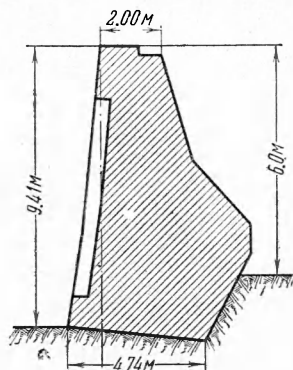


КОЛЕБАНИЯ БЕТОННОГО СООРУЖЕНИЯ НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОКА. А. Дерibas, Н. В. Жилин, Н. Д. Красников, Л. Л. Марченко,  
Н. В. Севастьянов

(Новосибирск)

Исследуются колебания причальной стенки Новосибирского речного порта при проведении экспериментальных подводных взрывов. Стенка, выполненная из монолитного железобетона, сооружена на гранитном основании. Под водой на расстояниях от 17 до 30 м производились опытные подрывы зарядов ВВ (аммонит № 6 и порошкообразный тротил) весом от 15 до 100 кг.

**Характеристика объекта исследований.** Исследованный участок причальной стенки имеет длину ~350 м и ширину от 30 до 40 м. Стенка разделена температурно-усадочными швами на 18 секций разной длины (15 и 22 м). На фиг. 1 изображен примерный разрез стенки. Стенка сделана из бетона марки «140» с добавлением около 20% бута. Геологическое строение берега и русла р. Оби в районе водных подходов к порту характеризуется следующими данными.



Фиг. 1. Профиль стенки

С поверхности русло и береговая часть реки перекрыты четвертичными отложениями, представленными супесью, песком, илом и суглинком с включением гальки и камня коренных пород. Толщина этих отложений в среднем порядка 0,4 м. Под наносными отложениями находится скальная порода, представленная крупно- и мелкозернистым гранитом серого и светло-желтого цвета. Поверхность скалы неровная, холмистая, с определенным уклоном в сторону русла реки.

На значительную глубину поверхность гранита (до 2,0—2,5 м и более) сильно выветрена и разбита трещинами. Общее состояние гранитной породы в зоне выветривания по степени ее сохранности весьма неравномерное: наблюдались постепенные и неправильные изменения ее механической прочности и кристаллического строения от типа массивной «сливной» породы до разрушенной в супесь и глину. Попадают острые выступы, похожие на крупные валуны, но лежащие в своих гнездах или окруженные полностью выветренными зонами гранита. Трещины в скальной породе имеют различные направления. В основном порода может характеризоваться как крепкая, плохо поддающаяся бурению. Прочность гранита на сжатие колеблется от 500 до 1500 кг/см<sup>2</sup>.

Возведение исследованного нового участка причальной стенки производилось на земляной перемычке с уборкой скалы в строительном котловане насухо. Окончательная зачистка дна и бортов выемки под основание причальной стенки не производилась, и они имели неровную зубчатую поверхность. Это обстоятельство способствовало лучшему сцеплению бетонного массива стенки со скальным основанием. Естественный грунт за стеной убирался до скалы на протяжении 10,0 м от ее задней грани. Засыпка за стенку осуществлялась крупным и средним песком.

В период строительства была разработана и убрана лишь часть скалы, примыкающая непосредственно к стенке. Разработка и уборка скального грунта, находившегося под земляной перемычкой и за нею, не производилась, поэтому после окончания строительства возникла необходимость в дополнительном проведении дноуглубительных скалоуборочных работ на небольшом удалении от существующего сооружения.

По первоначальному проекту для рыхления и разработки скалы предполагалось использовать мелкошпуровой метод взрывных работ. Однако уже в начале работ выяснилось, что в условиях Новосибирского речного порта этот метод по ряду причин (вследствие большой трещиноватости породы, быстрой заносимости шпуров, а также из-за отсутствия на участке необходимого оборудования) оказался недостаточно эффективным, в связи с чем в дальнейшем был применен метод подводного взрывания накладных зарядов весом до 25—30 кг.

Подобное увеличение веса зарядов ВВ потребовало специальных наблюдений за причальной стенкой при подводных взрывах, которые были проведены авторами при участии В. С. Ненилиной. При обработке и анализе полученных данных ценная помощь была оказана Д. А. Хариним.

**Описание измерений.** Наблюдения за колебаниями секций причальной стенки проводились при подводных взрывах накладных зарядов ВВ весом от 20 до 100 кг, размещенных на расстоянии 17 м от лицевой грани стенки. Для проведения опытов было выбрано два створа: 1-й створ — вблизи от места сопряжения старой и новой стенки (на участке между секциями 2 и 7) и 2-й створ — ближе к концу стенки (против секции 16). На 1-м створе производились взрывы как аммонитовых (весом от 25 до 96 кг), так и тротильных зарядов (весом от 20 до 100 кг), а на 2-м створе — только взрывы

тритиловых зарядов (весом от 20 до 100 кг). При этих опытах употреблялся порошкообразный тротил. Заряды располагались обычно на дне против малой (длиной 15 м) секции причальной стенки.

Глубина воды в месте установки зарядов вследствие колебания уровня воды в реке изменялась: при проведении опытов на створе 1 — от 1.5 до 3.0 м и при проведении опытов на створе 2 — от 2.7 до 4.0 м. Всего был произведен 31 опытный взрыв.

При взрывах регистрировались перемещения нескольких (4—5) секций причальной стенки, наиболее близко расположенных к месту установки заряда. Измерялись вертикальные и горизонтальные (перпендикулярные к линии причального фронта) перемещения секций стенки. Регистрация колебаний осуществлялась при помощи сейсмоприемников типа ВВП (виброграф больших перемещений) и ВЭГИК с записью на осциллографах ПОБ-14, снабженных перезагащенными гальванометрами типа ГВ-Ш. Подробное описание использованной аппаратуры можно найти, например, в работах [2], [3] и др.

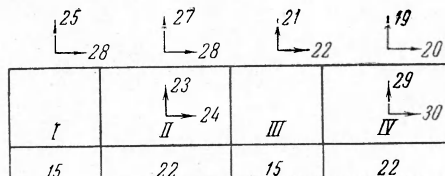
Сейсмоприемники крепились к стенке при помощи алебастрового раствора, что давало достаточно хорошее сцепление приборов со стенкой.

На верхней грани ближайшей к взрыву секции причальной стенки (длиной 15 м) устанавливались два сейсмоприемника каждого типа (ВВП и ВЭГИК), причем одна пара приборов регистрировала вертикальную составляющую  $Z$ , а другая — горизонтальную составляющую перемещения  $H$ . На большой секции, расположенной рядом (длиной 22 м), кроме четырех верхних приборов устанавливались два прибора (один ориентированный по  $Z$ ), а другой — (по  $H$ ) в нишах на высоте 4.13 м от подошвы стенки.

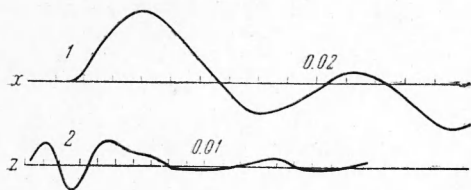
На верхней грани секций, более удаленных от взрыва, оставалось только по два сейсмоприемника ВЭГИК.

На фиг. 2 показана схема размещения приборов на стенке во время одного из опытов.

**Результаты и выводы.** В результате обработки и анализа полученных экспериментальных данных можно отметить следующее. При взрывах секции причальной стенки совершают сложное колебательное движение. Однако отсутствие данных о колебаниях грунта в основании стенки (ввиду практической невозможности проведения таких наблюдений в процессе опытов) и недостаточное количество точек измерения на самой стенке не позволяют произвести надлежащую оценку того, испытывают ли секции причальной



Фиг. 2. Схема расположения сейсмоприемников на стенке в одном из опытов



Фиг. 3. Сейсмограммы движения секций стенки при взрывах. Кривая 1 при  $R=17$  м,  $C=195$  кг тротила, ВЭГИК,  $\beta=100$ ; кривая 2 при  $R=17$  м,  $C=96$  кг аммонита, ВЭГИК,  $\beta=100$

стенки в процессе колебаний динамические деформации как среда, в которой распространяются взрывные волны (т. е. как продолжение скального основания), или же они колеблются под действием ударной волны в воде и сейсмических волн взрыва как твердое (недеформируемое) тело на деформируемом основании.

Примем следующую нумерацию секций стенки: 1 обозначим секцию, находящуюся против взрыва, 2 — соседнюю с ней секцию и т. д.

На фиг. 3 представлена типичная картина колебаний секций причальной стенки при взрывах зарядов различного веса на различных расстояниях от стенки.

При взрывах зарядов весом 50 кг и более для вертикального движения прибора, установленного на центральной секции, характерным является отсутствие отрицательного отклонения.

По показанию приборов секция стенки после первого отклонения вверх возвращается к положению равновесия и, не переходя через него, сразу же начинает второе отклонение. Наблюдается как бы два подскока. Секция 2 уже имеет отклонение вниз, а при переходе к следующим секциям происходит относительное увеличение этого отрицательного отклонения и уменьшение первого положительного. С удалением от места взрыва вертикальные перемещения секций стенки уменьшаются: при переходе от секции 1 к секции 2 — в 3—4 раза, при переходе от секции 2 к секции 3 — в 2—3 раза, при переходе от секции 3 к следующей — примерно в 2 раза.

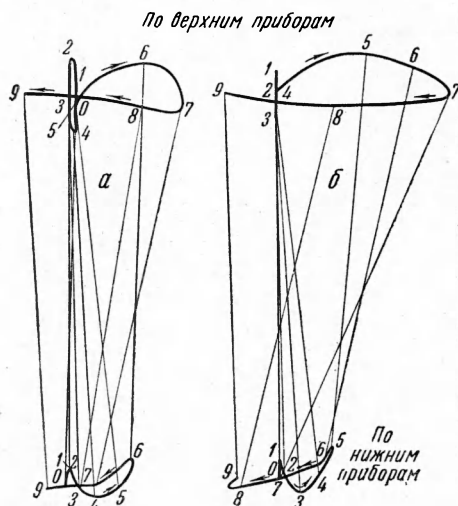
Горизонтальные колебания секций причальной стенки по мере удаления от взрыва претерпевают более значительную трансформацию. Можно заметить, что число горизонтальных отклонений при переходе от ближних секций к более удаленным не остается постоянным, а увеличивается.

Отношения горизонтальных смещений соседних секций менее стабильны, чем отношения вертикальных смещений, но все же перемещения секции 1 несколько превышают перемещения секции 2 и значительно превышают перемещения секций 3 и 4.

Степень затухания горизонтальных колебаний секций стенки по мере удаления от места взрыва падает несколько медленнее, чем вертикальных колебаний.

Горизонтальная составляющая перемещений секций причальной стенки при взрывах в большинстве опытов значительно превосходит по амплитуде (в 1.5—3.0 раза) вертикальную составляющую и вместе с тем отличается значительно большими периодами колебаний.

В соответствии с показаниями приборов, установленных на верхней грани стенки и в нишах (на высоте 4.13 м от ее нижнего переднего ребра), были построены (фиг. 4)



Фиг. 4. Траектория движения точек стенки при взрывах

траектории движения этих точек при взрывах. При рассмотрении фиг. 3 и 4 видно, что верх стенки вступает в движение несколько позже, чем ее середина. Вместе с тем, по абсолютной величине перемещения верха стенки больше перемещений середины. Движение секции стенки представляет собой как бы поворот вокруг центра вращения, находящегося где-то над ее подошвой, с одновременным горизонтальным смещением основания.

На фиг. 4 показано положение передней грани секции стенки в разные моменты времени, постоянное по траекториям движения двух указанных выше точек, при взрыве зарядов весом 20 и 40 кг на расстоянии 17 м от стенки.

По абсолютной величине вертикальные и горизонтальные перемещения верха стенки примерно в 1.7 раза превышают такие же перемещения ее середины.

При взрывах зарядов весом 50 кг и более для центральной и соседних с нею секций стенки наибольшие амплитуды и наименьшие периоды, а следовательно и наибольшие скорости и ускорения колебаний, соответствуют первому отклонению секций от положения равновесия. Для дальних секций, а при взрывах небольших по весу зарядов (до 40 кг) и для ближних секций иногда преобладающими являются размахи колебаний между вторым и третьим отклонениями секций от положения равновесия. Однако по абсолютной величине эти размахи меньше первых отклонений ближних секций при взрывах больших (свыше 50 кг) зарядов. Кроме того, им соответствуют большие значения периодов колебаний. Таким образом, наибольшую опасность для причальной стенки представляют первые отклонения ближайших к взрыву секций от положения равновесия, для которых и была выполнена обработка опытного материала.

В таблице приведены найденные по первым отклонениям значения амплитуд и периодов вертикальных и горизонтальных колебаний секций причальной стенки при взрывах аммонитовых и тротильных зарядов разного веса.

Индексы 1, 2, 3 и 4 при  $A_z$ ,  $T_z$ ,  $A_x$ ,  $T_x$  означают, что амплитуды или периоды вертикальных и горизонтальных колебаний относятся соответственно к 1, 2, 3 и 4 секциям стенки согласно принятой их нумерации. Амплитуды  $A_z$ ,  $A_x$  соответствуют величинам первого отклонения секции стенки от положения равновесия, а периоды  $T_z$ ,  $T_x$  — удвоенному периоду первого отклонения.

Из таблицы видно, что интенсивность колебаний причальной стенки при взрывах аммонитовых зарядов (опыты 5—13) меньше, чем при взрывах таких же по весу тротильных зарядов (опыты 16—19) при расположении их на одинаковых расстояниях от рассматриваемых секций.

Было также отмечено, что с увеличением числа взрывов, производимых на одном и том же створе, перемещения секций стенки, вызванных последующими взрывами одинаковых или даже несколько меньших по весу зарядов, заметно возрастают.

Максимальные из всех опытов перемещения центральной секции ( $A_{z1} = -2.00$  мм,  $A_{x1} = 2.30$  мм) наблюдались при взрыве на створе 1 заряда весом 100 кг, расположенного на расстоянии 17.0 м от стенки (опыт 19).

Как следует из таблицы, период вертикальных колебаний всех четырех секций на створе 1 изменяется в пределах от 0.03 до 0.05 сек; для секции, расположенной против точки взрыва, он может быть принят равным в среднем 0.042 сек. Можно также отметить, что для более удаленных от взрыва секций наблюдается некоторое уменьшение периодов вертикальных колебаний.

Амплитуды и периоды вертикальных (верхние значения) и горизонтальных (нижние значения) колебаний секций на первом створе ( $C$  — вес заряда, кг;  $h$  — глубина воды в месте установки заряда, м)

№ опытов	вид ВВ	C	h	Амплитуды, мм				Периоды, сек.				
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	
5	аммонит	25	2.5	0.175	0.067	0.043	—	0.040	0.040	0.040	—	
				—	0.29	0.098	—	—	0.100	0.100	—	
6		50	2.5	—	0.140	0.082	—	—	0.033	0.033	0.035	
				—	0.34	0.108	—	—	0.095	0.098	—	
7		50	2.5	—	0.173	0.040	0.041	—	0.040	0.034	0.040	
				—	0.36	0.158	—	—	0.090	0.092	—	
12		аммонит	96	1.5	0.78	0.210	0.105	0.060	0.050	0.040	0.035	0.030
					1.05	—	0.290	0.103	0.06	—	0.130	0.084
13			96	1.5	1.30	0.280	1.144	0.052	0.050	0.040	0.038	0.030
					1.43	0.69	0.300	0.120	0.06	—	0.090	0.090
16	тротил		20	3.0	0.35	0.088	0.091	0.028	0.050	0.032	0.040	0.028
					0.90	—	0.076	0.076	0.14	0.15	0.075	0.070
18			20	3.0	0.70	1.157	0.135	0.046	0.035	0.035	0.040	0.032
					1.54	0.84	0.067	0.066	0.080	0.13	0.100	0.080
19			100	3.0	2.00	0.400	0.260	0.088	0.040	0.040	0.050	0.034
					2.30	1.05	0.210	0.075	0.096	0.14	0.070	0.076

Периоды горизонтальных колебаний по мере удаления секций от взрыва изменялись в более широких пределах. В случае больших зарядов для ближних секций, которые при взрывах совершали всего 1—2 отклонения от положения равновесия (см. фиг. 4) наблюдались большие периоды горизонтальных колебаний (до 0.14 сек), а при взрывах малых зарядов и для более удаленных секций, где, очевидно, регистрировалась уже другая волна, эти периоды значительно уменьшались (до 0.06 сек).

Для ближайшей к взрыву секции при опытах на створе 1 период горизонтальных колебаний может быть принят равным в среднем 0.10 сек.

На основании полученных экспериментальных данных можно заключить, что предельным случаем для рассмотренных выше опытов является взрыв тротилового заряда весом 100 кг на расстоянии 17.0 м от лицевой грани стенки (опыт 19), при котором получены максимальные перемещения ближайшей к взрыву секции ( $A_{z1} = 2,00$  мм,  $A_{x1} = 2,30$  мм). При этом средние значения периодов вертикальных и горизонтальных колебаний для данной секции можно принять равными:  $T_{z1} = 0,042$  сек,  $T_{x1} = 0,10$  сек.

Необходимо также отметить, что в процессе рассматриваемых опытов после каждого взрыва производится тщательный осмотр надводной части секций стенки, наиболее близко расположенных к взрыву. При этом каких-либо повреждений стенки (образования трещин, откола кусков бетона и т. п.) не было обнаружено. Это позволяло считать, что произведенные взрывы являлись безопасными для рассматриваемого сооружения. В работе М. А. Садовского [4] при оценке сейсмической безопасности взрывов для близко расположенных сооружений рекомендуется исходить из значений скорости колебаний грунта при взрывах.

В соответствии с этим, приняв в первом приближении, что секции стенки при взрывах совершали гармонические колебания, находим для приведенного выше предельного случая (опыт 19) скорости вертикальных и горизонтальных колебаний  $v_{z1} = 29,5$  см/сек,  $v_{x1} = 14,5$  см/сек. На основании этого можно считать, что в случае массивных гидротехнических сооружений (типа причальной стенки Новосибирского речного порта) на скальных основаниях вызванные взрывами колебания основания со скоростью, не превышающей 30 см/сек, не вызывают повреждений сооружений.

Поступила  
6 VI 1960

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. Гидротехнадзор СССР, Металлургиздат, 1957.
2. Харин Д. А., Рулев Б. Г. Электродинамический сейсмограф для записи больших перемещений. Изв. АН СССР. Серия геофиз., 1957, № 1.
3. Харин Д. А., Максимов Л. С. О механизме колебаний плотин под воздействием потока сбрасываемой воды. Технич. сообщ. № 4, «Гидропроект» им. С. Я. Жук, М., 1958.
4. Садовский М. А. Сейсмический эффект взрывов. Тр. Всесоюз. совещания по буровым работам 1939 г. ГНТИ нефт. и горнопром. литературы, М., 1940.