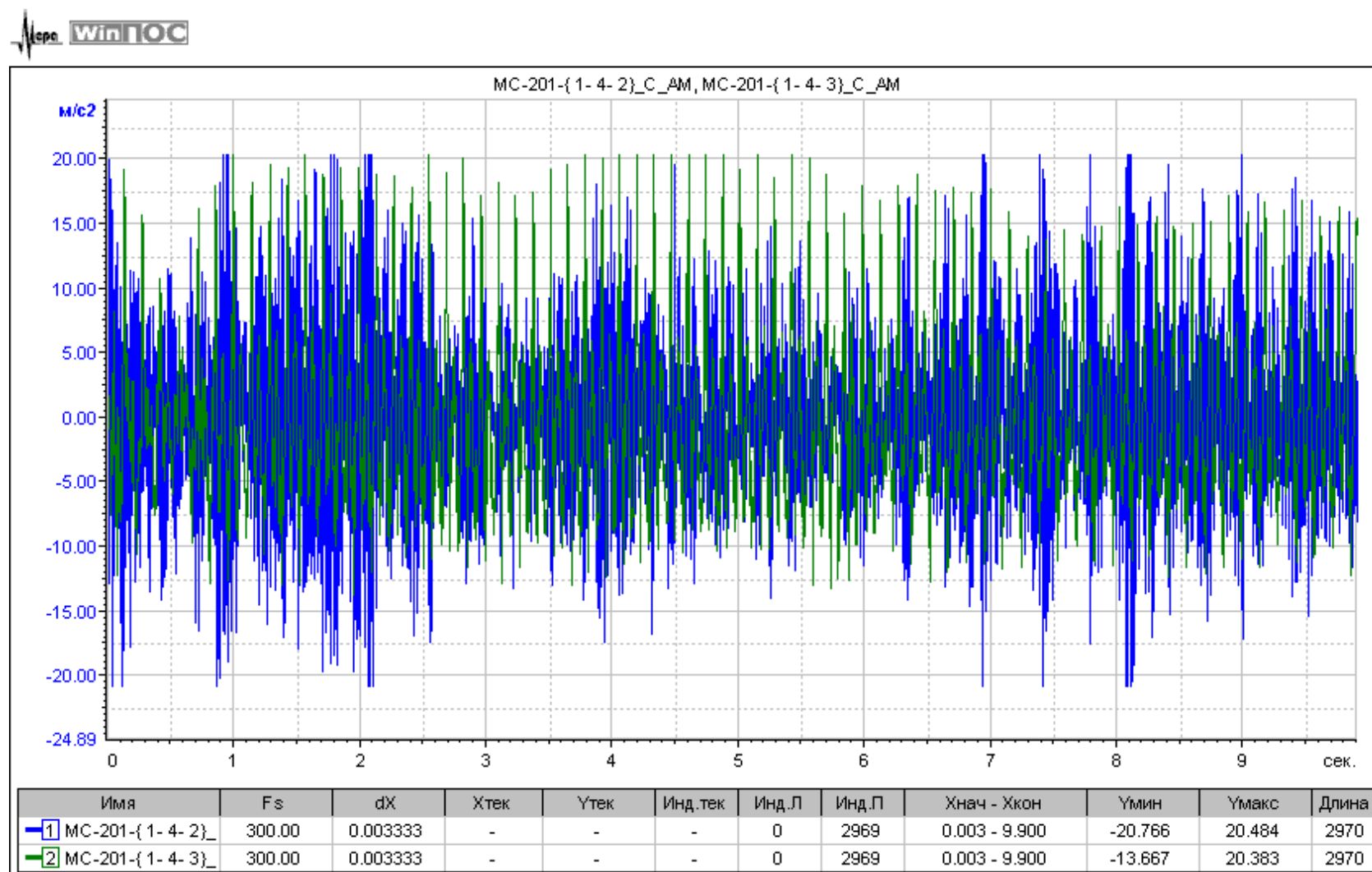


Рис. П1.10 Акселерограмма вертикальных ускорений. Режим 29.

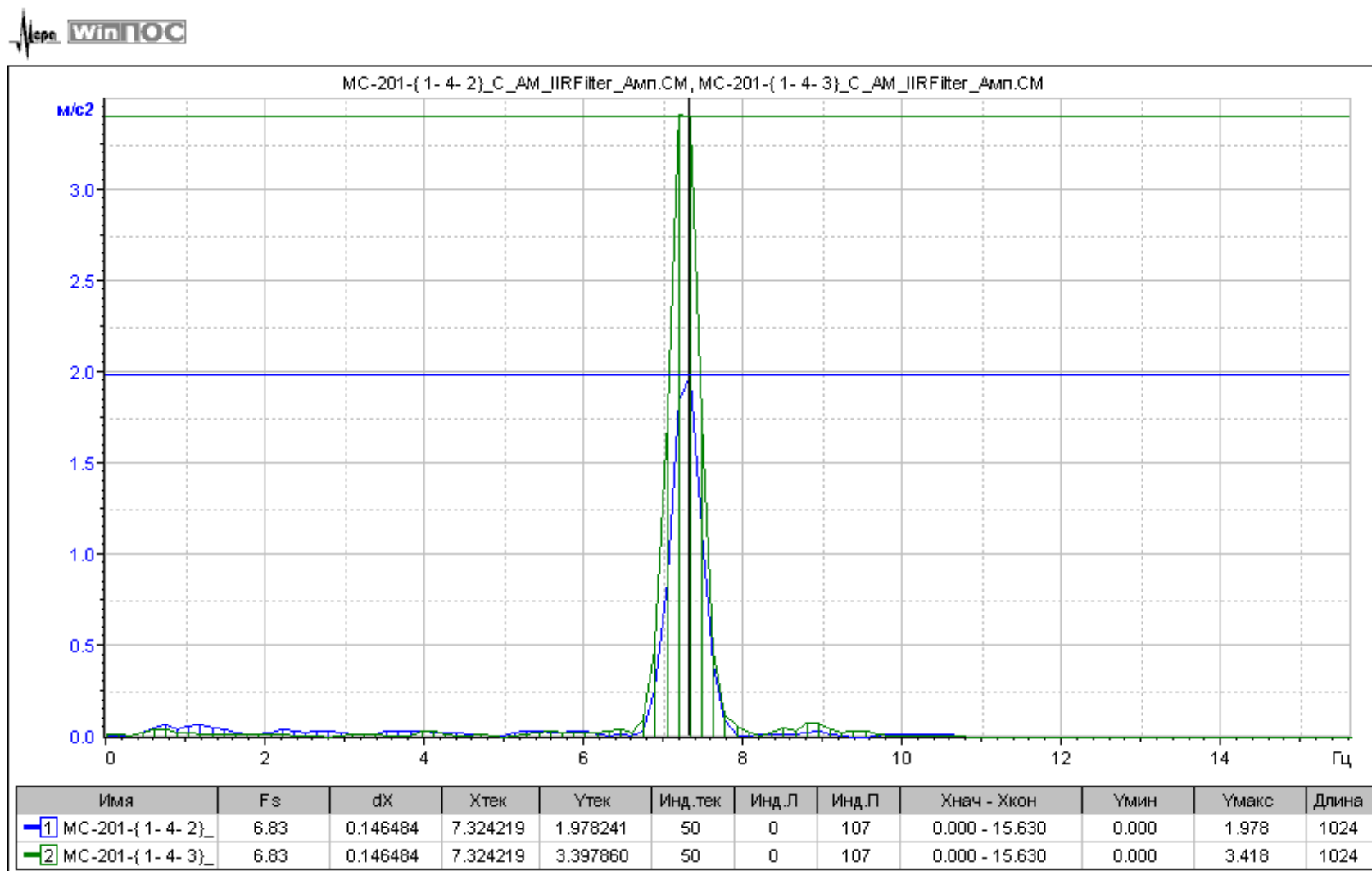


Рис. П1.11 Спектр пиковых значений вертикальных ускорений. Режим 29.

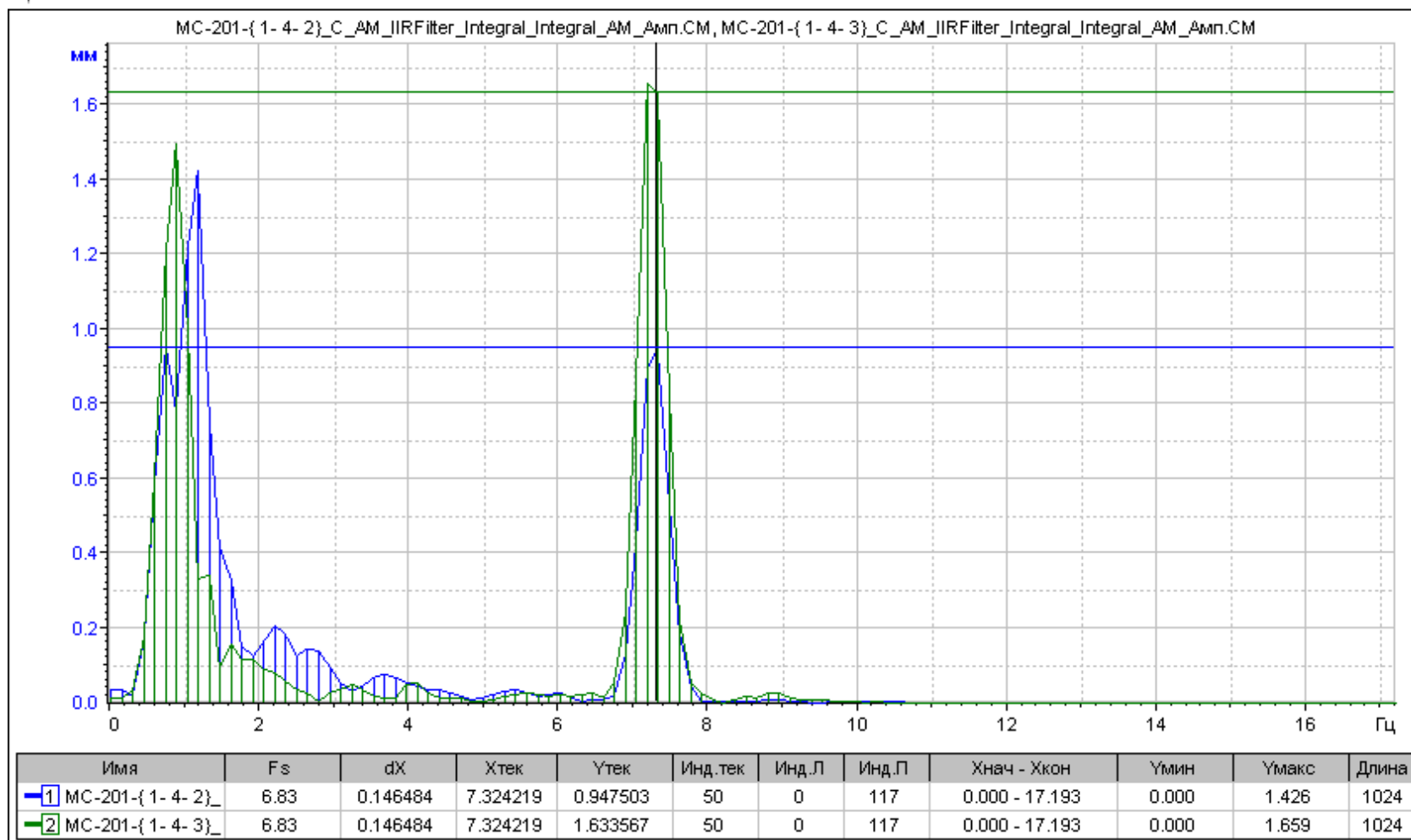


Рис. П1.12 Спектр пиковых значений вертикальных перемещений. Режим 29.

ВИДЕОСЪЕМКА ИСПЫТАНИЙ

СВИДЕТЕЛЬСТВО