

УДК 550.34.016

Б. К. КАРАПЕТЯН, С. С. СИМОНЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОВОЗДЕЙСТВИЯ
МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ И ФУНДАМЕНТОМ ЗДАНИЙ
В НАТУРЕ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

Для расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость, а также прогнозирования сейсмического воздействия, необходимо иметь достоверные данные о сейсмической нагрузке. При этом важно суметь правильно оценить изменение интенсивности сейсмических колебаний при их передаче от грунта фундаменту сооружения, то есть учесть взаимодействие между ними.

Таким образом, изучение фактора взаимодействия крайне необходимо для выявления истинных величин сейсмических сил, передаваемых сооружению при землетрясении. С этой точки зрения наиболее целесообразным является изучение поведения сооружений в натуре во время землетрясений или при сейсмозрывных воздействиях. В случае колебаний сооружений, размеры которых в плане соизмеримы с длиной волн, распространяющихся от источника возмущения, движущаяся волна будет достигать различных точек основания сооружения в различные моменты времени и сдвиг по фазе будет зависеть от длины сооружения и скорости распространения колебаний в грунте. Эффект такого сдвинутого по времени воздействия на сооружения может очень сильно отличаться от случая одновременного смещения всего основания.

Изучение вопроса взаимодействия начато более 20 лет тому назад. Однако полной ясности в этом вопросе не имеется и до настоящего времени. Вкратце остановимся на некоторых основных исследованиях, проведенных в этом направлении и приведем наши предложения и полученные при этом результаты.

Пожалуй Д. Хаузнер является первым исследователем, обратившим внимание на уменьшение сейсмического эффекта воздействия в результате имеющего место взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием (грунтом). Им были изучены записи ускорений грунта и фундамента в зданиях Арвинтехапечи при землетрясении 21 июля 1952 года. Регистрировались ускорения как в продольном, так и в поперечном направлениях. На основе этих данных были вычислены четыре спектральные кривые (по две для каждого из направлений). В результате оказалось, что величины этих ускорений не совпадают между собою. Ускорения на фундаменте получились существенно меньше, чем на грунте [8]. А. Г. Назаров в результате теоретических исследований пришел к выводу, что при землетрясении различные точки фундамента в один и тот же момент находятся в несколько различных условиях из-за распространяющейся сейсмической волны, которая несущественна

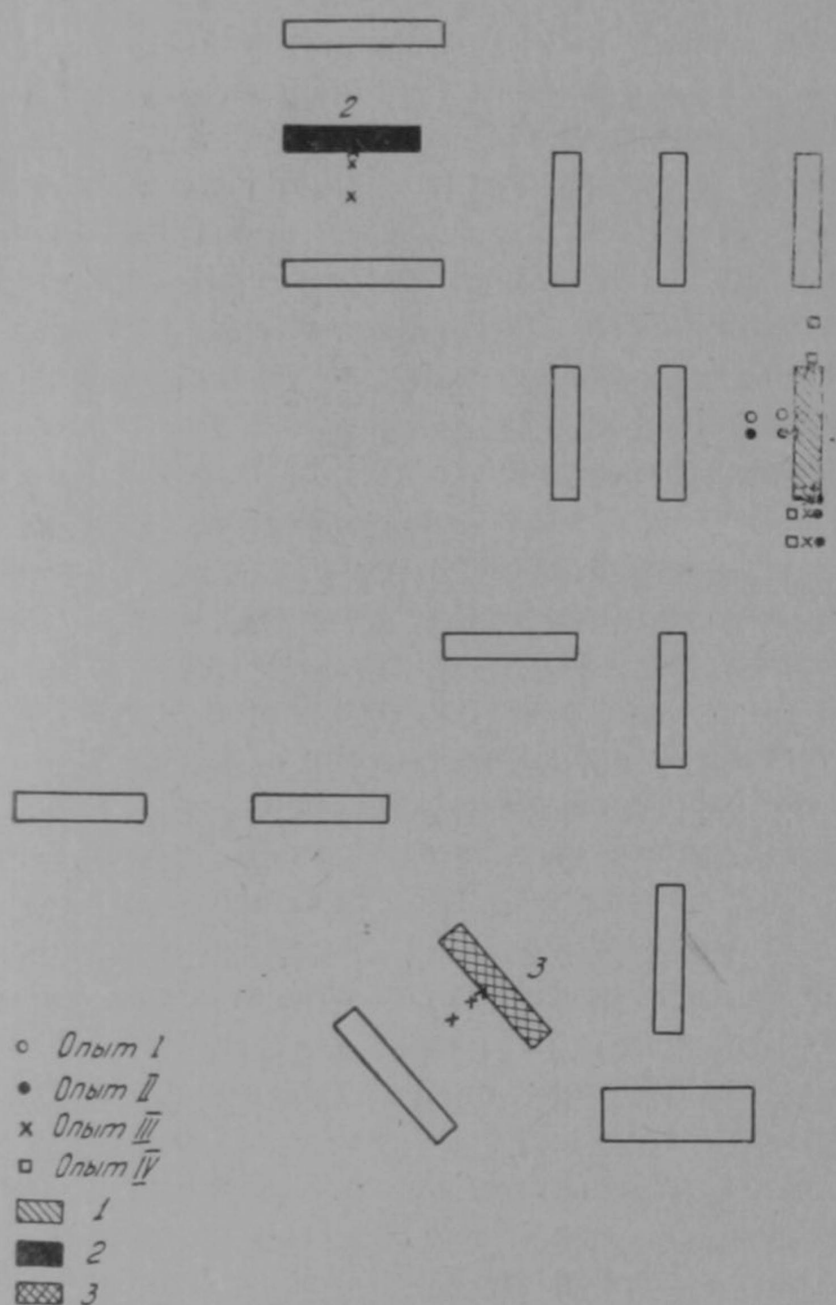
при относительно малых размерах фундамента [4]. А. П. Сеницыным теоретически исследовано влияние бегущей сейсмической волны на колебания массивных сооружений. Решалась задача о вертикальных колебаниях бесконечно жесткого сооружения, расположенного на упругом основании. Автор отмечает, что с увеличением отношения l/λ (λ — длина сейсмической волны, l — длина сооружения) амплитуда колебаний сооружений уменьшается [7]. Ш. Г. Напетваридзе в своих исследованиях по сейсмостойкости гидротехнических сооружений предлагает при расчете сейсмической нагрузки учитывать зависимость отношения размера основания сооружения к длине волны [5]. Б. К. Карапетян при исследовании взаимодействия сооружений с грунтом в натуре показал, что при передаче сейсмической энергии от грунта фундаменту сооружений в ряде случаев она существенно уменьшается [1]. Е. С. Медведева теоретически доказала, что интенсивность сейсмического воздействия на здания зависит от угла подхода упругой волны и от соотношения скоростей распространения продольных волн в грунте и на фундаменте. Если соотношение скоростей распространения продольных волн в грунте и на фундаменте равно 1,3, то наибольшее воздействие продольная волна оказывает при углах $\alpha = 15-45^\circ$. Если соотношение скоростей равно 0,4, то суммарные инерционные силы достигают максимума, когда $\alpha = 60^\circ$ [3]. Вопросу взаимодействия посвящены также работы В. А. Нечаева [6], Н. Д. Красникова [2] и др.

В отличие от проведенных до настоящего времени исследований по выявлению фактора взаимодействия между основанием и фундаментом сооружения, когда в каждом случае рассматривается конкретное здание или сооружение, мы предлагаем изучение проводить на участке, застроенном большим количеством зданий и сооружений. При этом будет иметь место не только взаимодействие между основанием и фундаментом отдельных зданий и сооружений, но и взаимное влияние этих зданий и сооружений друг на друга, то есть будет наблюдаться сложная картина взаимовоздействия¹. Помимо этого мы считаем, что следует учитывать и ряд других факторов, как влияние отдельных волн и направление от источника колебаний, состояние резонанса, интенсивность, спектральный состав колебаний и др.

Нами рассматривается участок, застроенный 4—5-этажными домами, имеющими период основного тона свободных колебаний 0,25—0,40 сек (фиг. 1). Грунтами основания здания являются песчано-галечниковые отложения с несущей способностью 2,5 кг/см². Приборы были установлены на расстояниях 0,5; 2,0; 20,0 м от различно ориентированных зданий (параллельно, перпендикулярно и под углом к воздействию), а также на фундаментах этих зданий.

Были изучены 4 сейсмовзрывных воздействия, которые на исследуемом участке имели интенсивность 3—5 баллов. Расстояние от места

¹ Термин «взаимовоздействие» введен нами в отличие от «взаимодействия» и является более общим понятием.

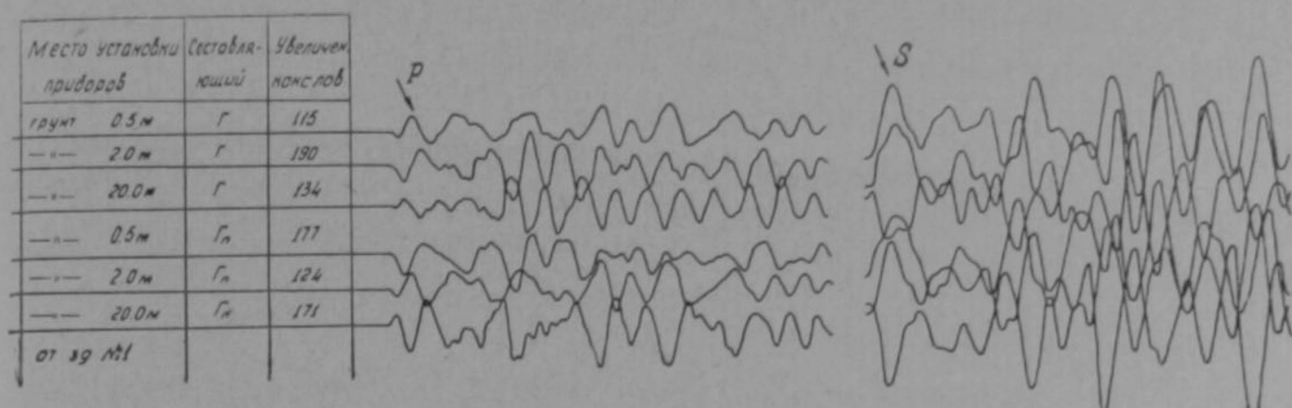


Фиг. 1. Схема расположения приборов на плане исследуемого участка. взрыва было более 100 км. Длительность сейсмозрывных колебаний в среднем составляла 15 сек. На записях имелась возможность четко выделить продольные и поперечные волны (фиг. 2).

Полученные данные сведены в таблицу 1, где приводятся максимальные смещения продольных и поперечных колебаний и соответствующие им периоды.

Перейдем к анализу полученных экспериментальных данных и укажем некоторые закономерности, которые нам удалось установить.

При I опыте замсы проводились у здания № 1 на грунте в двух точках (на расстояниях 20 и 2 м), а также на фундаменте здания по линии, перпендикулярной к направлению взрыва. Таким образом, приборы записывали колебания в трех точках по двум взаимно перпендикулярным составляющим (в направлениях малой оси здания—Г и большой оси здания—Гп). Получилось, что на грунте (на различных расстояниях) и в здании (на фундаменте) максимальные смещения мало отличаются как по продольным, так и по поперечным волнам. Периоды колебаний как продольных, так и поперечных волн получились в среднем 0,5 сек.



Фиг. 2. Запись колебаний грунта в различных точках от здания № 1 при опыте 1.

Во время II опыта приборы были установлены по двум взаимно перпендикулярным направлениям вдоль линии взрыва (с торца здания № 1) и перпендикулярно (с фасада того же здания). Записи проводились по двум горизонтальным составляющим, ориентированным по главным осям здания. Рассмотрение величин максимальных смещений показывает, что на грунте на различном удалении от здания с приближением к нему они уменьшаются. Это особенно заметно при анализе данных приборов, расположенных вдоль линии взрыва (как по продольным, так и поперечным волнам). При этом разница для колебаний в двух взаимно перпендикулярных направлениях существенная—большие величины получились по линии взрыва. Что касается данных, полученных с помощью приборов, расположенных поперек линии взрыва, то в этом случае никакой разницы в двух взаимно перпендикулярных направлениях не получалось, конечно, для одних и тех же точек. Разница в величинах максимальных смещений на грунте у здания и в здании практически не наблюдается.

III опыт примечателен тем, что, в отличие от двух предыдущих опытов, приборы были установлены на грунте, поблизости от трех различно ориентированных по отношению к взрыву зданий (№ 1, № 2, № 3) на различном удалении от них. При этом у двух зданий (№ 1 и № 2) замеры производились вдоль линии взрыва, а у здания № 3 под углом, примерно 45° . Этот взрыв был несравненно слабее двух предыдущих и поэтому не наблюдалось большой разницы в показаниях приборов, расположенных на различных расстояниях от каждого из зданий. Однако, с другой стороны, ясно видно, что величины максимальных смещений уменьшаются с удалением рассматриваемых зданий от места взрыва. Но в этом случае расстояние от взрыва не может иметь значения, поскольку взрыв производился на очень большом удалении от зданий (более 100 км), в то время как расстояние между крайними зданиями всего 0,4 км. Здесь, видимо, сказывается влияние самих зданий, в результате чего происходит уменьшение сейсмозрывного воздействия.

При IV взрыве приборы были установлены перед зданием № 1 и за ним (по его длине) на грунте, а также в здании в обоих торцах. При этом взрыве очень четко выявилась роль здания как преграды на пути

Таблица 1

Величины максимальных смещений и соответствующие им периоды колебаний

№ опыта	№ здания (направление)	Место установки	Составляющая	Расстояние от здания в м	Продольная волна		Поперечная волна	
					макс. смещ. в мм	период в сек.	макс. смещ. в мм	период в сек.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	1	Грунт	Г	20	0,16	0,48	0,37	0,44
		Грунт	Гп	20	0,65	0,52	0,62	0,62
		Грунт	Г	2	0,18	0,56	0,36	0,44
		Грунт	Гп	2	0,54	0,48	0,72	0,57
		Подвал	Г	—	0,21	0,50	0,45	0,44
		Подвал	Гп	—	0,61	0,44	0,62	0,52
II	1 (с торца)	Грунт	Г	20	0,26	0,30	0,40	0,35
		Грунт	Гп	20	0,35	0,30	0,55	0,36
		Грунт	Г	2	0,12	0,50	0,27	0,40
		Грунт	Гп	2	0,25	0,30	0,34	0,35
		Грунт	Г	0,5	0,16	0,45	0,25	0,30
		Грунт	Гп	0,5	0,17	0,40	0,30	0,40
		Подвал	Г	—	0,12	0,35	0,22	0,46
		Подвал	Гп	—	0,17	0,41	0,30	0,35
	1 (с фасада)	Грунт	Г	20	0,25	0,40	0,34	0,35
		Грунт	Гп	20	0,25	0,30	0,37	0,35
		Грунт	Г	2	0,15	0,35	0,29	0,50
		Грунт	Гп	2	0,17	0,35	0,30	0,35
		Грунт	Г	0,5	0,13	0,35	0,30	0,50
		Грунт	Гп	0,5	0,14	0,40	0,29	0,40
III	1	Грунт	Г	20	0,07	0,36	0,16	0,4
		Грунт	Гп	20	0,07	0,34	0,20	0,35
		Грунт	Г	2	0,06	0,29	0,14	0,3
		Грунт	Гп	2	0,07	0,31	0,20	0,35
		Грунт	Г	0,5	0,03	0,41	0,08	0,45
		Грунт	Гп	0,5	0,06	0,34	0,12	0,4
	2	Грунт	Г	20	0,03	0,27	0,04	0,22
		Грунт	Гп	20	0,05	0,24	0,06	0,14
		Грунт	Г	2	0,04	0,19	0,04	0,27
		Грунт	Гп	2	0,04	0,24	0,06	0,28
		Грунт	Г	0,5	0,04	0,17	0,06	0,24
		Грунт	Гп	0,5	0,03	0,24	0,05	0,29
	3	Грунт	Г	20	0,07	0,32	0,13	0,36
		Грунт	Гп	20	0,13	0,30	0,15	0,34
		Грунт	Г	2	0,05	0,37	0,12	0,37
		Грунт	Гп	2	0,11	0,36	0,12	0,41
		Грунт	Г	0,5	0,07	0,38	0,13	0,41
		Грунт	Гп	0,5	0,10	0,36	0,13	0,43
IV	1 (ближний торец)	Грунт	Г	20	0,16	0,35	0,42	0,40
		Грунт	Г	2	0,11	0,35	0,30	0,40
		Грунт	Гп	2	0,17	0,30	0,45	0,40
		Грунт	Г	0,5	0,10	0,35	0,32	0,40
		Грунт	Гп	0,5	0,12	0,32	0,32	0,55
		Подвал	Г	—	0,09	0,35	0,30	0,40
		Подвал	Гп	—	0,10	0,42	0,27	0,40
		Грунт	Г	2	0,06	0,30	0,18	0,40
		Грунт	Гп	2	0,08	0,35	0,15	0,45
	1 (дальний торец)	Грунт	Г	0,5	0,04	0,30	0,12	0,40
		Грунт	Гп	0,5	0,08	0,30	0,18	0,40
		Подвал	Г	—	0,09	0,35	0,33	0,40
		Подвал	Гп	—	0,11	0,30	0,27	0,45

распространения сейсмических волн, а именно, у ближнего торца (от взрыва) произошло уменьшение сейсмического эффекта по мере приближения к зданию; далее в здании сейсмическое воздействие не изменилось и осталось постоянным как в ближнем, так и дальнем торце, а за зданием на грунте оно опять-таки уменьшилось. При этом следует отметить, что величины максимальных смещений по поперечным волнам получились намного больше (примерно в 2,5 раза), чем по продольным волнам.

В результате проведенного исследования получена сложная картина взаимодействия каждого здания на другие, их влияние как преград на пути распространения сейсмических волн, возрастание взаимодействия с увеличением интенсивности колебаний. Следует полагать, что при этом будет играть роль механизм очага землетрясения, спектральный состав колебаний грунта, а также приближение к состоянию резонанса.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Поступила 12.VI.1972.

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ս. Ս. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ՍԵՅՍՄԻԿ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ԳԲՈՒՆՏԻ ԵՎ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ
ՄԻՋԵՎ ՓՈԽՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ԱՐԳՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ն փ ն լ մ

Գրունտի և կառուցվածքի հիմնատակի միջև եղած փոխներգործության ուսումնասիրումն անհրաժեշտ է կառուցվածքում երկրաշարժի ժամանակ առաջացող սեյսմիկ ուժերի իրական մեծությունները պարզաբանելու համար:

Ի տարբերություն նախորդ հետազոտողների, երբ ամեն դեպքում դիտարկվում է որոշակի շենք, ուսումնասիրությունները կատարվում են մեծ թվով շենքերի տեղամասում:

Այս դեպքում փոխներգործություն է տեղի ունենում ոչ միայն առանձին շենքերի հիմնատակերի և հիմքերի միջև, այլև՝ միմյանց միջև:

Վերոհիշյալ ուսումնասիրությունները կատարվել են 4—5 հարկանի շենքերի համար, որոնք կառուցված են 400×400 մ չափսեր ունեցող տեղամասում: Ուսումնասիրությունները կատարվել է 3—5 բալ ինտենսիվություն ունեցող 4 սեյսմիկ ազդեցությունների դեպքում: Շենքերի փոխազդեցությունից ստացվում է բարդ պատկեր՝ նրանք սեյսմիկ ալիքների տարածման ճանապարհին հանդես են գալիս որպես պատնեշ: Սեյսմիկ ազդեցության ինտենսիվության աճի հետ միաժամանակ աճում է շենքերի փոխներգործությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян Б. К. Колебание сооружений, возведенных в Армении «Айастан», Ереван, 1967.

2. Красников Н. Д. К вопросу оценки динамической прочности и устойчивости гидро-сооружений при взрывных воздействиях. Бюлл. по инж. сейсмологии, № 6, Ереван, 1970.
3. Медведева Е. С. Воздействие сейсмических волн на фундамент сооружения. Мат. всесоюз. совещ. по проектированию и строительству сейсмостойких зданий и сооружений. М., 1971.
4. Назаров А. Г. О взаимодействии между фундаментом сооружения и основанием при землетрясении. Тр. Тбилисского геофизического ин-та, т. VI, 1939.
5. Напетваридзе Ш. Г. Влияние протяженности сооружения на величину сейсмической силы. Тр. ин-та строительной механики и сейсмостойкости АН Груз. ССР, том IX, 1963.
6. Нечаев В. А. Взаимодействие грунта и сооружения при землетрясении. Труды ин-та сейсмостойкости строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР, том VIII, Душанбе, 1960.
7. Синицын А. П. Новые задачи динамики плит на упругом основании. Изд. ВИА, М., 1963.
8. Housner G. W. Interaction of Building and Ground during an Earthquake. Bull. S. S. A., Number 3, vol. 47, 1957.