

УДК 550.34.01

Б. К. КАРАПЕТЯН, А. Г. НАЗАРОВ, А. С. МУРАДЯН

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ МНОГОМАЯТНИКОВЫЙ СЕЙСМОМЕТР ИГИС-1М ДЛЯ ЗАПИСИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Основные задачи, решаемые с помощью многомаятниковых сейсмометров, заключаются в приближенном моделировании силового воздействия сейсмических возмущений на сооружения и проведении работ в области инженерной сейсмологии, с целью обследования разрушительных последствий землетрясений, для решения вопросов сейсмического районирования и микрорайонирования, расчета сооружений и т. д.

В Институте геофизики и инженерной сейсмологии АН Арм. ССР разработан и изготовлен действующий макет многомаятникового сейсмометра, в котором имеется возможность регулировать величины затухания и периода свободных колебаний маятников как сферических, так и полляризованных. Регулировка основных характеристик сейсмомаятников позволяет получить поправочные коэффициенты, необходимые при анализе поведения сооружений и оценке степени стабильности графика приведенных сейсмических ускорений, построенного на основе показаний стандартного сейсмометра [2].

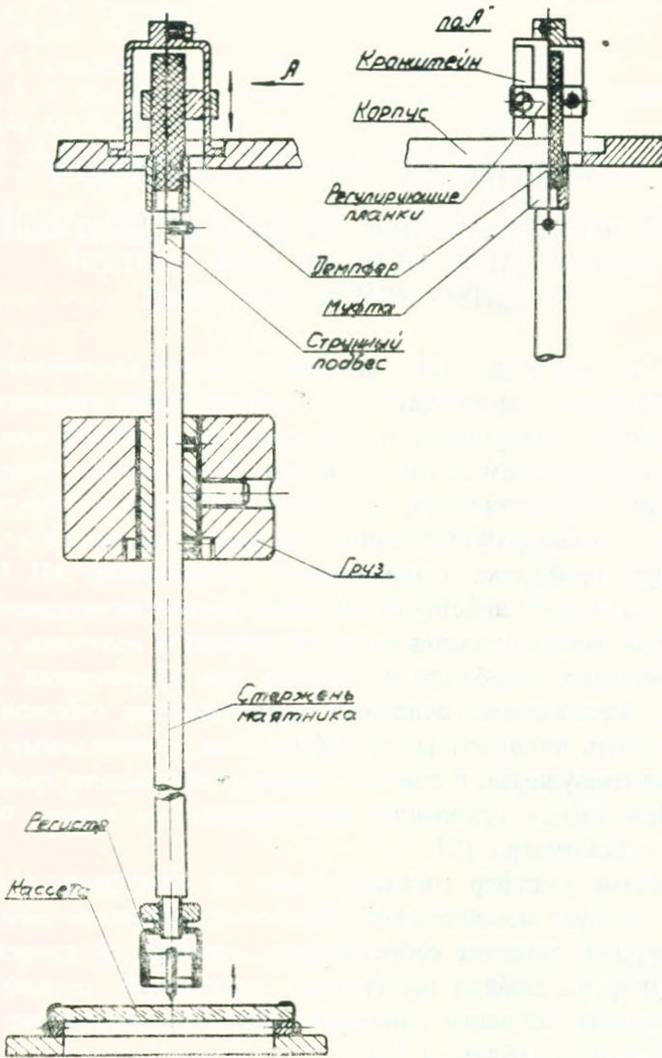
Регулируемый демпфер гораздо проще по конструкции, надежнее в работе и не требует механической обработки, повышает качества наладки и тарировки, снижает себестоимость прибора. В качестве материала для демпфера выбран полиэтилен кабельный от кабеля РК-3 взамен полиэтилена высокого давления, физико-механические свойства которого приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1

Удельный вес $г/см^3$	Теплостойкость по Мартенсу $^{\circ}C$	Морозостойкость $^{\circ}C$	Предел прочности		Удельная ударная вязкость $кг/см \cdot см^2$	Модуль упругости $кг/мм^2$
			$\sigma_{сж}$ $кг/см^2$	$\sigma_{изг.}$ $кг/см^2$		
0,92	130—150	-70	120	80	35	15—25

1. Краткое описание сейсмометра ИГИС-1М

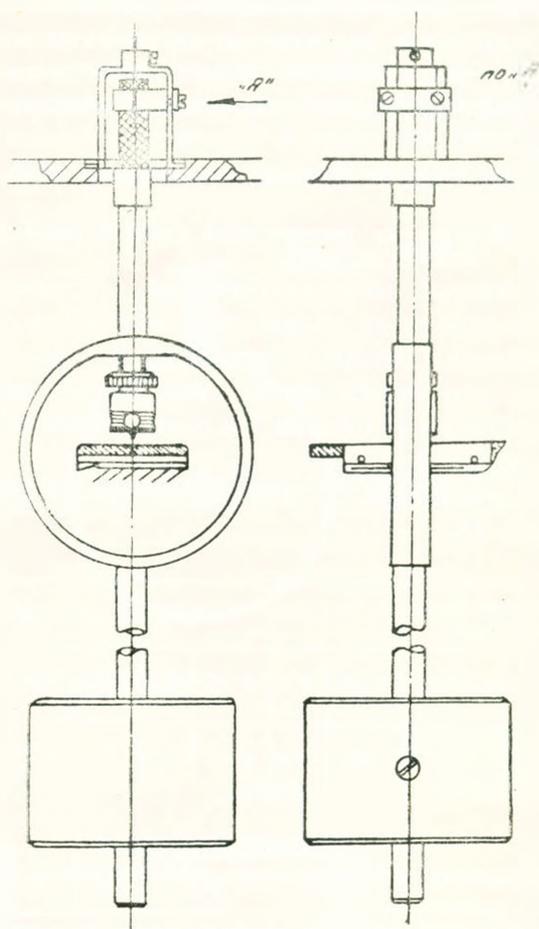
Многомаятниковый сейсмометр предназначен для прямого определения спектров приведенных сейсмических ускорений при сильных и разрушительных землетрясениях. Рабочими элементами в приборе явля-



Фиг. 1. Общий вид сферического маятника сейсмометра ИГИС-1М ($T=0.05 \pm 0.6$ сек).

ются вертикально подвешенные сферические и горизонтально расположенные поляризованные маятники (фиг. 1, 2). Маятники подвешены за струнные подвесы 6, несущие всю нагрузку колебательной системы. Затухание собственных колебаний такой системы осуществляется с помощью демпферного устройства 5. Колебания системы записываются регистром, представляющим собой подпружиненные корундовые иглы 10, закрепленные на концах маятников, которые при относительном перемещении маятников прочерчивают следы на законченных экранах 11. Для удобства копирования записи контактной фотопечатью экраны выполнены из стеклянных пластин, которые расположены на подвижном столе 12, обеспечивающем нанесение координат центров качания маятников.

Прибор ИГИС-1М рассчитан на работу как в полевых, так и в стационарных условиях при температуре от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Прибор пред-



Фиг. 2. Общий вид сферического маятника сейсмометра ИГИС-1М ($T = 0,8-1,0$ сек).

назначен для регистрации сильных и разрушительных землетрясений от 3 до 9 баллов. В отличие от ИГИС-1 модернизированный маятниковый сейсмометр ИГИС-1М имеет ряд преимуществ:

а) имеется возможность отрегулирования периода свободных колебаний маятников и их декремента затухания в широких пределах;

б) увеличены веса инертных масс до $1,8-2$ кг, что способствует повышению чувствительности сейсмомаятников;

в) основные характеристики модернизированного варианта прибора ИГИС-1М более близки к моделируемым характеристикам реальных сооружений при колебании, чем у приборов АИС и ИГИС-1;

г) физико-механические свойства кабельного полиэтилена значительно выше, чем полиэтилена высокого давления;

д) демпферный элемент совершенно не подвергается обработке;

е) увеличены диаметры демпферов и струнных подвесок маятников, что способствует повышению прочности и устойчивости сейсмомаятника;

ж) повышена степень поляризации и надежность горизонтально расположенных маятников, значительно упрощена их конструкция, демпферы, как и у сферических маятников, не подвергаются обработке;

з) изготовление, наладка и эксплуатация прибора значительно упрощены;

и) значительно снижается себестоимость прибора.

2. Некоторые технические данные прибора

Модернизированный маятниковый сейсмометр имеет десять вертикально расположенных сферических маятников для записи горизонтальных колебаний и четыре поляризованных горизонтально расположенных маятника для записи вертикальных колебаний.

Периоды свободных колебаний T и соответствующие им декременты λ приведены в таблице 2.

Допустимые отклонения от величин, приведенных в таблице 2, составляют от 1% \pm 3%.

Таблица 2

T сек в	Поляризованные маятники				Сферические маятники									
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
λ	0,5	0,48	0,46	0,43	0,5	0,48	0,46	0,43	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3

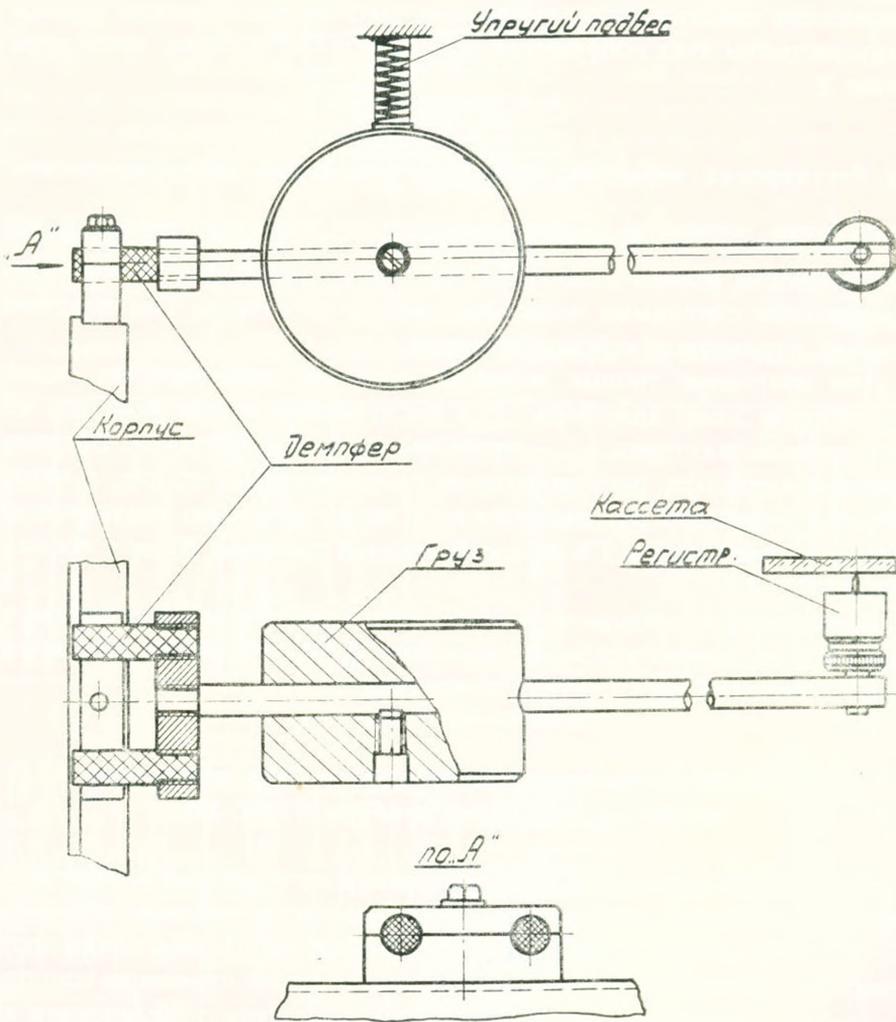
3. Устройство маятников

а. Вертикально расположенные сферические маятники

На каркасе 2 и кронштейне 1 прибора (фиг. 1) подвешен через струнный подвес 6 стержень маятника 9. Он соединяется с демпфером 5 переходной муфтой 4. Инертная масса 7 с фиксирующей муфтой 8 крепится к стержню 9. Муфта 8 служит для фиксации инертной массы и при транспортировке прибора пропускает через регистрирующее устройство 10 инертную массу на арретир. Регистратор с корундовой иглой входит в контакт с кассетой 11, вставленной на передвижной стол прибора 12. Демпфер 5 проходит через регулирующие планки 3, две половинки которых при помощи третьей затягиваются и закрепляют демпфер к кронштейну 1. По необходимости, с их помощью можно изменить рабочую длину демпфера, т. е. отрегулировать как период свободных колебаний T , так и декремент λ маятников с точностью \pm (3 \pm 5) %. Разгрузка демпфера от собственного веса маятника происходит при помощи струнной подвески 6. Она проходит по оси демпфера и закрепляется к кронштейну 1. Длиннопериодные сферические маятники $T=0,8$ и $T=1,0$ сек модернизированы с целью упрощения конструкции, облегчения условий тарировки и эксплуатации. Они выполнены с одной инертной массой. Для снижения давления иглы на кассету регистрация проводится на средней части колебательной системы (фиг. 2).

б. Горизонтально расположенные поляризованные маятники

На стержень маятника 7 закреплена планка 2 с двумя резьбовыми отверстиями, симметрично расположенными относительно оси стержня в горизонтальной плоскости (фиг. 3). В отверстия ввинчиваются 2 демпферных стержня 4. Вторые концы вставляются между прижимными план-



Фиг. 3. Общий вид поляризованного маятника сейсмометра ИГИС-1М ($T=0,05 \div 0,2$ сек).

камн 5, которые являются регулируемыми и туго закрепляются. При необходимости можно изменить рабочие длины демпферов с целью отрегулировать T и λ маятника. Инертная масса 6 крепится к стержню 7 и поддерживается пружиной 1, закрепленной к центру тяжести системы.

4. Определение основных параметров и результаты лабораторных испытаний прибора ИГИС-1М

Тарировка сейсмомаятников в приборе ИГИС-1М в основном сводится к регулировке периодов свободных колебаний T и их логарифмических декрементов затухания λ . Поскольку маятники в отдельности моделируют реальные здания и сооружения, следовательно, основные характеристики сейсмомаятников должны быть по возможности близки к характеристикам этих сооружений при колебании, которые приведены в таблице 2.

а) Регулировка периодов свободных колебаний сейсмомаятников

Проведенные эксперименты показали, что кабельный полиэтилен цилиндрической формы диаметром 12,5 мм и длиной 40÷45 мм с соответствующими струнными подвесами вполне достаточен для получения основных параметров сейсмомаятников.

Для получения точных величин основных характеристик, подбирают рабочую длину демпфера l_d и место расположения инертной массы на стержне маятника, $l_{пр}$ — приведенная длина маятника. Величины смещения маятников регистрируются на законченном стекле, а период свободных колебаний определяется по записи с помощью индукционного датчика, гальванометра ГБ-IV с собственной частотой 80 гц и осциллографа И-700.

Изменяем величины l_d и $l_{пр}$ любого сейсмомаятника можно получить любые точные желаемые величины T и λ , находящиеся в промежутках показаний двух сходных маятников.

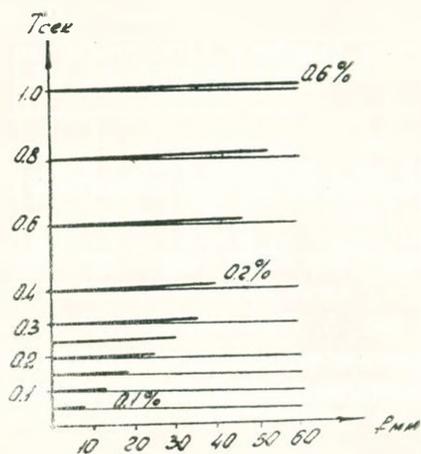
б) Исследование зависимости периода T от амплитуды колебаний маятников прибора ИГИС-1М

Зависимость периода T сейсмомаятника от величины амплитуд его колебаний исследовалась для различных амплитуд, лежащих в диапазоне от 0,1 до 60 мм для маятников с $T=0,05\div 1,0$ сек. На основании проведенных экспериментов пришли к заключению, что от изменения амплитуды колебаний период маятника изменяется, возрастая с увеличением амплитуд.

Характер этой зависимости для различных исходных периодов маятников показан на фиг. 4.

в) Определение степени успокоения сейсмомаятников

Для определения степени успокоения сейсмомаятников, использованы записи колебаний маятников во времени. Результаты проверки по-



Фиг. 4. График зависимости периода сейсмоятника от величин амплитуд его колебаний.

Таблица 3

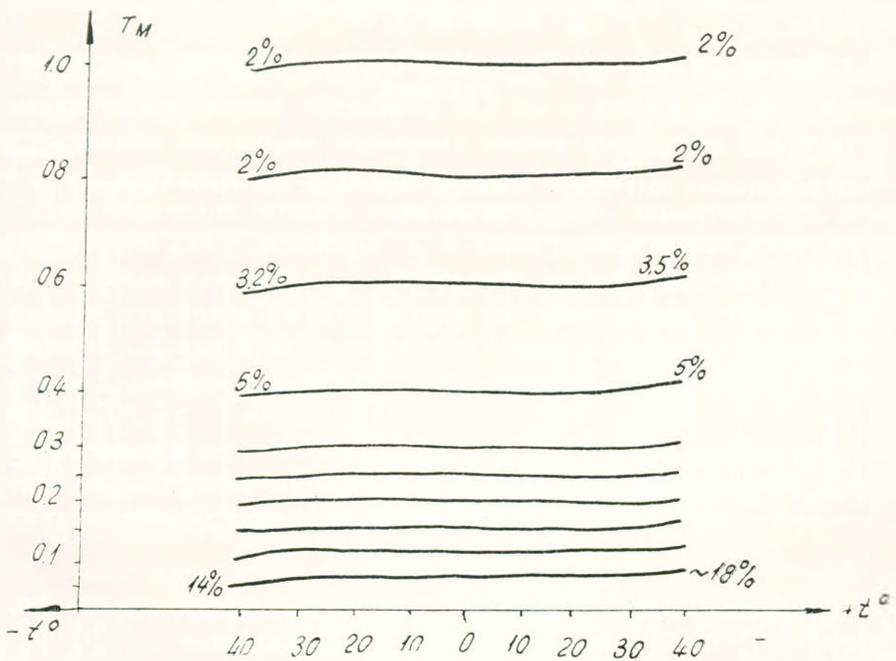
Экспериментально полученные основные параметры маятников сейсмометра НГИС-1М

Диаметр демпфера в мм и количество в штуках Фд	Диаметр подвеса в мм Ф _{под}	Длина демпфера в мм l _д	Расстояние от центра вращения до центра тяжести системы в мм l _{гр}	Вес инертной массы в кг Q	Марка демпферного материала	Размеры пружинных подвесов в мм	Период свободных колебаний маятников в сек T	Логарифмический декремент λ
Сферические маятники								
1×12	1,0	25	330	2,3	РК-3 с оболочкой		1,0	0,3
1×12	1,0	28	280	2,3	РК-3 с оболочкой		0,8	0,32
1×9,5	1,6	14	242	1,8	РК-3 без оболочки		0,6	0,33
1×9,5	1,6	14	142	1,8	РК-3 без оболочки		0,4	0,35
1×9,5	1,6	13	76	1,8	РК-3 без оболочки		0,3	0,38
1×9,5	2,2	4	157	1,8	РК-3 без оболочки		0,25	0,4
1×12	3,0	14	142	1,8	РК-3 с оболочкой		0,2	0,42
1×12	3,0	11	85	1,8	РК-3 с оболочкой		0,15	0,45
1×12	3,0	8	42	1,8	РК-3 с оболочкой		0,1	0,47
1×12	1,0	5 осн. 24 доп.	36	1,0	РК-3 с оболочкой		0,05	0,5
Поляризованные маятники								
2×12	—	10	210	1,5	РК-3 с оболочкой	1×12 19-50	0,2	0,43
2×10	—	8	165	1,3	РК-100 с оболочкой	1×12 19-50	0,15	0,45
2×10	—	5	107	1,3	РК-100 с оболочкой	1×12× 19-50	0,1	0,47
2×12	2×2	4	48	1,3	РК-3 с оболочкой	1×12× 16-45	0,05	0,50

казали, что усложнение в полиэтиленовых демиферах, применяемых в сейсмомаятниках, почти линейное. Отклонение от прямолинейности составляет $3 \pm 6\%$.

г) Влияние температуры на характеристики сейсмомаятников

Полученные результаты проведенных исследований в камере тепла и холода в течение 6–7 часов при температурах от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ приведены на графике фиг. 5. При температурном режиме от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ величины периодов колебаний маятников отклоняются на максимум $\pm 10\%$, а декременты затуханий соответствующих маятников — $\pm 8\%$.



Фиг. 5. График влияния температуры на характеристики сейсмомаятников.

д) Определение чувствительности маятников прибора ИГИС-1М

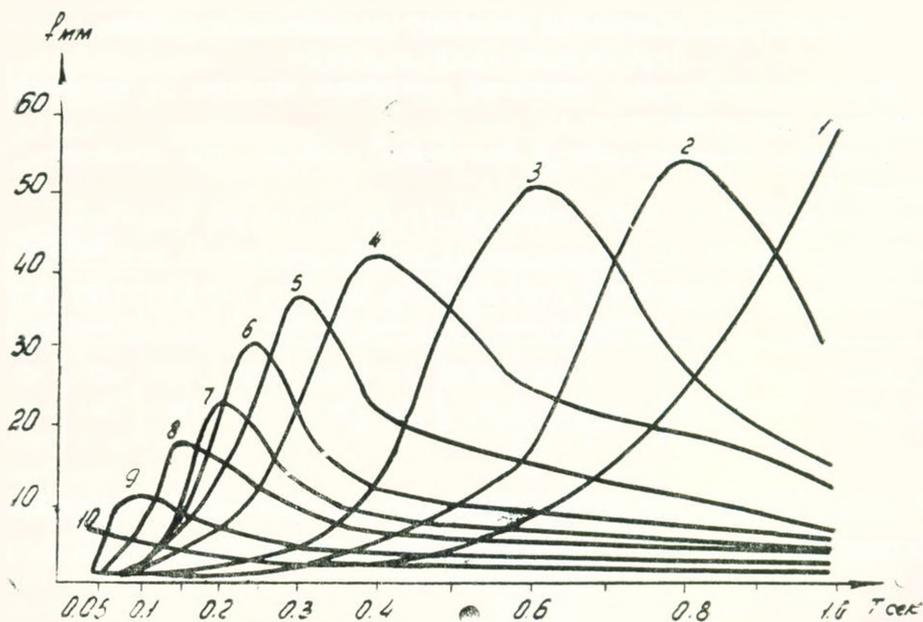
Чувствительности сейсмомаятников определены на тарировочной виброплатформе. Сначала проводится синхронизация частот виброплатформы с сейсмомаятниками по отдельности. Определяются величины предельных смещений виброплатформы. После запуска ее соответствующий маятник по частоте с платформой попадает в резонанс и отклоняется на определенную величину.

Одновременно регистрируются и остальные сейсмомаятники. По величине начального отклонения и периоду колебаний платформы вычисляется приведенное ускорение платформы, значения которых приведены в таблице 4.

Таблица 4

<i>T</i> в сек	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
<i>A</i> _{пл. min}	0,001	0,003	0,004	0,005	0,007	0,009	0,017	0,03	0,04	0,05
<i>a</i> _{пл. min}	0,016	0,012	0,007	0,005	0,0047	0,004	0,004	0,0034	0,003	0,002
<i>f</i> _{м. min}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<i>A</i> _{пл. max}	0,05	0,12	0,2	0,22	0,3	0,36	0,5	0,6	0,98	1,5
<i>a</i> _{пл. max}	0,8	0,5	0,36	0,22	0,19	0,15	0,12	0,06	0,06	0,06
<i>f</i> _{м. max}	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60

В таблице 4—величины предельных смещений платформы в см; *a*—величины предельных ускорений платформы в см/сек²; *f*—величины предельных смещений маятников прибора, принятые в зависимости от силы землетрясения, в мм.



Фиг. 6. График резонансных кривых для сферических маятников.

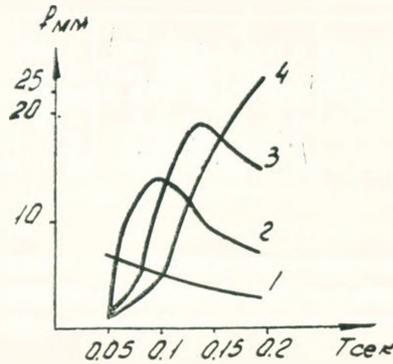
Регистрация величины смещений платформы произведена на осциллографической ленте. Рычажно-оптическая система с осциллографом Н-700 позволяет получить одновременно частоту колебаний платформы и величину смещения достаточно точно.

Контроль величины смещения платформы осуществляется индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Максимальная погрешность системы регистрации составляет ±1,5%.

Величина смещений маятников фиксирована регистраторами маятников на закопченном стекле.

По полученным результатам построены графики фиг. 6 для сферических маятников и фиг. 7 для поляризованных маятников.



Фиг. 7. График резонансных кривых для поляризованных маятников

Величины предельных смещений маятников прибора от ускорения платформы выражены через f .

Значения чувствительности маятников прибора f/a приведены в таблице 5.

Таблица 5

T в сек	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
f_m/a_{min}	0,7	1,7	4,5	10,25	11	18,5	23	27	35	40
f_m/a_{max}	0,73	2,4	6	11	15	20	32	80	90	90

Повторяемость показаний маятников при одинаковых ускорениях платформы не превышает 1% максимальных смещений.

Выводы

1. Модернизированный многомаятниковый сейсмометр ИГИС-1М может быть рекомендован для регистрации сильных движений при сейсмических воздействиях.

2. Имеется возможность регулировать в широких диапазонах периоды колебаний и декременты затухания маятников.

3. Принятые в приборе характеристики близки к таковым для реальных зданий при колебаниях.

4. Упрощена конструкция маятников и прибора в целом.

5. Путем увеличения диаметра демпферов, струнных подвесок и веса инертных масс повышена чувствительность, надежность и срок службы прибора.

6. Значительно повышена стабильность действия прибора при температурных режимах $\pm 40^\circ\text{C}$ в ждущем режиме.

7. Зависимость затухания маятников от частоты и величины амплитуд колебаний постоянная, отклонение не превышает $3\frac{1}{2}-5\%$.
8. Показания от одинаковых возбуждений идентичные.
9. Ликвидированы крутильные колебания в маятниках.
10. Упрощена паладка и тарировка маятников.
11. Значительно снижена трудоемкость изготовления прибора.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Поступила 10.VI.1974.

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա. Մ. ԿԱԶԱՐՈՎ, Ա. Ս. ՄՈՒՐԱԳՅԱՆ

**ՈՒՓԵՂ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐ ԳՐԱՆՅՈՂ ՄՈԳԵՐՆԱՅՎԱԾ ԻԳԻՍ-1 Մ
ԲԱԶՄԱՃՈՃԱՆԱԿ ՍԵՅՍՄՈՄԵՏՐ**

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում բերված են տեղեկություններ *ԻԳԻՍ-1 Մ* բազմաձևձանակ սեյսմոմետրի վերաբերյալ: Տրվում են նոր գործիքի տեխնիկական սվյաչները, նրա կոնստրուկտիվ լուծումը, ղինամիկական բնութագրերը և լաբորատոր փորձարկումների ժամանակ ստացված արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кацнельсон М. Ц. и Беляев Г. А. Справочник. Пластические массы. «Химия», 1968.
2. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН Арм. ССР, 1959.