«Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD Office 21»

г. Москва, 23 апреля 2014 г.

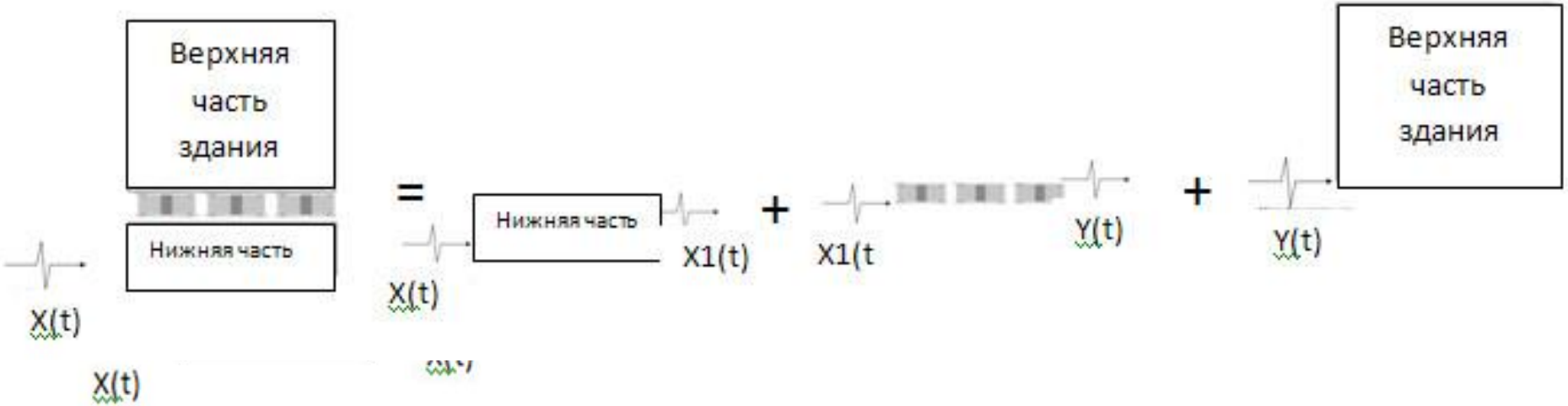
Приближенные методики расчета зданий с системой сейсмоизоляции на сейсмические воздействия.

Бубис А.А., Юн А.Я., Петряшев С.О., Петряшев Н.О.

ЦИСС ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко.

Специалистами Центра Исследования Сейсмостойкого Строительства ЦНИИСК им. Кучеренко был предложен метод расчета зданий с резинометаллическими опорами на действие сейсмических нагрузок, с использованием модифицированных спектров ускорений.

Для учета нелинейного характера работы системы сейсмоизоляции, при определении расчетных значений узловых сейсмических нагрузок используется специально полученный график спектра ускорений. Построение графика спектра ускорений осуществляется в программном «фильтре», написанном на языке Fortran, на основе анализа региональных особенностей, конструктивных решений и грунтовых условий непосредственно на площадке строительства. При расчете сейсмических нагрузок спектр ускорений задается в расчетный комплекс вместо графика коэффициентов динамичности



Характеристики резинометаллических сейсмоопор.

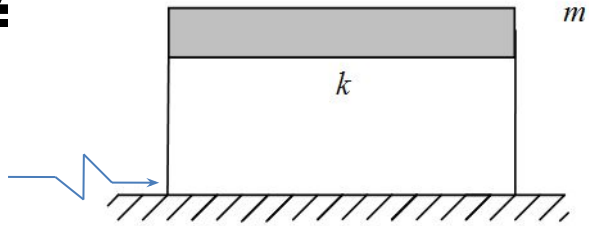
Типы сейссмоопор	W Проектная несущая способность при напряжении 15 МПа, кН	d Проектные перемещения, мм	Qd Горизонтальная сила в точке начала пластических деформаций, кН	Ku Начальная горизонтальная жесткость, кН/мм	Kd Касательная горизонтальная жесткость в пластической стадии, кН/мм	Keq Секущая жесткость при 100% проектном перемещении, кН/мм
GZY300V5A	1000	58	24	6.01	0.755	1.11
GZY350V5A	1400	68	24	6.775	0.845	1.135
GZY400V5A	1800	69	42.75	9.03	1.13	1.665
GZY500V5A	2800	93	66.75	10.455	1.31	1.925
GZY600V5A	4000	124	96.1	11.27	1.41	2.075
GZY700V5A	5600	140	96.1	13.165	1.645	2.2
GZY800V5A	7300	152	96.1	15.535	1.945	2.42
GZY900V5A	9300	153	112.8	19.44	2.43	2.975
GZY1000V5A	11500	160	130.85	22.87	2.855	3.455

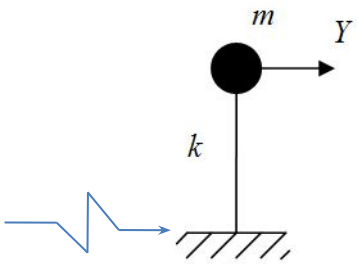
Физико – механические характеристики опор

Типы сейсмоопор	Ku-период сейсмоопоры в упругой стадии, сек	Kd-период сейсмоопоры в пластической стадии, сек	d – перемещения в точке начала пластических деформаций, см	CD-коэффициент демпфирования
GZY300V5A	0.81	2.2867	0.399	0.1 (или 10%)
GZY350V5A	0.9	2.557	0.354	
GZY400V5A	0.887	2.508	0.473	
GZY500V5A	1.028	2.905	0.638	
GZY600V5A	1.184	3.347	0.853	
GZY700V5A	1.3	3.666	0.730	
GZY800V5A	1.362	3.85	0.620	
GZY900V5A	1.374	3.887	0.580	
GZY1000V5A	1.409	3.988	0.572	

Модификация динамического возд

$$\ddot{y}(t) + FQ\dot{y}(t) + ky(t) = -\ddot{X}(t)$$





$k = w^2$ - жесткость опоры

$FQ = 2 * CD * w$ - затухание, CD – коэффициент затухания.

Собственные периоды колебания системы.

$$P_1 = 2\pi\sqrt{\frac{W}{k_u g}} \qquad P_2 = 2\pi\sqrt{\frac{W}{k_d g}}$$

W – вес здания;
Ku – начальная горизонтальная жесткость;
Kd – горизонтальная жесткость в пластической стадии

$RY = d_1 * w_1^{\,2}$ -максимальное значение ускорений до начала пластических деформаций в опоре.

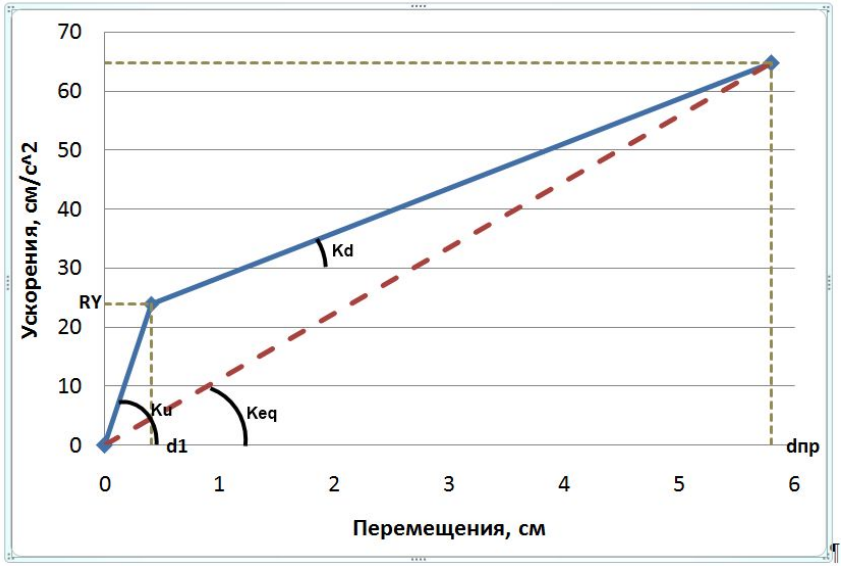
$$w_{1/2} = \begin{cases} 2\pi / P_1 & \text{если } y(t) <= \mathrm{RY} \\ 2\pi / P_2 & \text{если } y(t) >= \mathrm{RY} \end{cases}$$

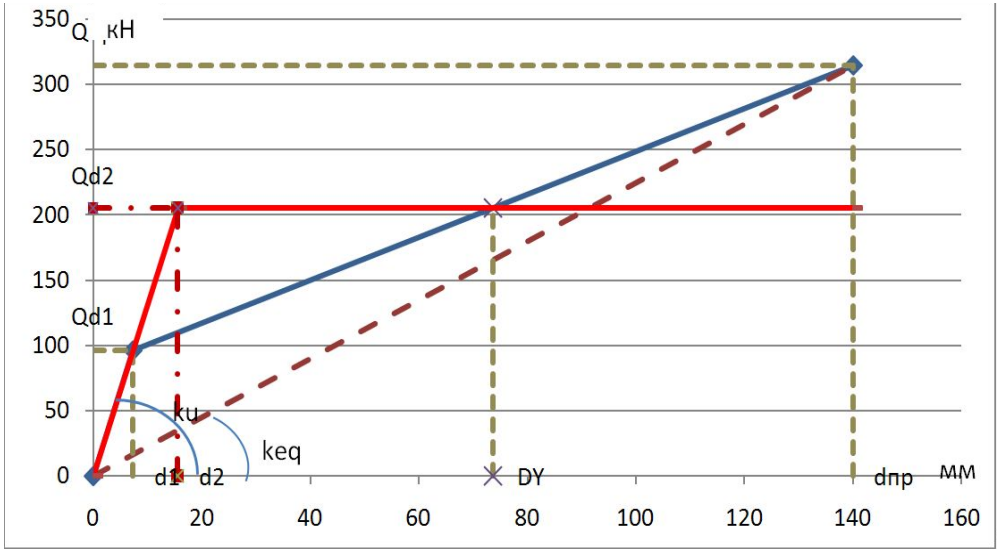
- круговая частота

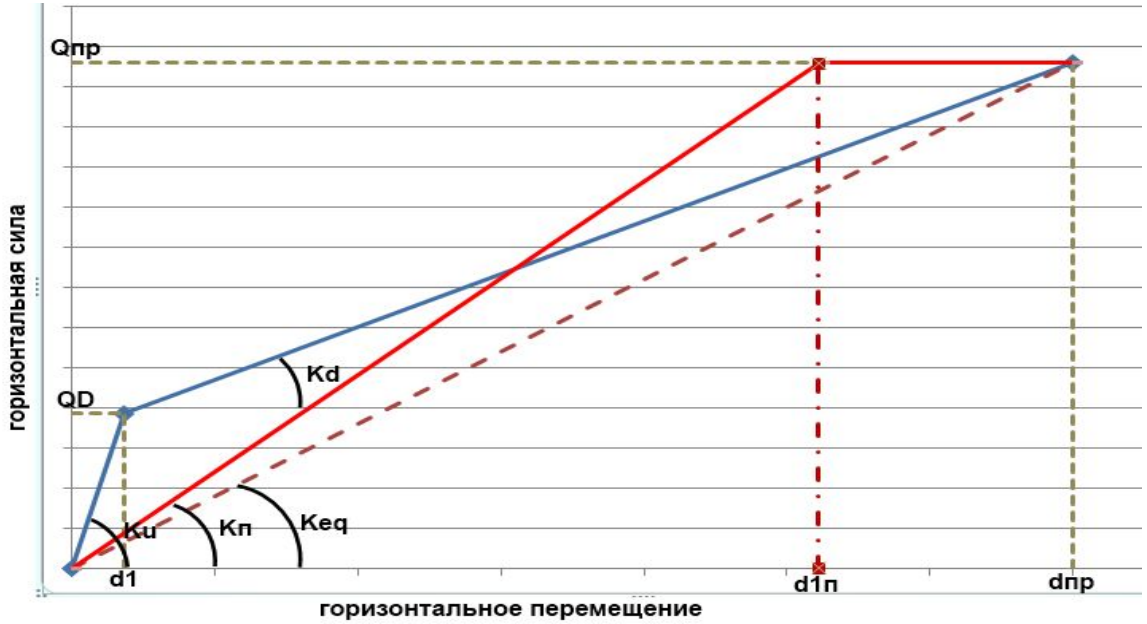
$$R(t) = \begin{cases} w_1^2 y(t) & \text{если } y(t) <= \mathrm{RY} \\ RY + w_2^2 (y(t) - d_1) & \text{если } y(t) >= \mathrm{RY} \end{cases}$$

- ускорение в уровне верха сейсмоопоры.

Диаграммы деформирования используемые в программе «фильтре».

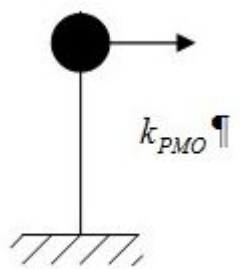






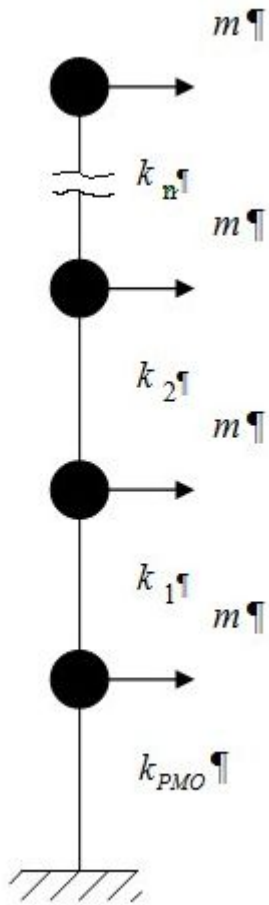
Принципы моделирования.

Одномассовая модель.

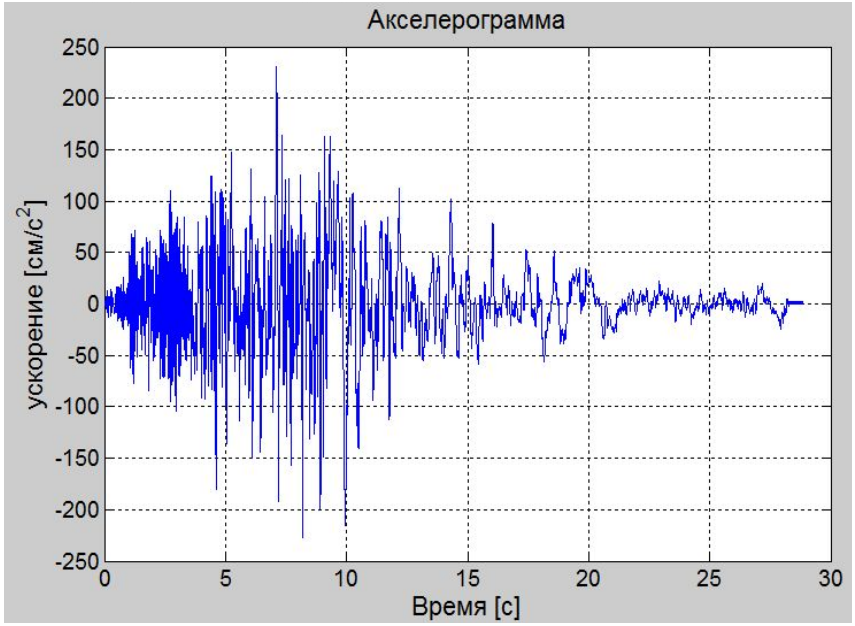


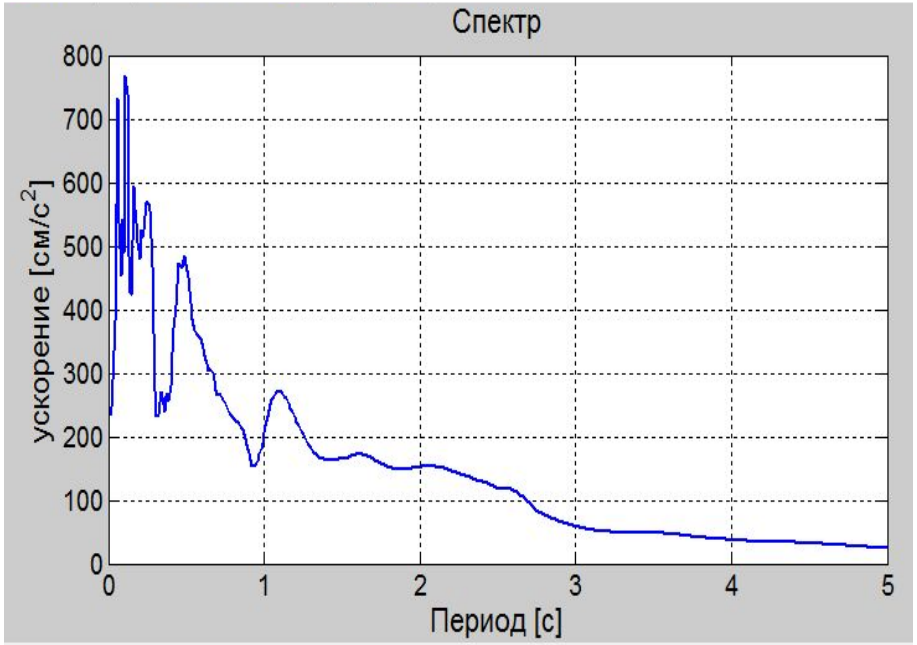
При расчете одномассовой модели жесткость системы описывается диаграммой работы РМО.

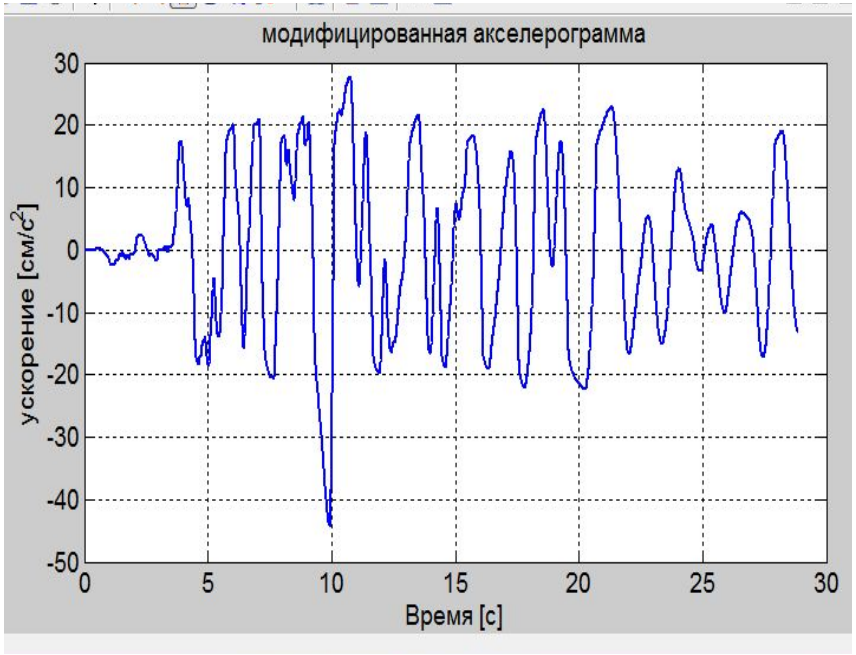
Многомассовая модель.

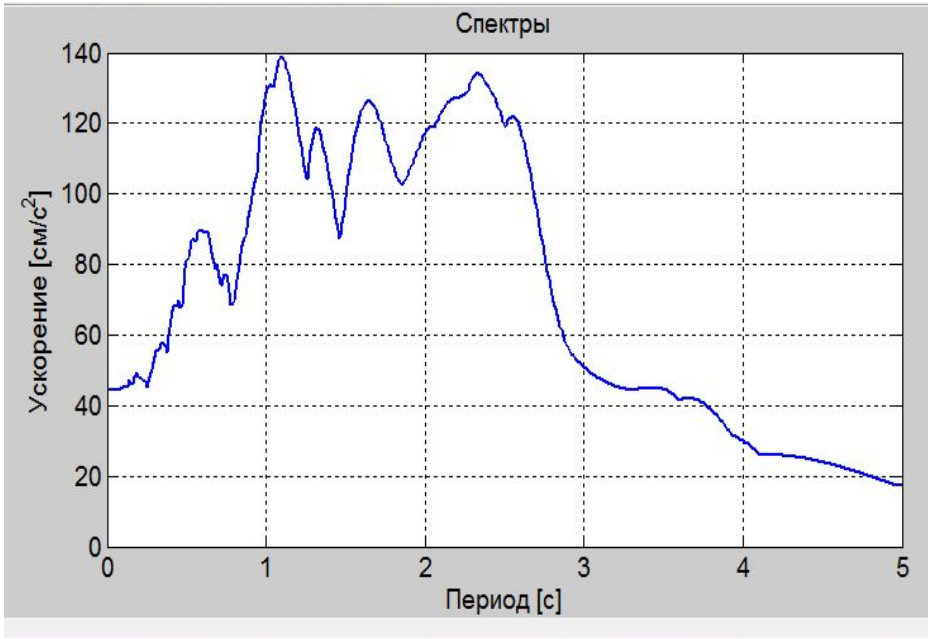


В многомассовой системе – для надопорных конструкций принята упругая модель работы, а жесткость нижнего этажа также описывается диаграммой работы РМО. Жесткость надопорных конструкций была подобрана таким образом, чтобы периоды собственных колебаний двухмассовой и пятимассовой систем были равны.

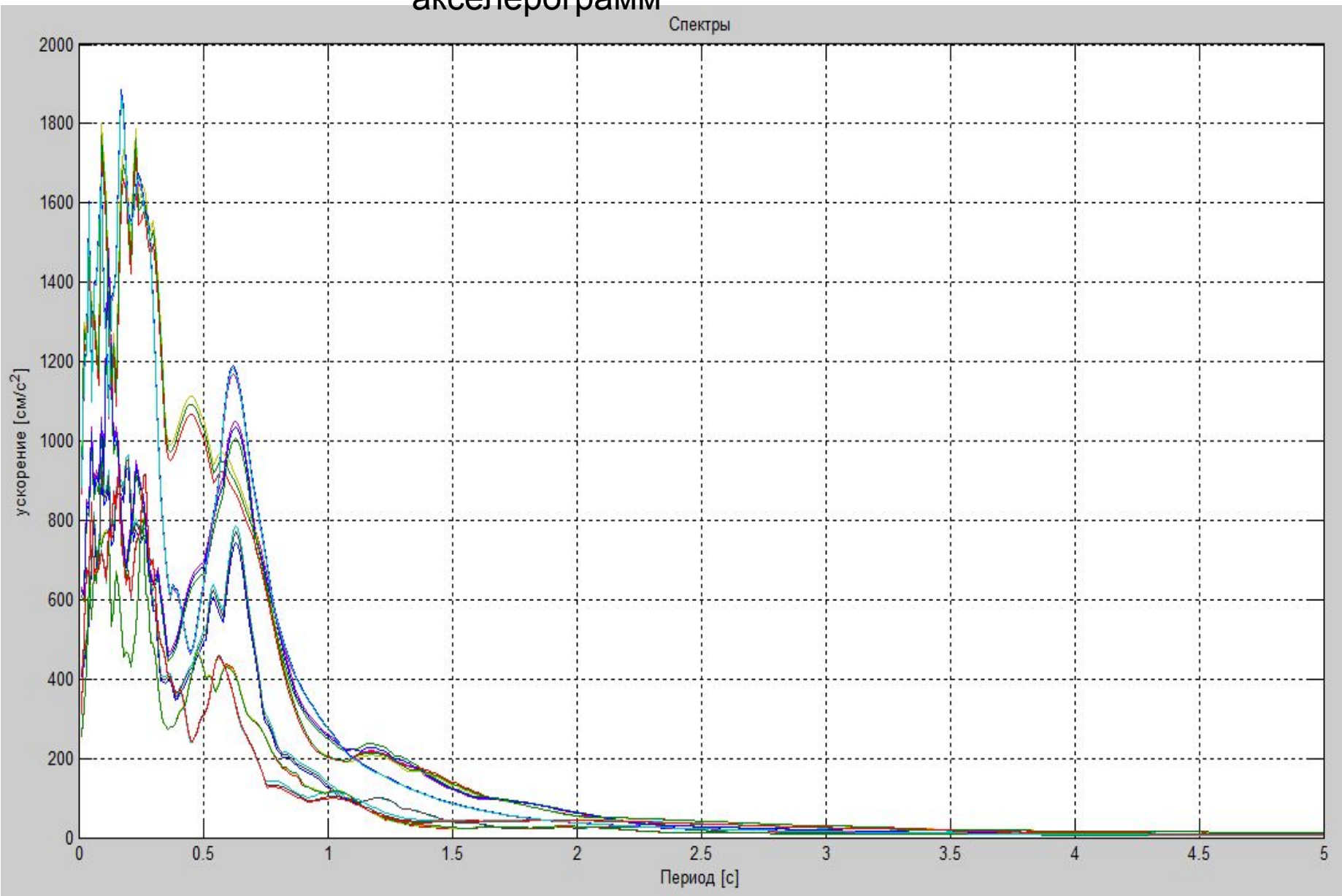

Акселерограмма
ускорение [см/с2]
Время [с]
250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
0
5
10
15
20
25
30


Спектр
ускорение [см/с2]
Период [с]
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1
2
3
4
5

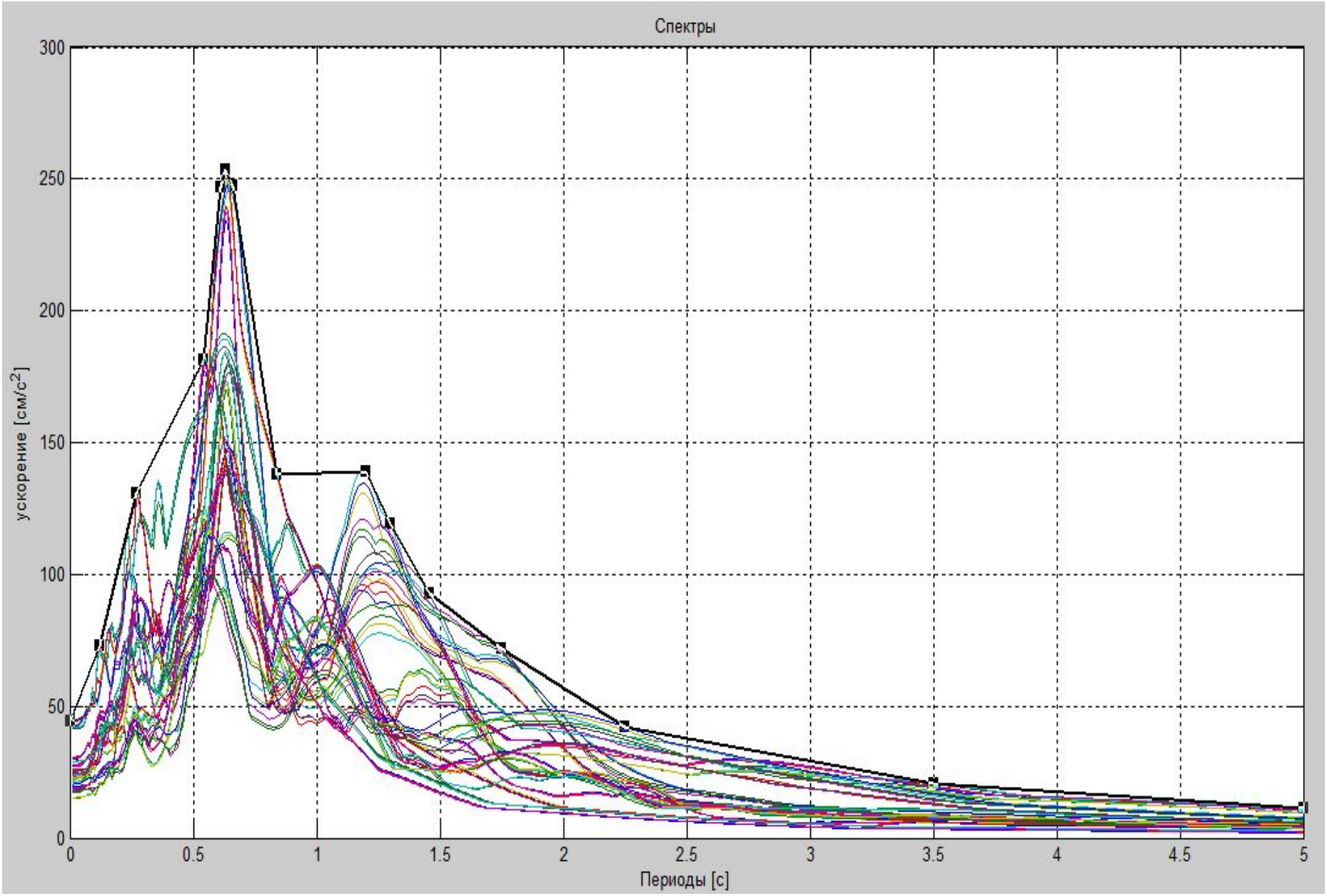

модифицированная акселерограмма
ускорение [см/с2]
Время [с]
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
0
5
10
15
20
25
30


Спектры
Ускорение [см/с2]
Период [с]
140
120
100
80
60
40
20
0
0
1
2
3
4
5

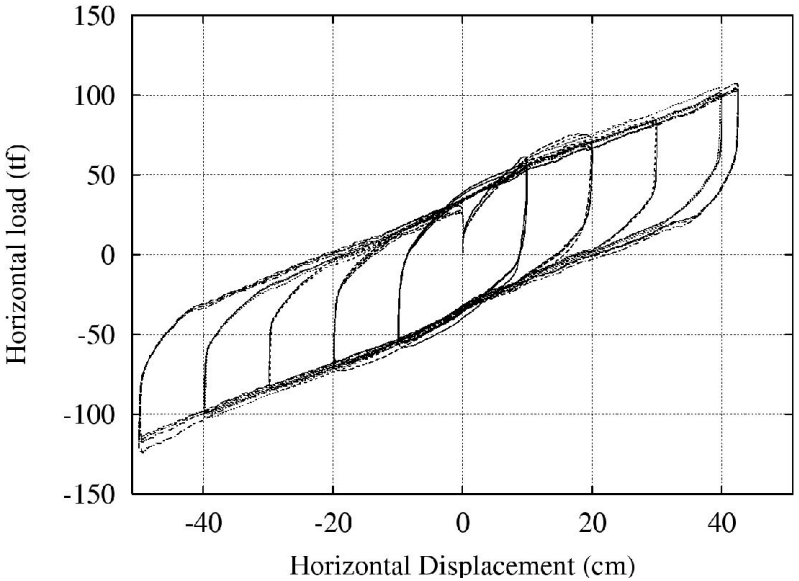
Спектры ускорений исходных акселерограмм

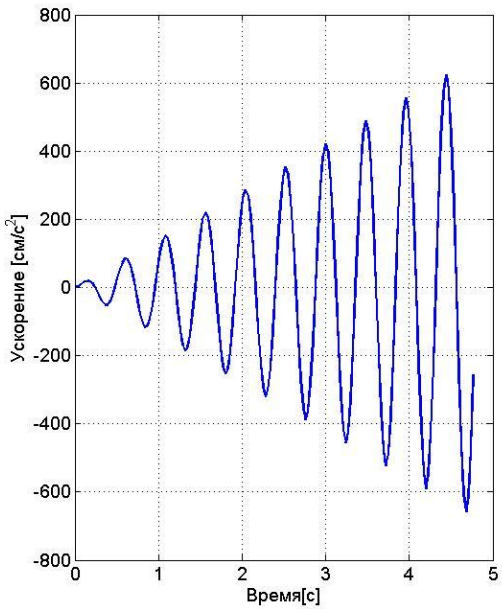


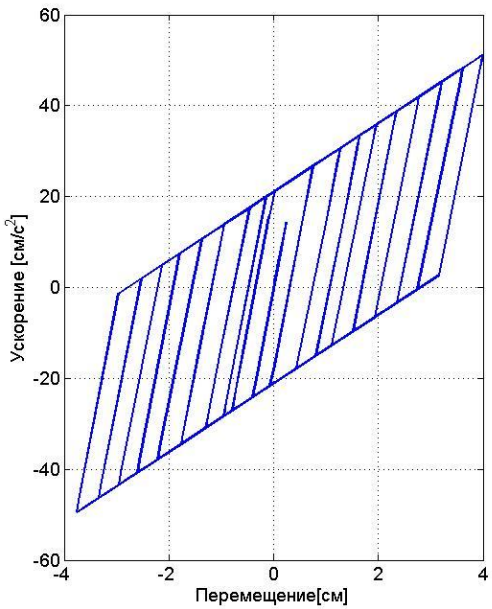
Расчетный спектр ускорений



Зависимость Нагрузка-Перемещение для резинометаллической опоры ф1000 при напряжении 10 МПа при циклической нагрузке 50%-250% от проектной.







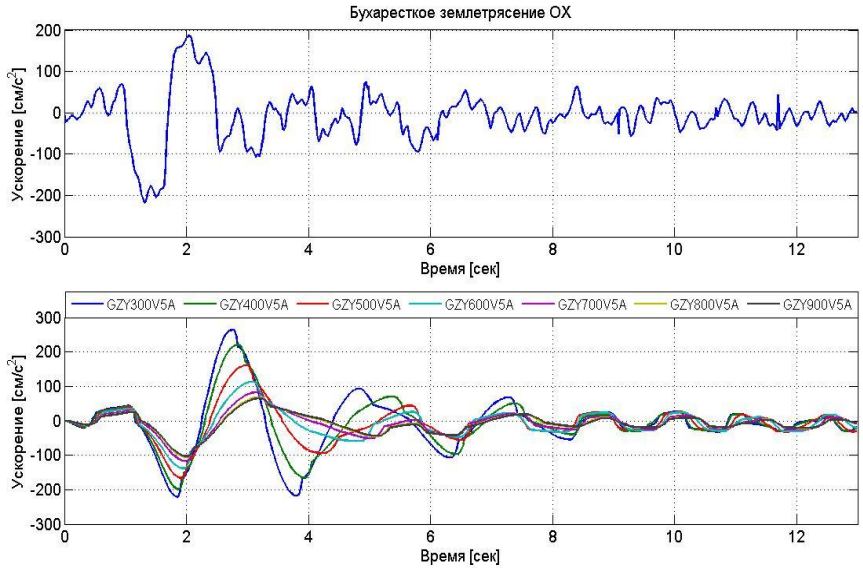
А) Экспериментальная диаграмма

б) Диаграмма, полученная расчетным путем

Ф1000 - резинометаллическая опора производства Китай, испытания проходили в Японии.

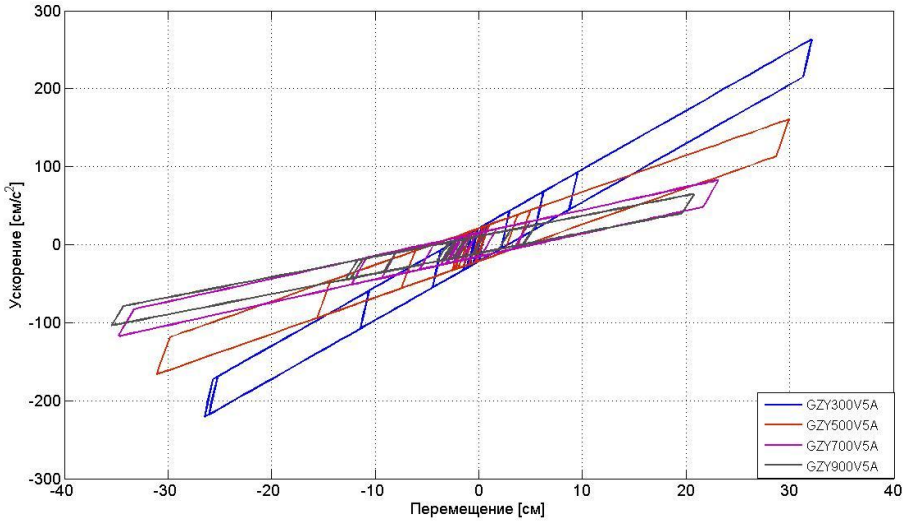
Исходные воздействия.

Землетрясение, дата	Направление	Магнитуда, эпицентр	Длитель-ность, сек	Максимальное ускорение, см/с2	Шаг записи, с
Бухарест (Румыния) 04.03.1977	Buch00	7.2	13	217.5	0.02
	Buch90	25 км		177.5	
Газли (Узбекистан) 17.05.1976	Gazl00	7.2	13	500	0.02
	Gazl90	40 км		600	
Эль Центро (США) 18.05.1940	Elcn00	6.7	13	341.7	0.02
	Elcn90	50 км		210.1	
Акита (Япония) 16.06.1964	Akit00	7.7	13	80	0.02
	Akit90	190 км		90	
Нортридж (США) 17.01.1994	NOR_S00E		38	713.1	0.02
	NOR_S90W			503.4	
Япония 11.03.2011 IBR016	IBR0161103 111446EW	9	200	516.8	0.01
	IBR0161103 111446NS	338 км	200	469.7	0.01

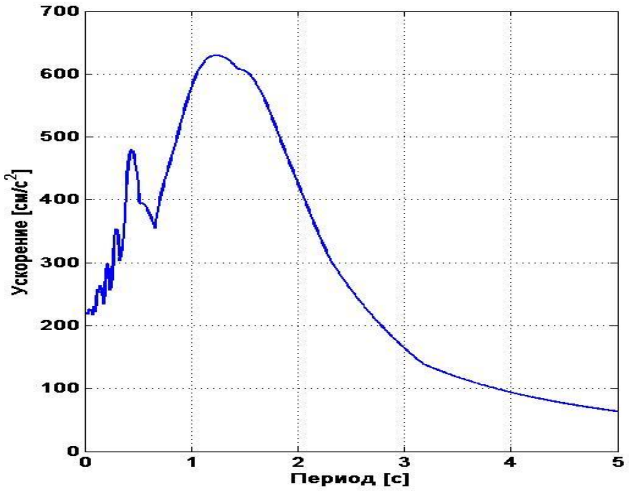


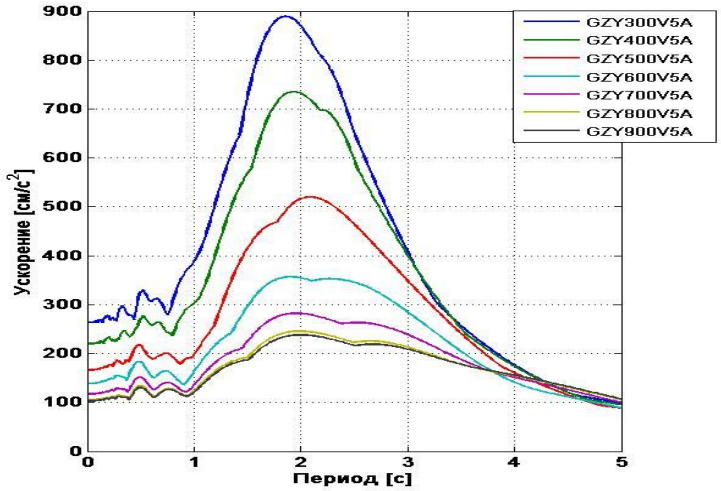
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных типоразмеров РМО.

Одномассовая система. Землетрясение Бухарест OX.

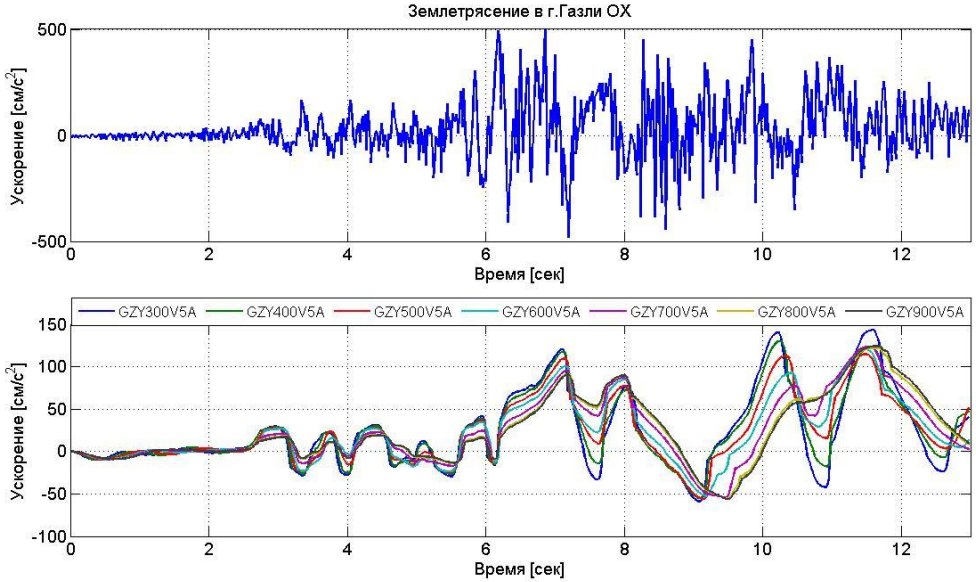


Диаграммы зависимости «Ускорение- Перемещение» Одномассовая система. Землетрясение Бухарест OX.

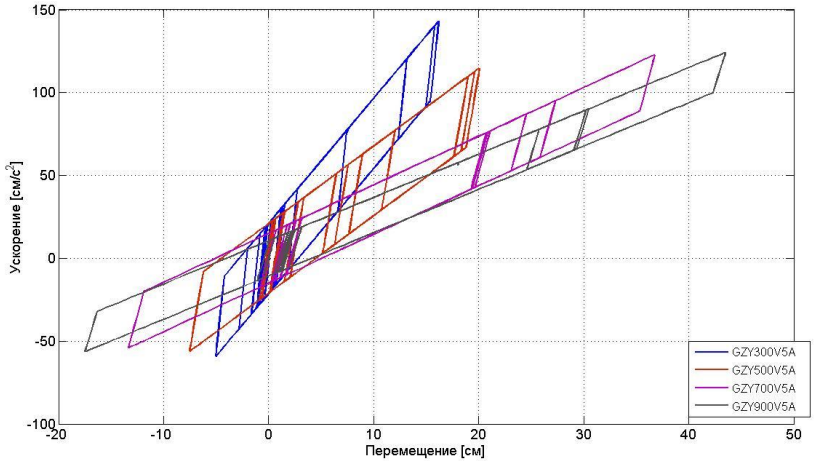




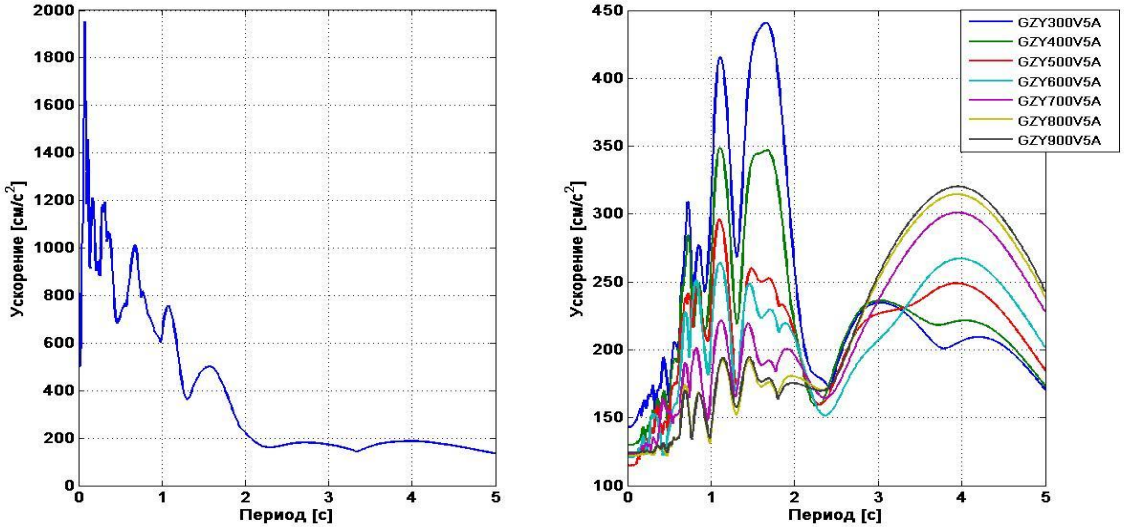
Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа) для разных типоразмеров РМО. Землетрясение Бухарест OX. Одномассовая система.



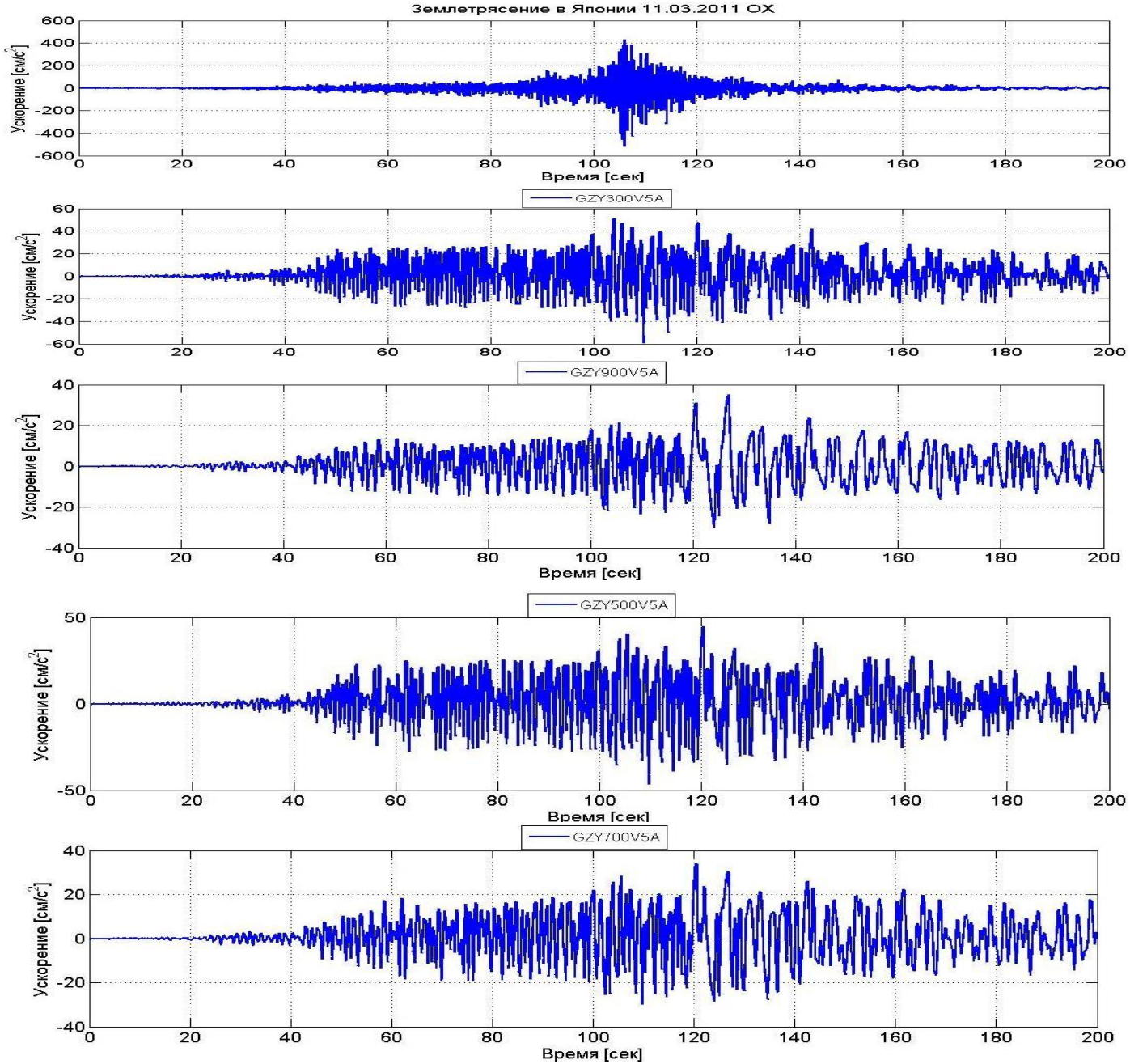
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в г.Газли ОХ.



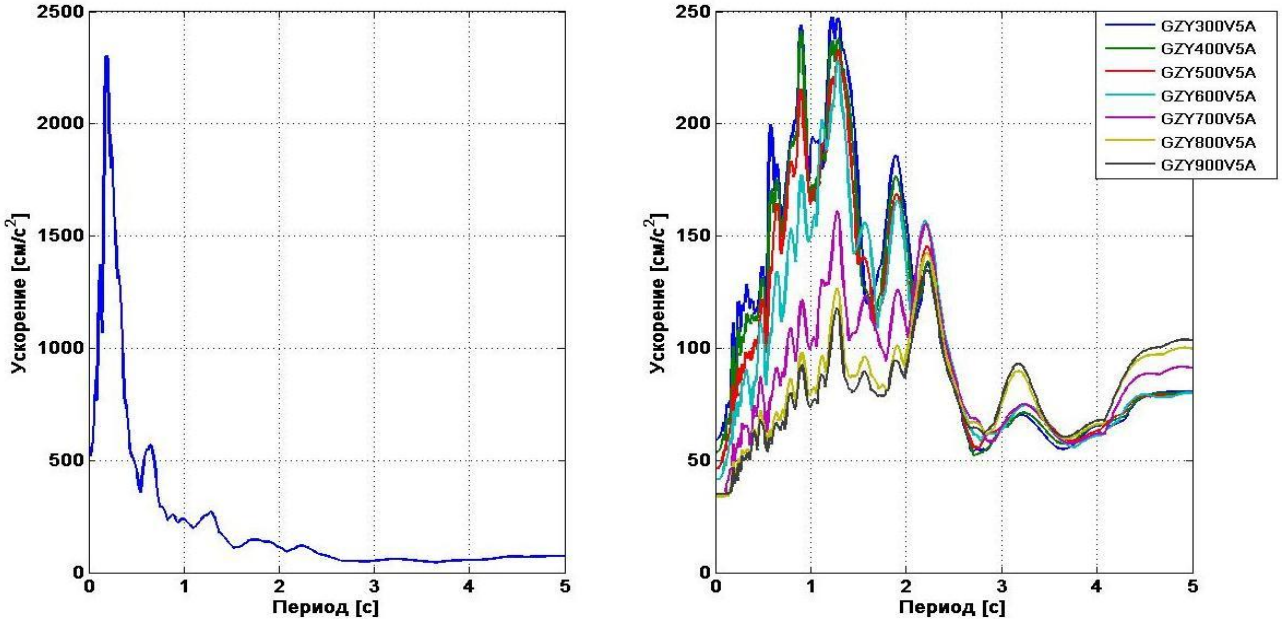
Диаграммы зависимости «Ускорение- Перемещение» в верхней части сейсмоопоры для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в г.Газли ОХ.



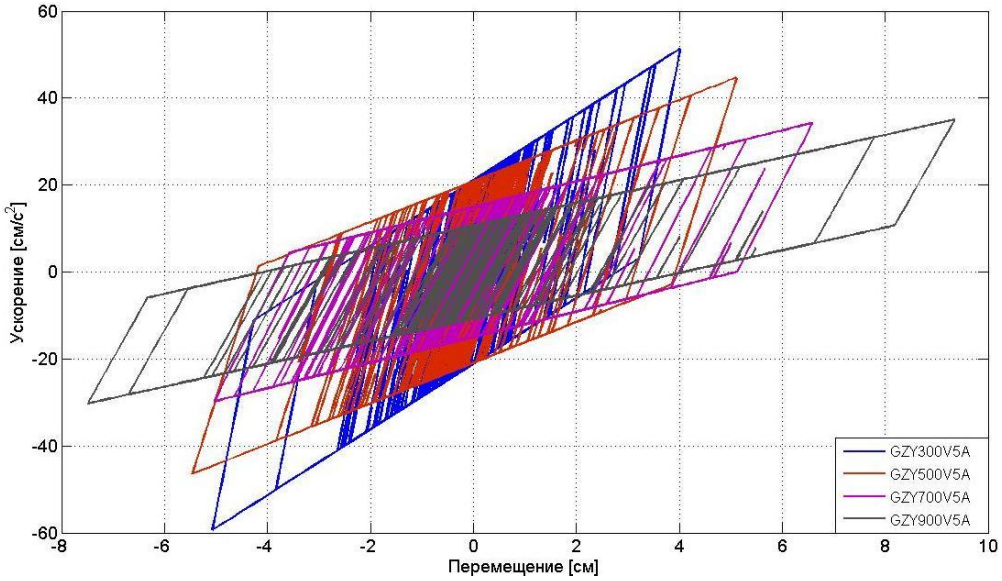
Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа). Землетрясение в г.Газли ОХ.



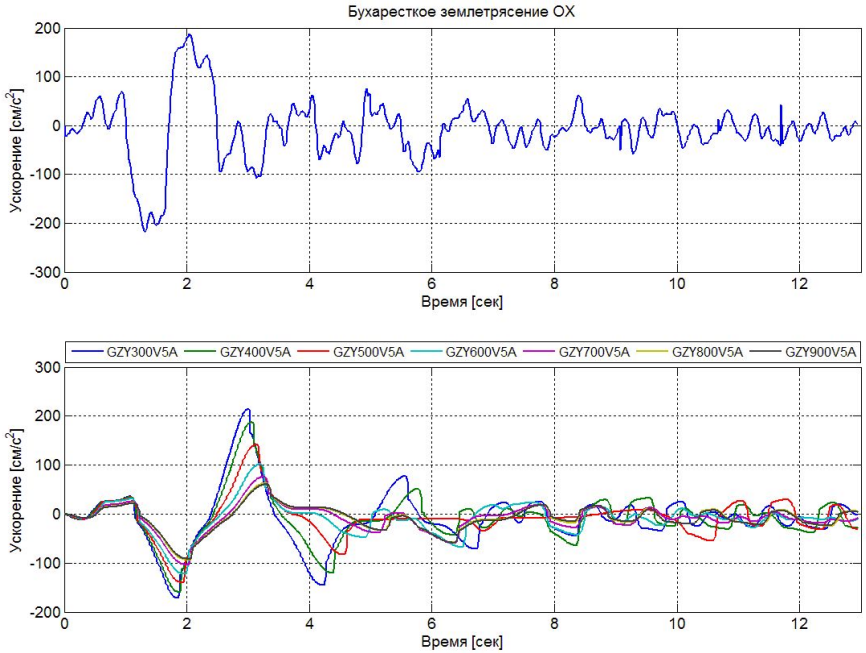
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных типоразмеров РМО. Одномассовая система. Землетрясение в Японии 11.03.2011 OX.



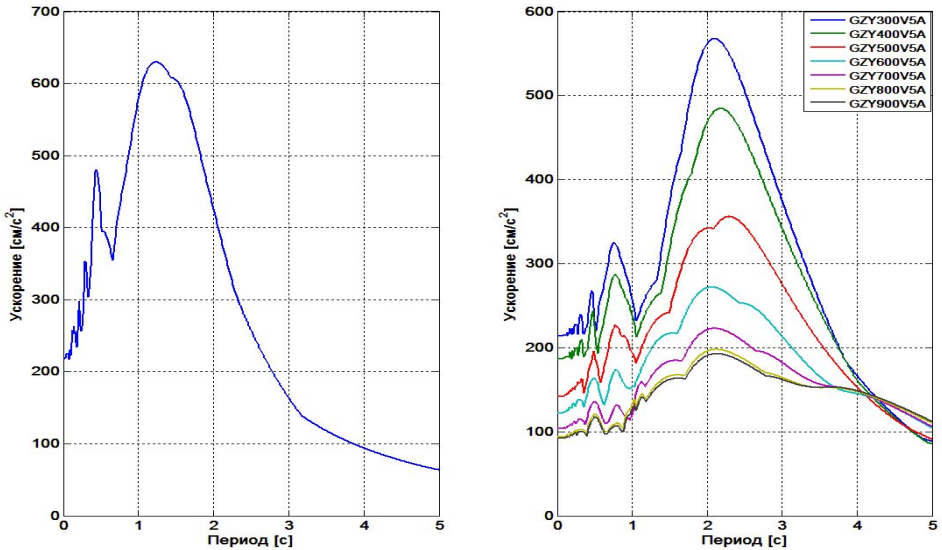
Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа) для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в Японии 11.03.2011 ОХ. Одномассовая система.



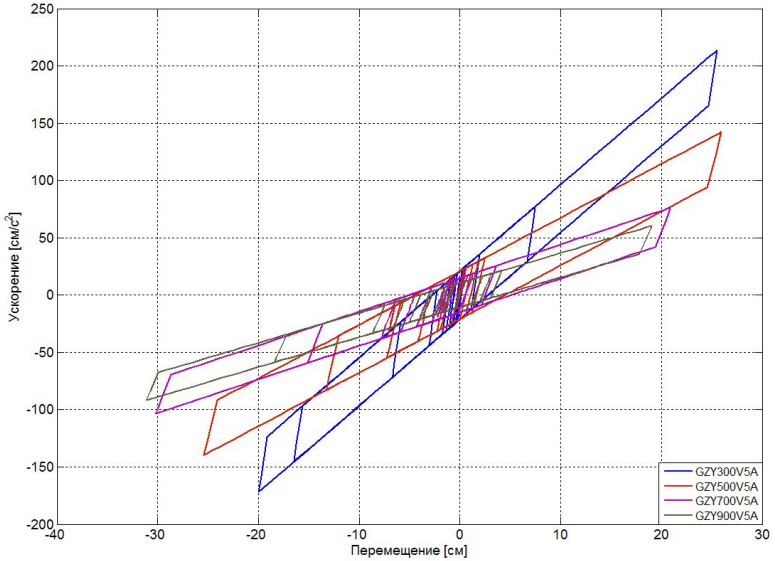
Диаграммы зависимости «Ускорение- Перемещение» для разных типоразмеров РМО. Одномассовая система. Землетрясение в Японии 11.03.2011 ОХ.



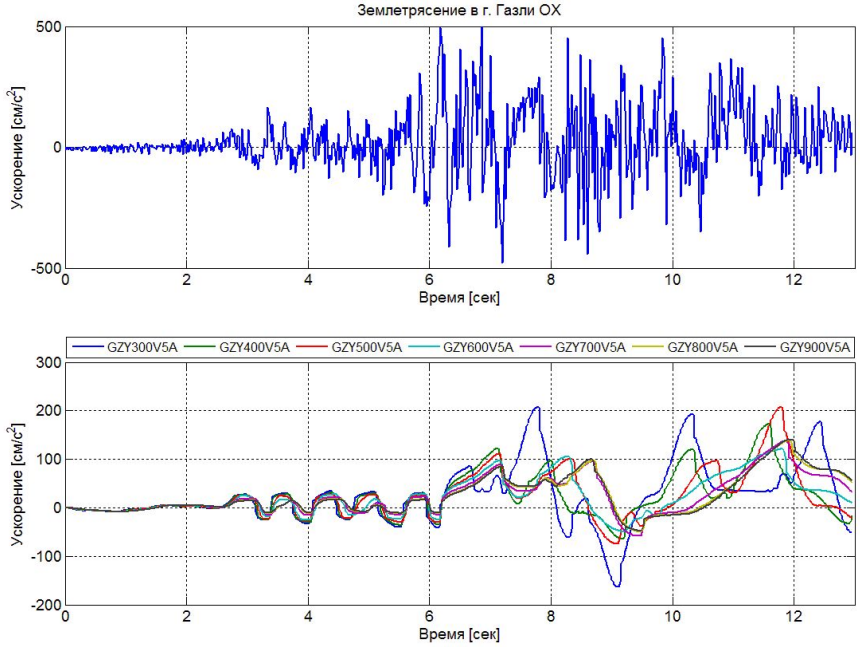
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных типоразмеров РМО. Двухмассовая система. Землетрясение в г.Бухарест OX.



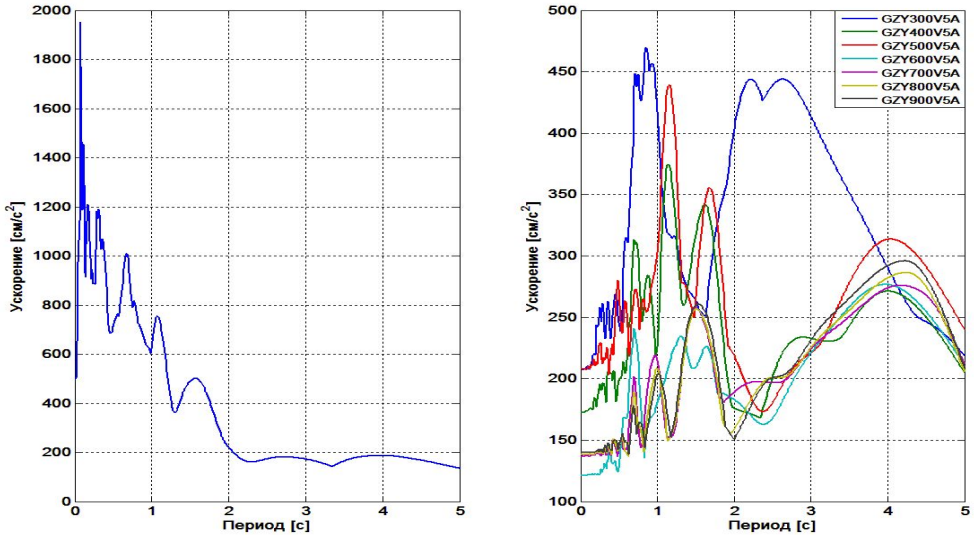
Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа) для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в г.Бухарест OX. Двухмассовая система



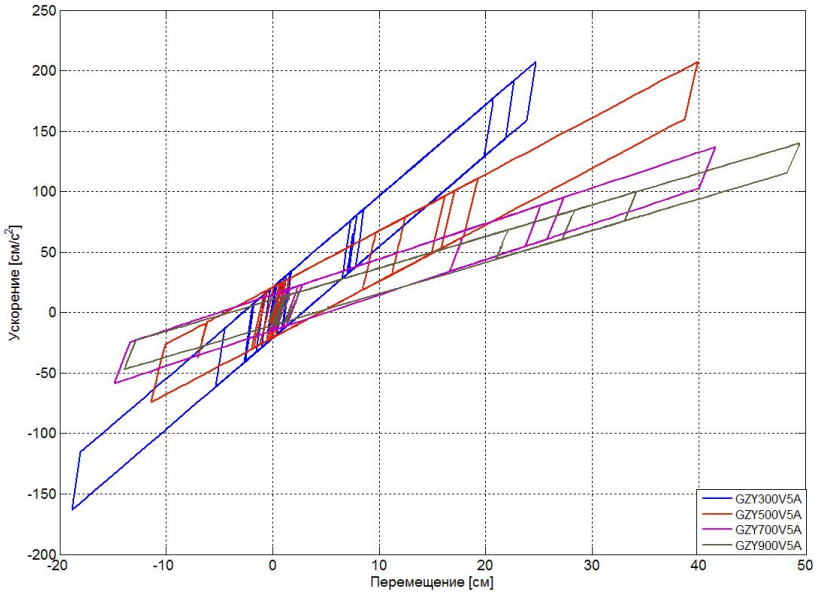
Диаграммы зависимости «Ускорение-Перемещение» в верхней части сейсмоопоры для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в г. Бухарест OX. Двухмассовая система



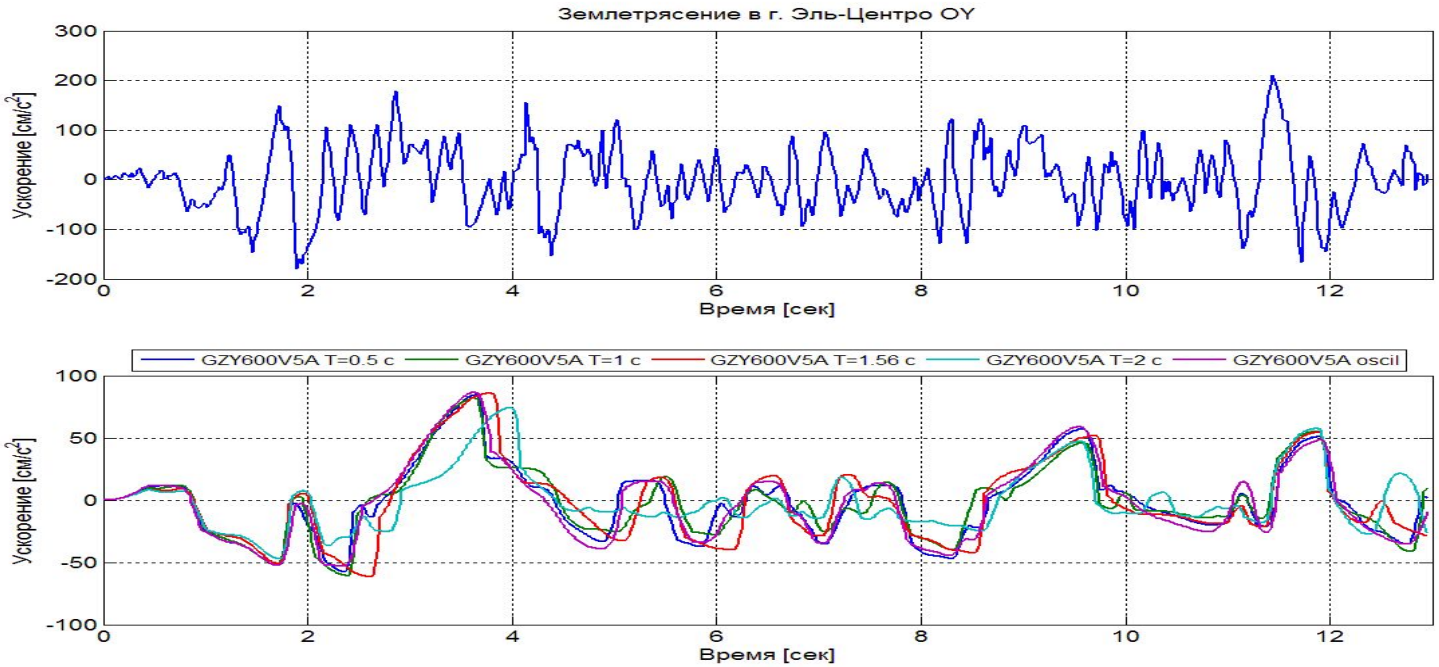
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных типоразмеров РМО. Двухмассовая система. Землетрясение в г.Газли.



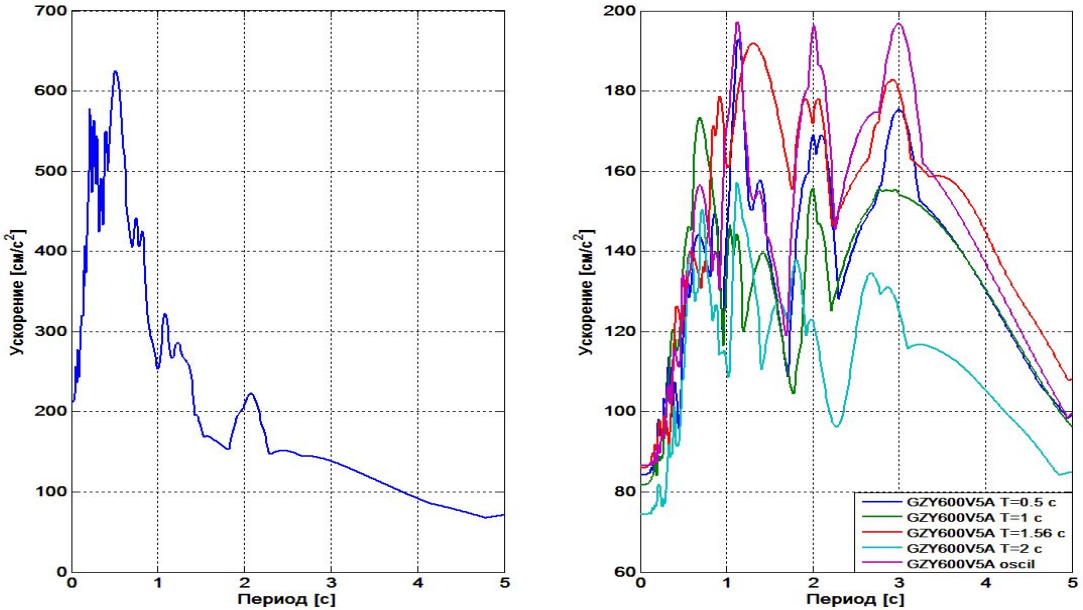
Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа) для разных типоразмеров РМО. Землетрясение в г.Газли. Двухмассовая система



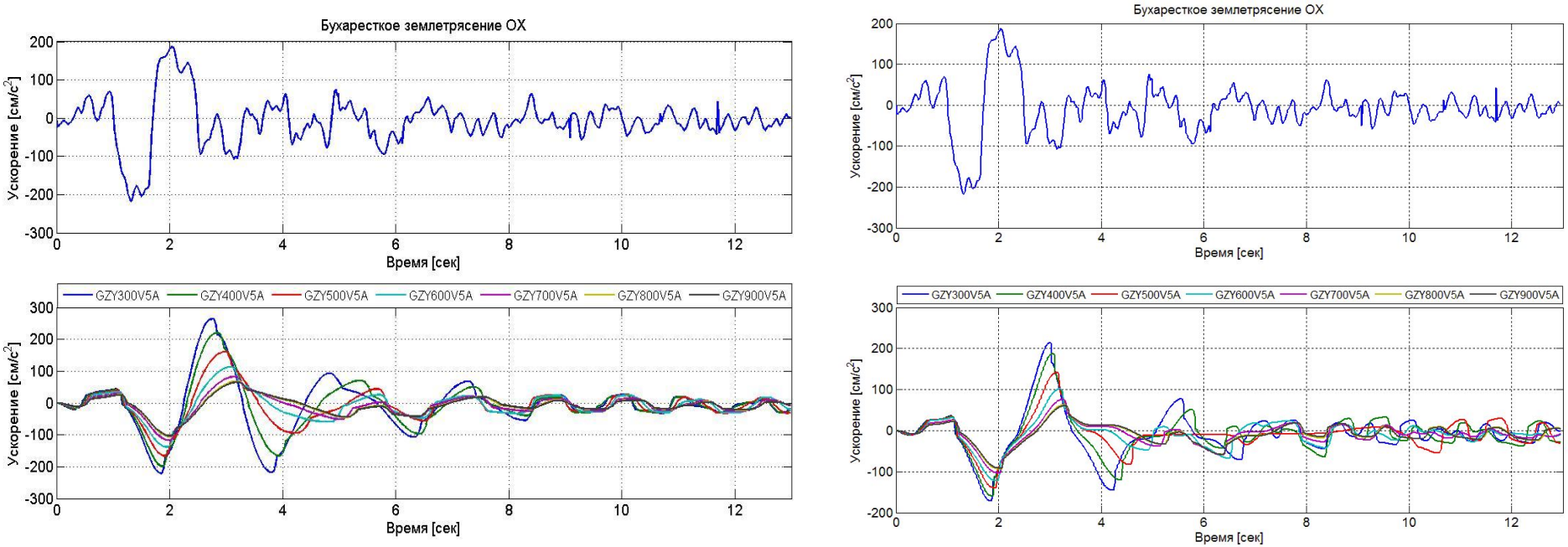
Диаграммы зависимости «Ускорение-Перемещение» в верхней части сейсмоопоры для разных типоразмеров РМО. Двухмассовая система. Землетрясение в г.Газли.



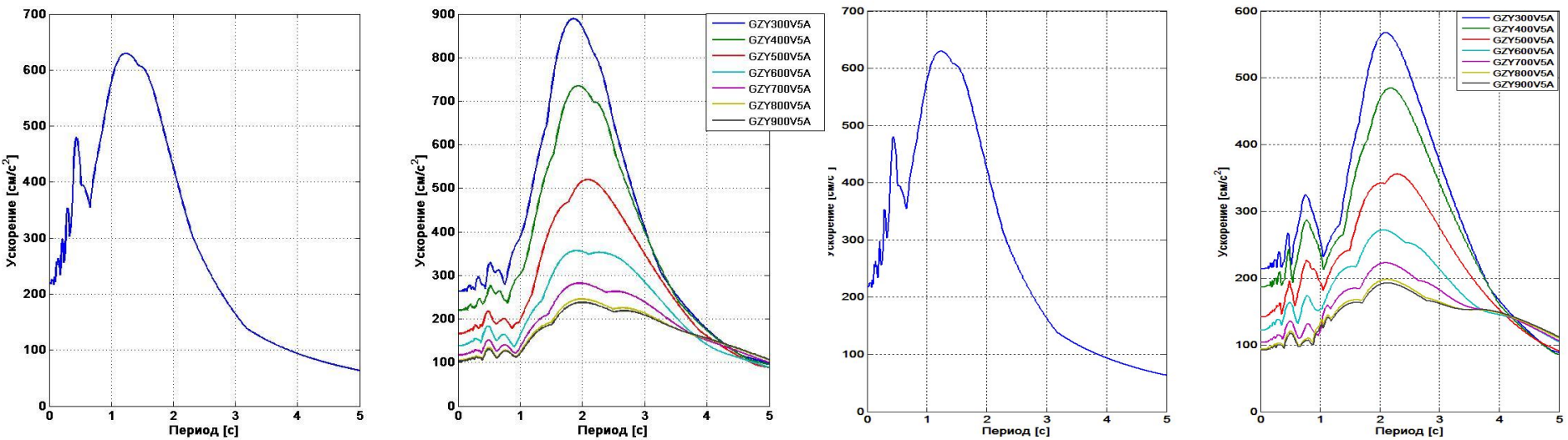
Исходная акселерограмма (вверху) и модифицированные сигналы (внизу) для разных характеристик верхней части системы. Землетрясение в г.Эль-Центро OY.



Спектр реакции исходной акселерограммы (слева) и спектры реакции модифицированных сигналов (справа) для разных характеристик верхней части системы. Землетрясение в г.Эль-Центро OY.



Исходная акселерограмма и модифицированные сигналы для разных типоразмеров РМО. Одно- и двухмассовая система. Землетрясение в г.Бухарест.



Спектр реакции исходной акселерограммы и модифицированных сигналов для разных типоразмеров РМО. Одно- и двухмассовая система. Землетрясение в г.Бухарест.

Выводы и анализ результатов:

При использовании РМО любого типоразмера происходит сглаживание сигнала, фильтруются высокочастотные колебания. Для низкочастотных землетрясениях при использование РМО с собственными частотами колебаний, близкими к частотам воздействия, происходит усиление сигнала. Наблюдается увеличение максимальных ускорений сигнала и максимального значения спектра реакции (максимальный пик реализуется на более низкой частоте – происходит сдвиг вправо). Это можно наблюдать для Бухаресткого землетрясения при использовании РМО небольших размеров (GZY300V5A).

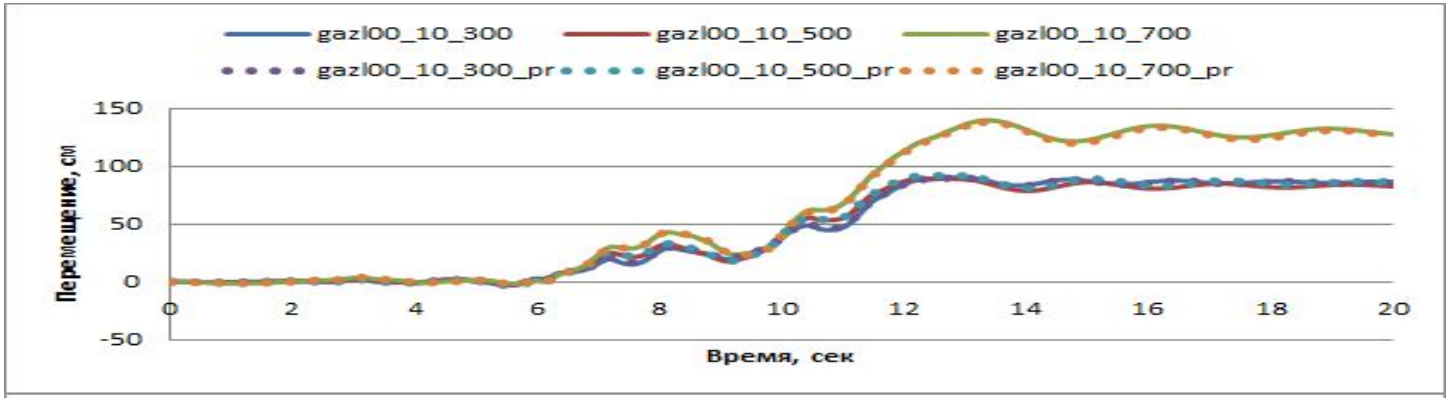
Пиковые значения спектра реакции для высокочастотного землетрясения уменьшаются в разы. Так, для землетрясения в г.Газли (направление OX) максимальное значение реакции уменьшилось в 4.43 раза (опора GZY300V5A), но если сравнивать значения на соответствующих периодах, то значения могут отличаться более, чем в 10 раз. Стоит отметить, что максимальные ускорения для данного землетрясения после модификации через «фильтр» уменьшились в 3,5 раза. Для РМО более высокой размерности изменения еще больше.

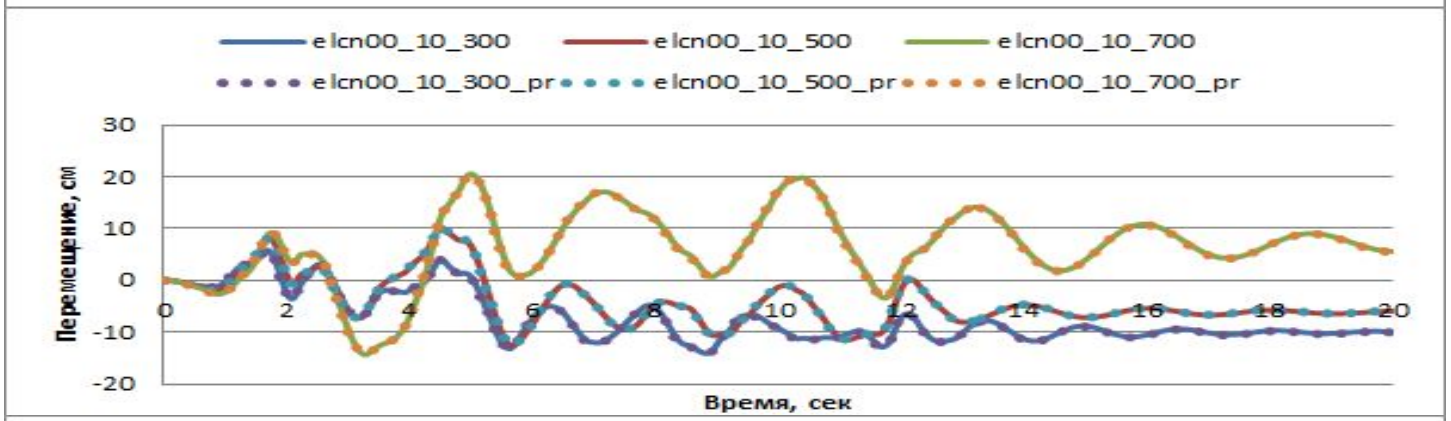
С увеличением размера РМО снижаются пиковые ускорения, но, в большинстве случаев, увеличиваются максимальные перемещения верха сейсмоопоры. Данное явление хорошо прослеживается на диаграммах «ускорение-перемещение» (уменьшается относительная жесткость элемента).

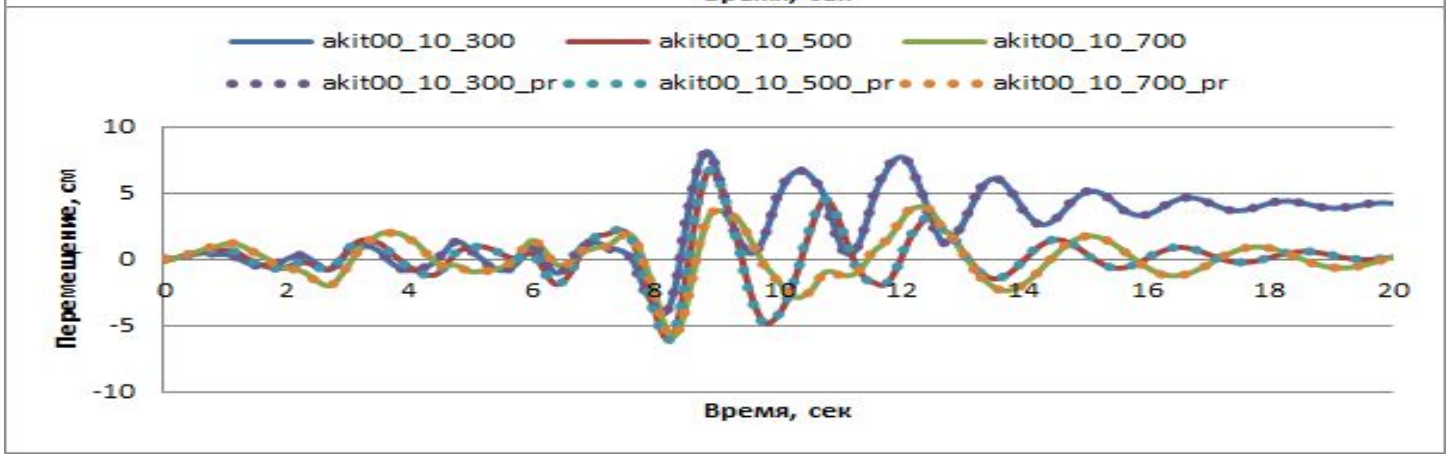
РМО больших размеров менее чувствительны к частотному составу исходного землетрясения, так для низкочастотного землетрясения в г. Бухарест или высокочастотного землетрясения в г.Газли происходит значительное уменьшение спектра реакции по сравнению с РМО малой размерности (для низкочастотных землетрясений может быть даже увеличение пика).

Верификация метода.

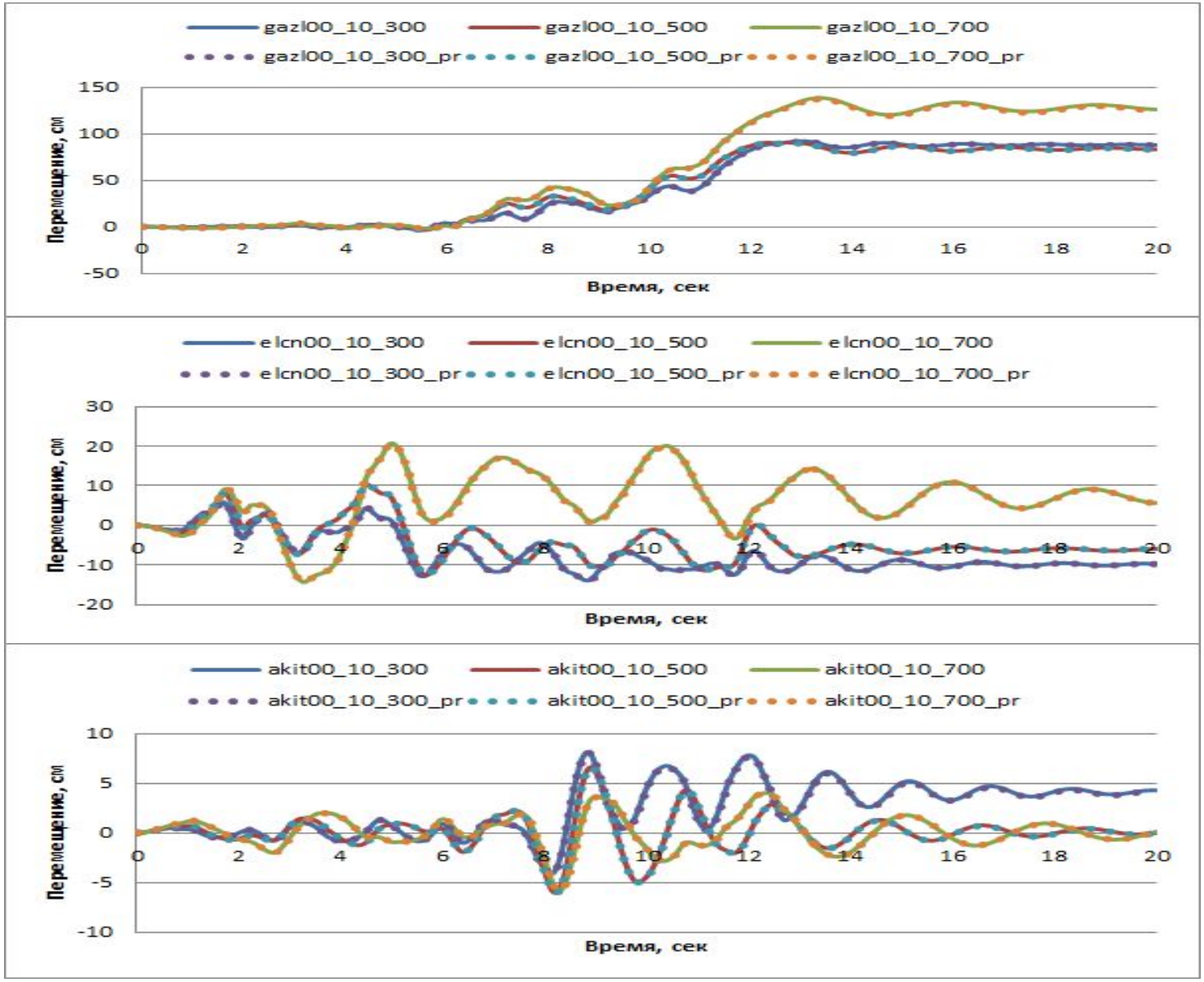
Одномассовая модель.



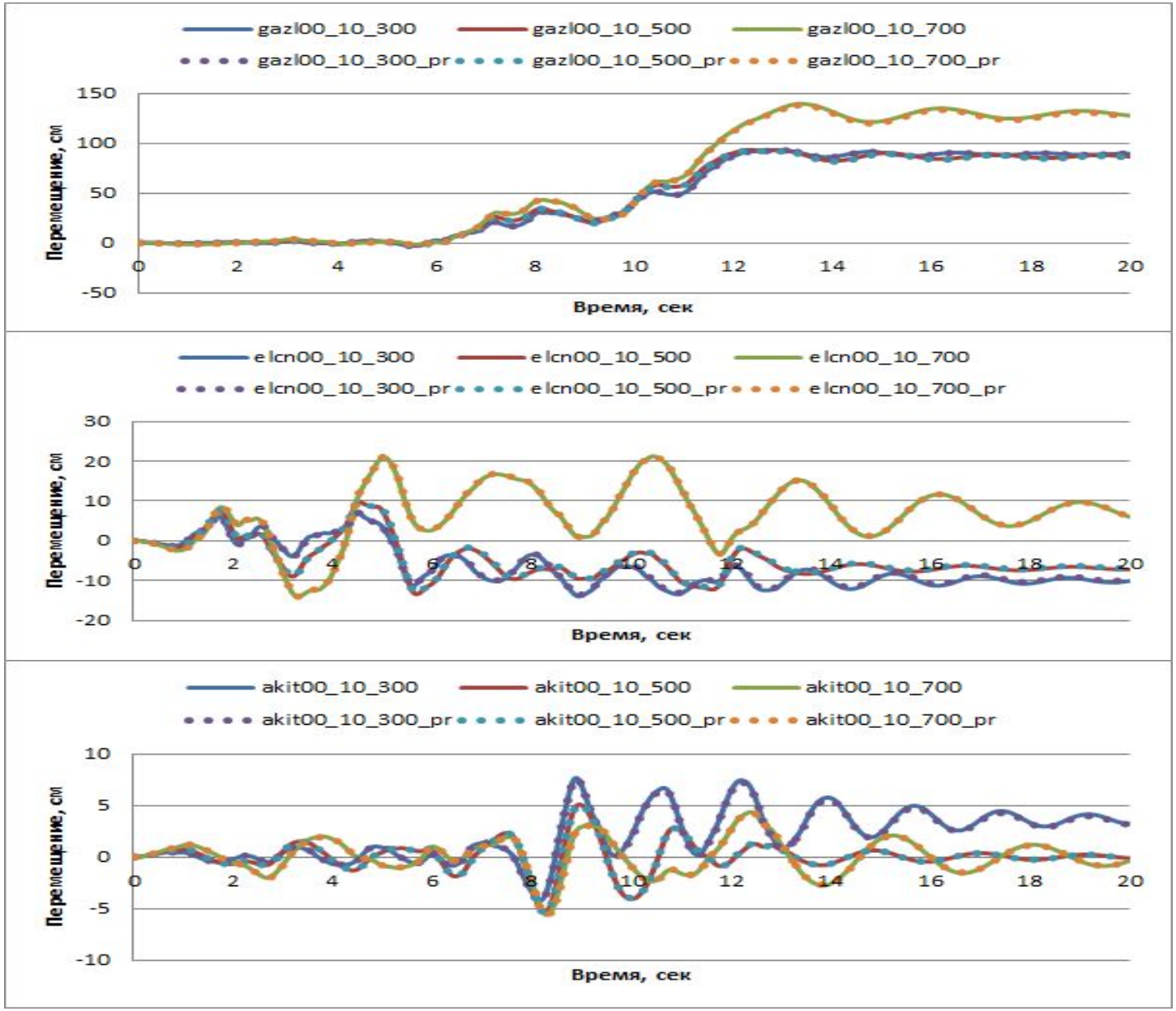




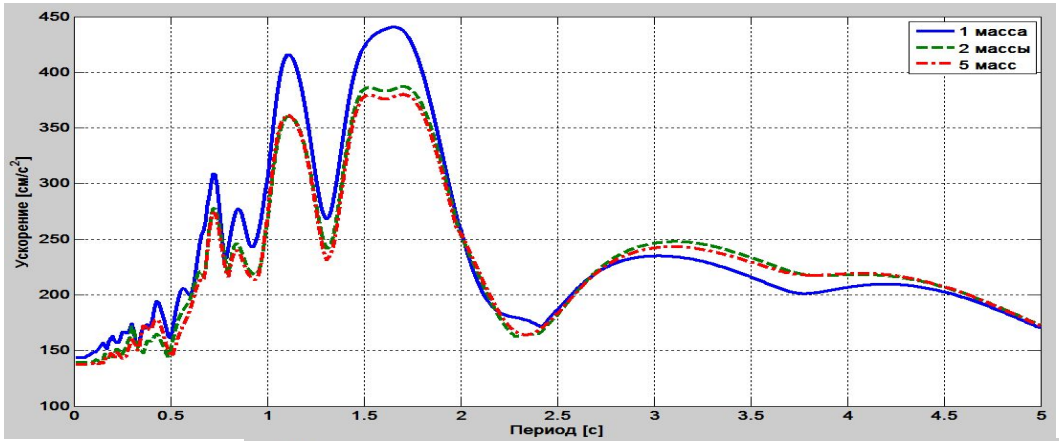
Двухмассовая модель.



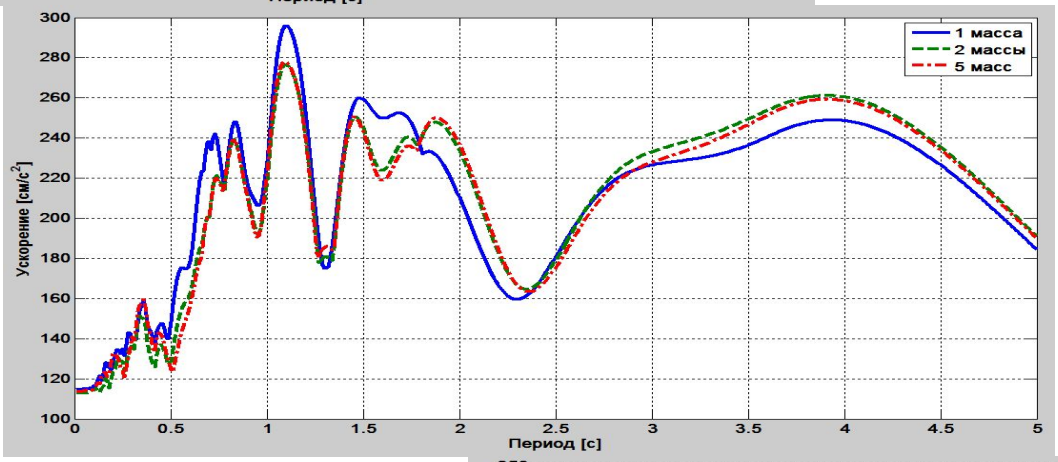
Пятимассовая модель.

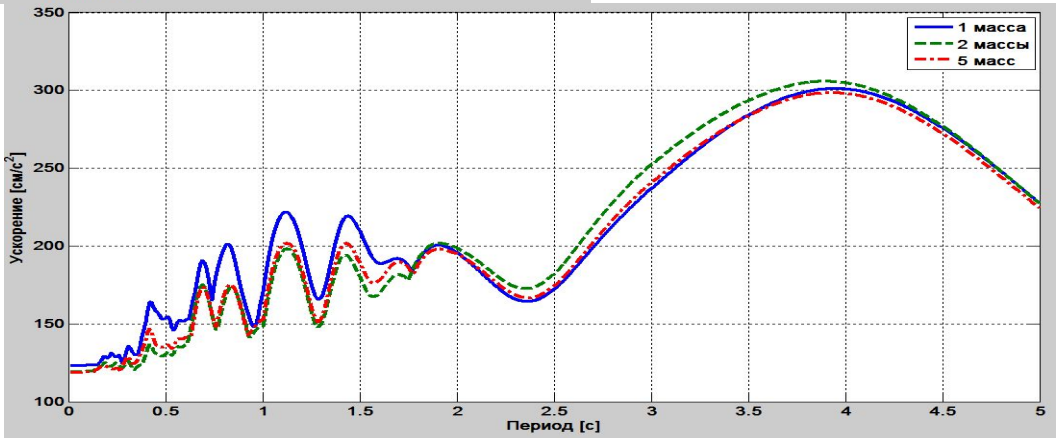


Результаты расчета.

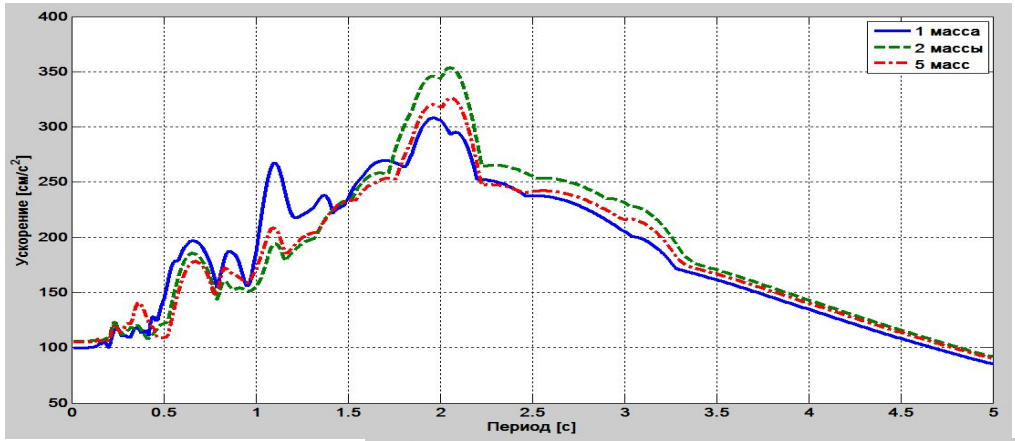


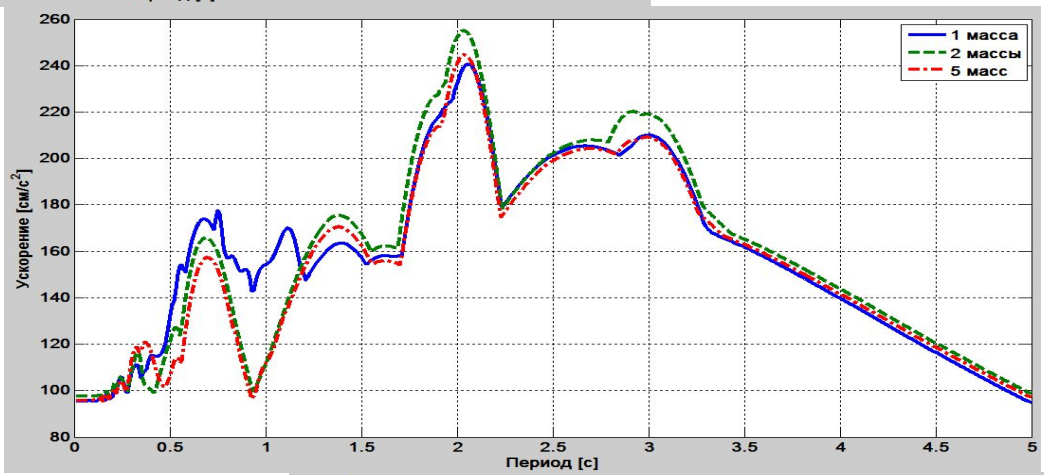
Землетрясение в г. Газли

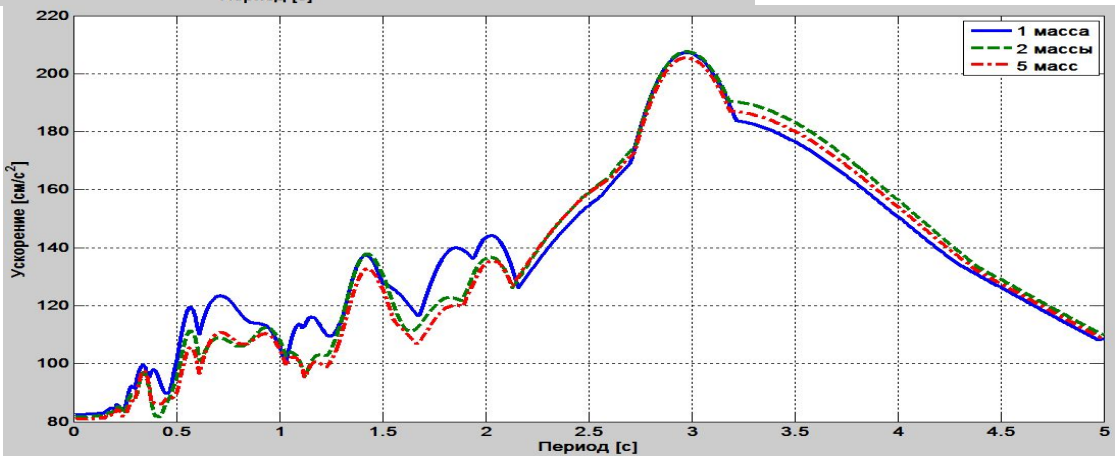




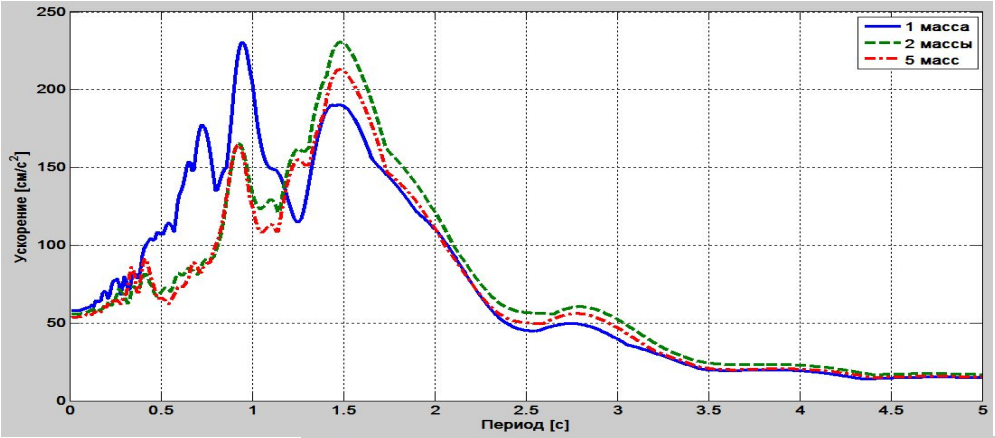
Землетрясение в г. Эл Центро

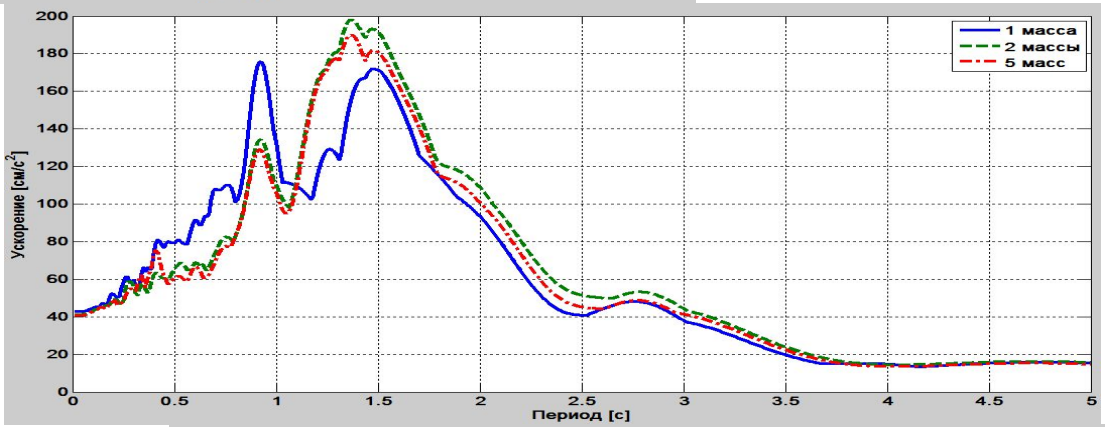


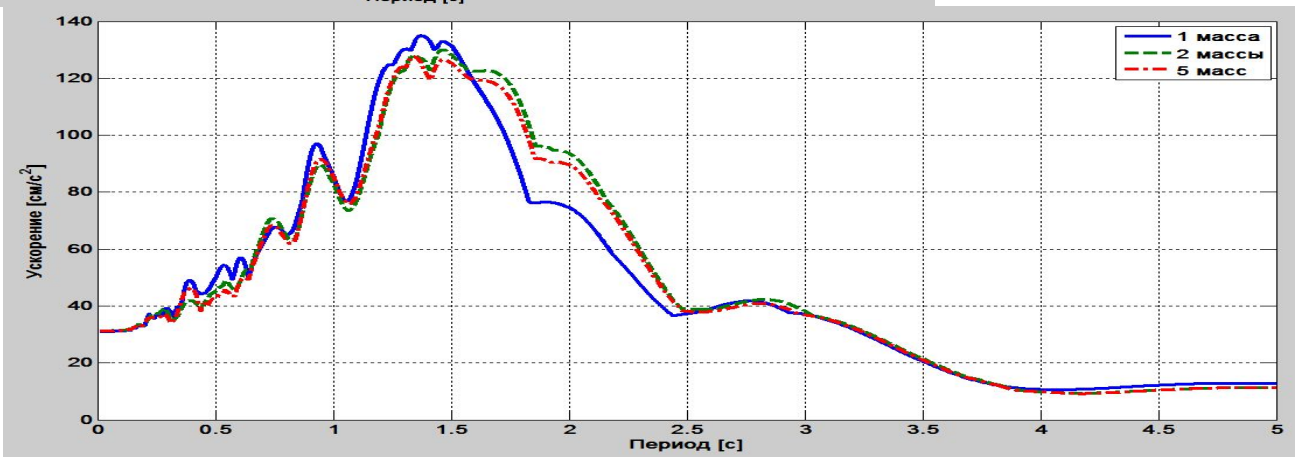




Землетрясение в г. Акита







1) В высокочастотной области (область частот выше 0.5-1 Гц) значения спектров реакций, полученных для многомассовых систем, не превосходят значения спектров реакции, полученных для одномассового осциллятора. В низкочастотной области, напротив, значения спектров реакции, полученных для многомассовых систем, могут иметь более высокие значения.

2) Расхождение результатов, полученных для 2-х и 5-и массовой систем, незначительно. Спектры реакции для многомассовых систем хорошо коррелируются между собой. В случае, когда требуется уточнение результатов с учетом периода колебаний надопорной конструкции, рекомендуется использование модели конструкции в виде 2-х массовой системы (учет жесткости РМО и надопорной конструкции). Данная модель обеспечивает необходимую практическую точность результатов, нет необходимости учитывать большее количество масс (для данной постановки задачи).

3) Поскольку сейсмоизоляция в виде РМО используется для гашения высокочастотных воздействий, то можно сказать, что расчеты с использованием спектров реакций, полученных по одномассовой системе, будут выполнены с некоторым запасом прочности конструкций. Данный тип расчета особенно актуален, когда надопорная конструкция достаточно жесткая, и ее период колебаний составляет менее 0.5 сек .

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!