

# ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОДЕССКОГО МОРСКОГО ВОКЗАЛА)

*Михайлов А.А., Пойзнер М.Б., Дубровский М.П.,  
Гурин А.И., Пушкин Г.Е. (Одесса)*

Исследования динамической работы сложных комплексных систем, включающих гидротехнические сооружения с расположенными на них надстройками – различными строениями, складами, зданиями и т. п. – важная практическая задача /1, 2/.

Ниже приведены результаты экспериментально-теоретических исследований совместной работы причалов Нового мола Одесского порта и здания морвокзала в динамической постановке.

При проектировании причалы были рассчитаны на нагрузки от судов водоизмещением до 20 000т. В настоящее время на причалах 15, 16 Нового мола приходится принимать суда водоизмещением свыше 50000т (типа “Rotterdam”, “Crystal Symphony”, “Norwegian Dream”). В этой связи возникает необходимость оценки влияния горизонтальных нагрузок от судов на конструкцию здания морвокзала.

Здание морвокзала, расположенное на Новом молу (причалы 15-19), имеет каркасную структуру на свайном основании – состоит из монолитных железобетонных рам, установленных на столбчатые фундаменты. Рамы каркаса соединены между собой железобетонными ригелями и сборными железобетонными плитами перекрытий. Под зданием морвокзала расположены склады, представляющие собой сборно-монолитный каркас, опирающийся на монолитные железобетонные фундаменты стаканного типа на естественном основании. Конструкции здания морвокзала и склада разделены совмещенными температурно-осадочными швами и работают по отдельной схеме.

Причалы 15-19 Одесского порта возведены в 1966-67гг. по проекту института “ЧерноморНИИпроект”. Так в конструктивном отношении, причал 15 – заанкеренный больверк с лицевой стенкой из металлического шпунта типа ZP-38 (длина причала 125,9м, проектная глубина – 9,5м).

Причал 16 – представлен двумя участками: участок 1 (длина 141м) – эстакада на железобетонных сваях сечением 45х45см с задней шпунтовой стенкой из металлического шпунта типа ZP-38; участок 2 (длина 149м) – заанкеренный больверк с лицевой стенкой из металлического шпунта типа “Ларсен-V”. Проектная глубина у причала – 11,5м;

Основные цели исследования:

определение влияния динамических нагрузок, передающихся от причальных сооружений на конструкцию здания морвокзала;

определение фактических параметров собственных колебаний системы “причалы – здание морвокзала”;

определение коэффициента динамичности конструкций ( $\beta$ ), применяемого в расчетах на сейсмические и динамические воздействия /3/.

Методика исследований. Для измерений параметров колебаний применена специальная методика испытаний, основанная на известном способе многоканальных исследований колебаний сооружений (МИКС), позволяющем синхронно регистрировать на одну фотопленку колебания различных точек сооружения в один и тот же момент времени /2, 4/.

Измерение колебаний сооружения производилось с помощью виброметрической аппаратуры, состоящей из электродинамических вибрографов, осциллографа с гальванометрами.

При исследовании динамики системы “причал – здание морвокзала” для регистрации горизонтальных колебаний использовались вибрографы типа ВЭГИК (период собственных колебаний прибора  $T = 1$ с, диапазон смещений 0,001-2,0мм). Для измерения вертикальных колебаний применены вибрографы типа С5С (период 0,01-5с, диапазон смещений до 15мм).

Для записи колебаний использован осциллограф Н-700 с гальванометрами ГБ-IV.

Колебания системы “причал – здание морвокзала” создавались навалом буксирного катера на причал (нагрузки от буксира прикладывались в направлении, перпендикулярном линии кордона причала), а также внезапным снятием с сооружения статически приложенной нагрузки. Для реализации второго способа, к причалу со стороны акватории крепились калиброванная на определенное усилие арматурная вставка, соединенная тросом с буксирным катером. При движении катера происходит натяжение и разрыв вставки, вызывающий горизонтальные колебания системы “причал – здание морвокзала”. В данном случае использовался буксир “Новатор” водоизмещением 440т, длиной 36,0м, шириной 9,3м, осадкой 3,8м.

При планировании экспериментальных исследований определялось необходимое число испытаний расчетной вероятности и заданной степени точности, достаточных для получения надежных данных о работе системы “причал – здание морвокзала”. Выбор необходимого числа экспериментов осуществлялся по основным динамическим характеристикам исследуемой системы – частотам колебаний. За базовую величину частоты колебаний принималась средняя арифметическая величина частот, определенная по числу проведенных экспериментов /2/.

При этом относительная ошибка, определенная по количеству проведенных экспериментов, для нормального закона распределения значений должна удовлетворять условию /1, 2/:

$$\Delta_n = \frac{t \cdot \gamma}{\sqrt{n}} \leq \Delta$$

где  $t$  – коэффициент доверия, которому соответствуют вероятности, гарантирующие определенные размеры предельной ошибки эксперимента;

$\gamma$  – коэффициент вариации, соответствующий определенному числу проведенных экспериментов;

$n$  – проведенное число испытаний;

$\Delta$  – предельная относительная ошибка измерений (при изменении частот колебаний сооружений  $\Delta = 0,05$ )

В данном случае для системы “причал – здание морвокзала” количество испытаний, которое можно принять для исследования ее динамики, должно быть не менее четырех.

Схемы расположения регистрирующих датчиков приведены на рис. 1.

Датчики типа ВЭГИК (№№ 1, 2, 3, 4, 5) регистрировали горизонтальные колебания, перпендикулярные линии кордона причала. Датчики типа С5С (№№ 6, 7) регистрировали вертикальные колебания. Показания датчиков записывались со следующим увеличением: №1 (типа ВЭГИК) – 600; №№ 2, 3, 4, 5 (типа ВЭГИК) – 1500; №№ 6, 7 (типа С5С) – 1000.

Нагрузка прикладывалась в районе швартовной тумбы №8 (причал 16) – навалом буксира на причал (в направлении, перпендикулярном линии кордона), а также путем разрыва калиброванных на усилие 26, 42 и 118 кН арматурных вставок соответственно О12 А-I, О12 А-III и О20 А-III.

Осциллограммы колебаний системы “причалы 15, 16 – здание морвокзала” приведены на рис. 2.

Основные динамические характеристики системы «причалы – здание морвокзала», полученные в результате выполненных исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

№ п/п	Параметры горизонтальных колебаний в плоскости, перпендикулярной линии кордона причалов 15-16	Система «причалы – здание морвокзала»	
		причалы 15-16	морвокзал
1	Частота собственных колебаний, Гц	0,87 – 1,02	1,62 – 1,82
2	Период собственных колебаний, с	0,98 – 1,14	0,55 – 0,60
3	Амплитуды перемещений (см), от приложенной к причалу нагрузки величиной:		
	26 кН.....	0,00106	0,00124/0,00065*
	42 кН.....	0,00165	0,0020/0,0010
	118 кН.....	0,00406	0,0058/*0,0029

\* – в числителе указано перемещение верха здания морвокзала, в знаменателе – верха здания склада

*Расчетное обоснование.* Для оценки напряжений и перемещений основания морвокзала под воздействием нагрузок от судов (с определением возникающих усилий в элементах конструкции морвокзала) выполнены теоретические исследования.

Расчетная модель здания принята в виде пространственной стержневой системы, состоящей из бесшарнирных, плоских рам, соединенных между собой элементами в виде пластин. Стойки рам жестко присоединены к свайным фундаментам. Свайные фундаменты смоделированы в виде рам с жестко заземленными в грунте стойками.

Для определения значимости величин перемещений узлов и усилий в элементах конструкций выполнен также расчет здания на воздействие ветровой нагрузки.

Статические расчеты каркаса здания морвокзала включали определение перемещений узлов, в которых соединяются элементы каркаса здания, а также вычисление усилий в этих элементах. Расчеты выполнены на воздействия нагрузок от навала судна на причал, которые приложены в уровне верха фундаментов к каждой из рам каркаса здания в отдельности. Нагрузки на фундаменты при действии максимально возможной силы навала судна 160т в зависимости от типа фундамента принимались 1,8–3,95т.

#### УСТАНОВЛЕНО:

· Вертикальные колебания причалов и конструкции здания морвокзала от действия судовых нагрузок пренебрежительно малы (так, частоты собственных колебаний причалов: 13,3 – 13,7 Гц, вертикальные перемещения – до 0,00025см).

· Имеет место передача воздействий от судовых нагрузок на конструкцию здания морвокзала. Установлена прямая зависимость между величиной приложенной к причалу горизонтальной нагрузки и соответствующими величинами перемещений (как причалов, так и конструкции здания морвокзала). Так, величина перемещения верха здания морвокзала от единичной нагрузки (1тс), приложенной к причалу перпендикулярно линии кордона, составляет порядка 0,00050см.

· При приложении к причалу нагрузки путем разрыва калиброванных вставок различного диаметра и класса арматуры, а также при навале буксира на причал (в направлении, перпендикулярном линии кордона), в принципе, соблюдается закономерность, при которой перемещение верха здания морвокзала превышает перемещение верха здания склада ориентировочно в два раза.

· Нагрузки, приложенные к причалу, вызывают определенные упругие перемещения конструкции здания морвокзала и самого причала, однако система “причал – здание морвокзала” отличается значительным затуханием (декремент колебаний системы превышает единицу). Таким образом, в процессе приложения к причалам судовых нагрузок не должны наблюдаться продолжительные по времени колебания исследуемой системы.

· Значения собственных частот колебаний соответственно причалов (0,87 – 1,02Гц) и здания морвокзала (1,62 – 1,82Гц) значительно разнятся, т. е. в сложившихся условиях возможность проявления резонансных колебаний исключена.

· При оценке динамики и сейсмостойкости системы “причалы – здание морвокзала” в соответствии с нормами /3/, величины коэффициента динамичности  $\beta$  должны назначаться следующим образом:

причалы 15-16:  $\beta = 1.32 \div 1.53 (\beta = 1/T_i)$

здание морвокзала:  $\beta = 1.67 \div 1.82 (\beta = 1.5/T_i)$

· Перемещения узлов каркаса здания морвокзала очень малы по абсолютной величине (порядка 1 мм) и составляют незначительную часть от аналогичной по воздействию ветровой нагрузки, то заданные нагрузки от навала исследуемых типов судов не могут оказывать какого-либо существенного влияния на деформации и несущую способность существующих конструкций здания морвокзала. Это подтверждается также малой величиной напряжений, вызываемых заданной нагрузкой, по сравнению с предельной (порядка 7 кгс/см<sup>2</sup> по сравнению с порядка 130 кгс/см<sup>2</sup>).

По-видимому, причиной возникновения трещин в элементах конструкции здания морвокзала и др. сооружений следует искать либо в изменении схемы работы каркаса здания, связанном с его реконструкцией, либо с подвижками грунтового основания.

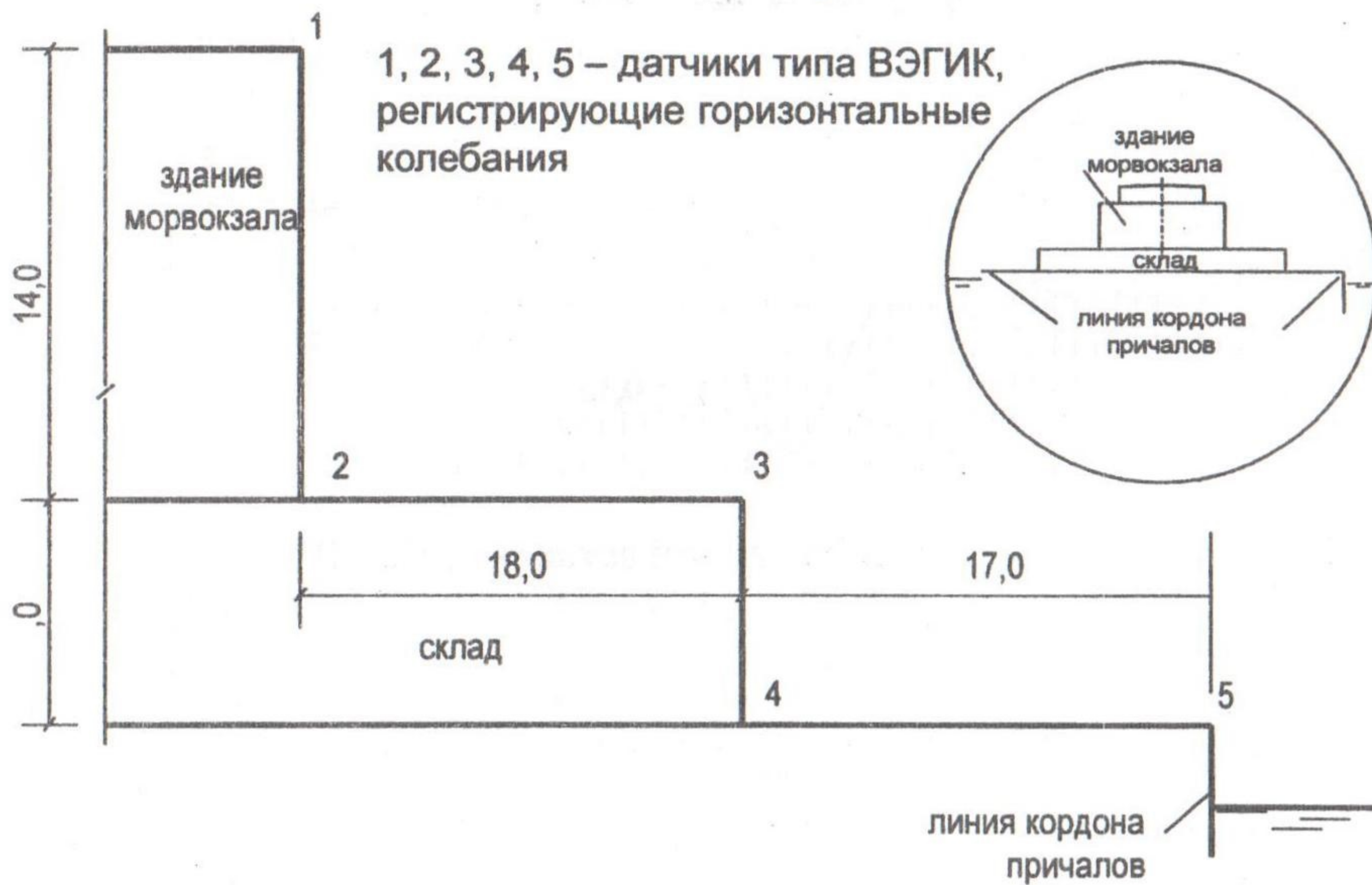
· В качестве первоочередных мероприятий, для максимально полного исключения воздействия швартующихся судов как на причалы, так и на фундаменты здания морвокзала, целесообразно осуществить замену существующих отбойных устройств на более энергоемкие.

· Учитывая общую ситуацию с оползневыми процессами в данном районе города, являющимися, по-видимому, основным потенциальным источником деформаций отдельных элементов здания Одесского морвокзала, а также архитектурное значение пассажирского комплекса целесообразно:

установить геодезическую сеть и провести долговременные циклические инструментальные наблюдения за планово-высотным положением причалов Нового мола и здания морвокзала (с детальным обследованием его несущих и др. конструкций);

на основе полученных фактических данных, в случае необходимости разработать практические мероприятия по устранению дефектов и причины их возникновения.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ "ПРИЧАЛ 15 –  
ЗДАНИЕ МОРВОКЗАЛА".  
СХЕМА I



ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ "ПРИЧАЛ 16 –  
ЗДАНИЕ МОРВОКЗАЛА". СХЕМА II

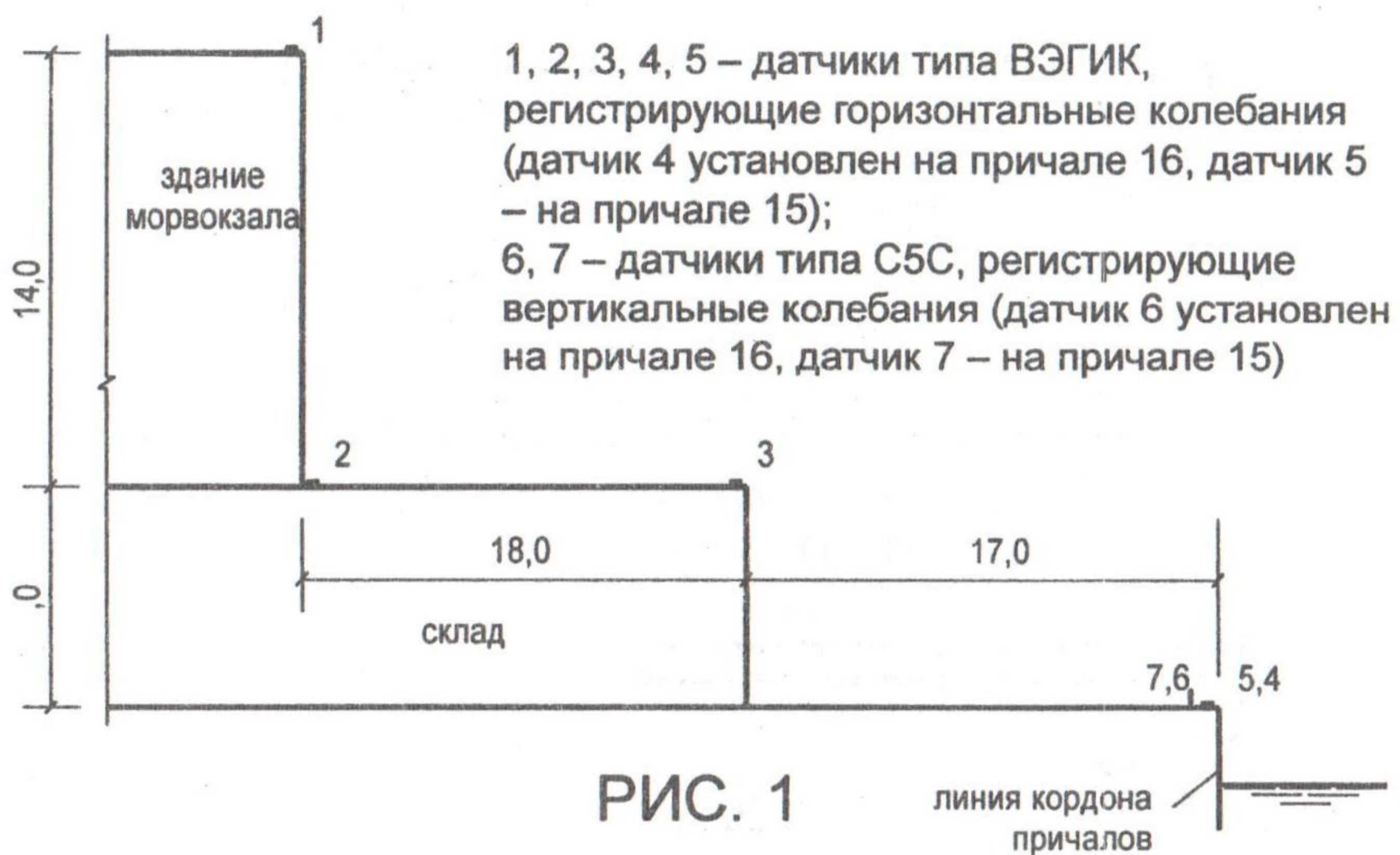
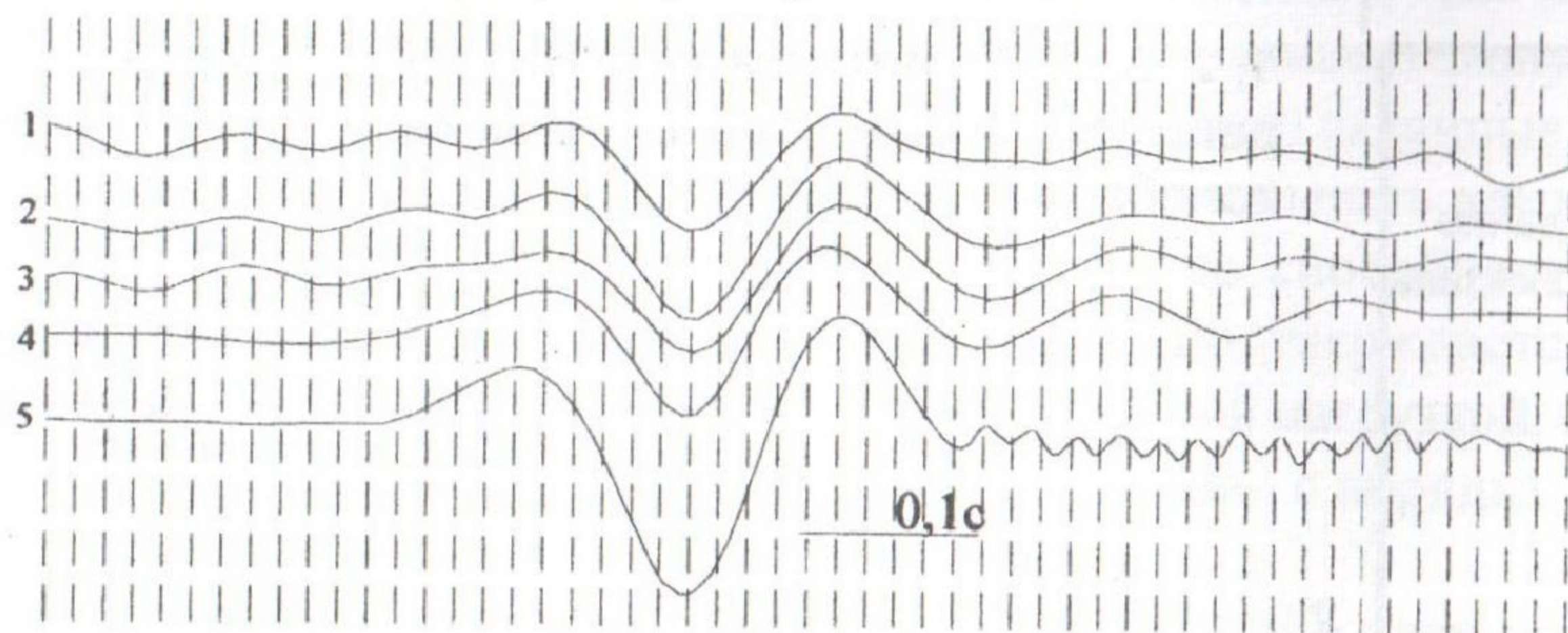


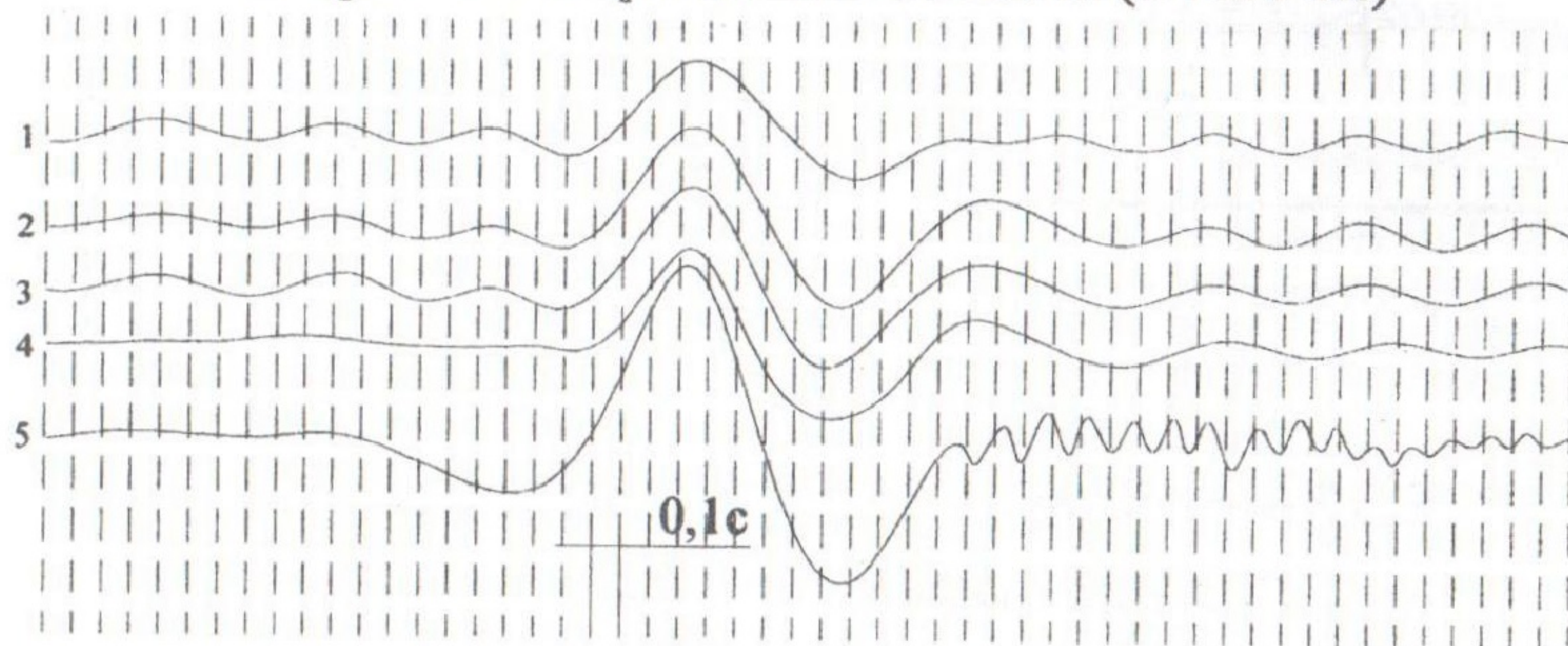
РИС. 1

# ОСЦИЛЛОГРАММЫ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ "причалы 15,16 - здание морвокзала"

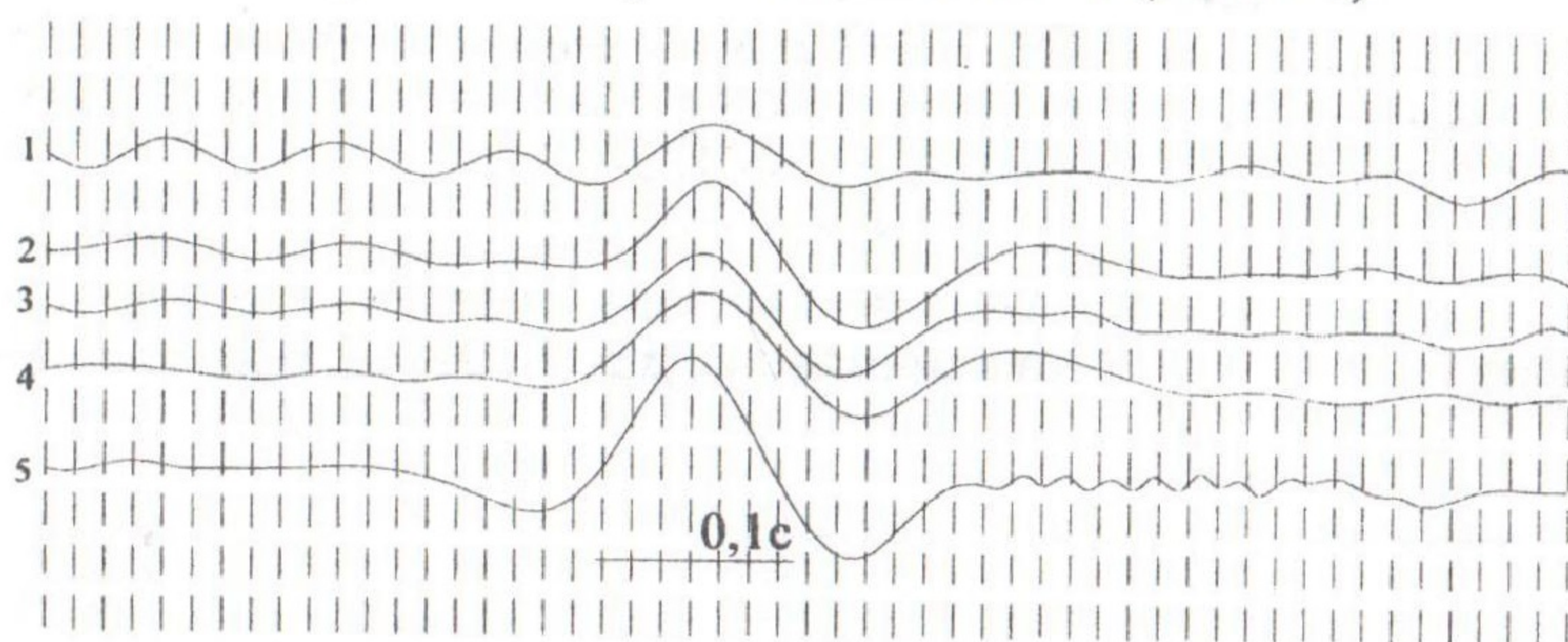
## Удар буксира в районе датчика 5



## Разрыв калиброванной вставки (Ø12А-III)



## Разрыв калиброванной вставки (Ø12А-I)



Датчики 1, 2, 3, 4, 5 регистрируют горизонтальные колебания, перпендикулярные линии кордона причала.  
Увеличение датчиков:  
1 - 600,  
2, 3, 4, 5 - 1500.

РИС. 2



## Литература

1. Пойзнер М.Б., Яковенко В.Г. Авторский надзор за портовыми гидротехническими сооружениями. М.: Транспорт, 1990.
2. Омельченко Ю.М., Дубровский М.П., Пойзнер М.Б. Портовые гидротехнические сооружения, эксплуатируемые в экстремальных условиях. ВНИИО-ЭГ, М., 1991.
3. СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах.
4. Кульмач П.П. Сейсмостойкость портовых гидротехнических сооружений. М., Транспорт, 1970.
5. Клаф Р., Пензен Дж. Динамика сооружений. М., Стройиздат, 1978.