

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПОРТОВОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Воробьев Ю. Л., Михайлов А. А., Пойзнер М. Б., Дубровский М. П.  
(Одесса)

При строительстве морских портовых гидротехнических сооружений зачастую применяются сварные металлические конструкции, обладающие повышенной несущей способностью /1, 2/. В первую очередь это сварные шпунтовые профили и трубы диаметром 1420 мм. Ниже рассмотрены некоторые инженерные задачи, с которыми приходится сталкиваться при производственном освоении этих сложных конструкций.

**СВАРНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТРУБЫ.** При строительстве одного из причалов Одесского порта предполагается использовать сварные трубы диаметром 1420 мм.

Для исследования несущей способности такой трубы на восприятие максимального расчета изгибающего момента 3700 кН·м выполнены статические испытания.

В соответствии с сертификатом, стальная труба диаметром 1420 мм длиной 11360 мм составлена из пяти трехслойных (навитых) секций длиной 1670 мм каждая, а также двух торцевых однослойных секций длиной по 1540 и 1470 мм. Толщина стенки на основном участке трубы – 16,0 мм на концевых участках – 15,7 мм.

Отдельные секции состыкованы с помощью электросварки.

Статические испытания проводились на специально оборудованном силовом стенде.

Испытанию подверглись две стальные трубы диаметром 1420 мм, соединенные между собой стальными обоймами – опорами, в качестве которых использована листовая сталь толщиной 14 мм (рабочее сечение  $40 \text{ см}^2$ ). Расстояние между центрами опор – 10850 мм.

В качестве силового оборудования использовались два гидравлических домкрата грузоподъемностью 100 тс. При испытаниях нагрузка

прикладувалась сосредоточенно, ступенями, по середине пролета (рис. 1а).

Перемещения труб в горизонтальной плоскости замерялись в характерных сечениях – по середине пролета и у опор прогибомерами Максимова, с ценой деления 0,1 мм.

С помощью гидравлических домкратов нагрузка прикладывалась ступенями по 10% от расчетной. При каждой ступени нагрузок по приборам фиксировались перемещения опор, а также перемещение центра труб.

При сосредоточенной нагрузке 1520 кН, приложенной по центру труб, достигнута величина изгибающего момента порядка 4110 кН·м, что превысило расчетный изгибающий момент на 11%. При этом прогибы труб составили 19,6 и 16,2 мм, что на 16-24% выше прогибов стандартных стальных электросварных прямошовных труб.

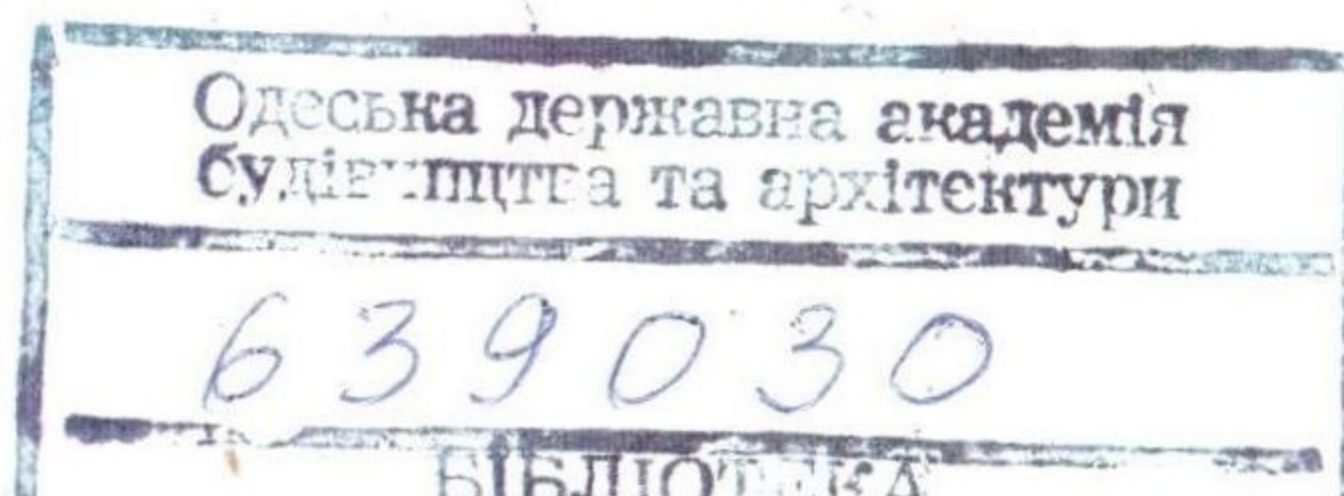
Таким образом, исследуемые стальные трубы диаметром 1420, используемые при строительстве причала в Одесском порту обладают несущей способностью, обеспечивающей восприятие расчетного изгибающего момента 3700 кН·м, при этом материал труб работает в упругой стадии.

Установлена также повышенная деформативность исследуемых труб по сравнению со стандартными электросварными прямошовными трубами (разница до 24%).

**СВАРНОЙ ШПУНТ ЗЕТОВОГО ПРОФИЛЯ (ШЗП).** Как показал опыт освоения ШЗП в портах Одесса и Южный, его погружение в грунты средней плотности выполнялось пакетами, сформированными из двух зетовых профилей /3/.

Образованная таким образом шпунтовая свая является композитной конструкцией, состоящей из отдельных тонкостенных элементов, связанных по длине прерывистыми сварными швами, стыковочными накладками, соединительными пластинами, придающими пакету необходимую жесткость. Оценить теоретически работу такого сложного конструктивного элемента в составе сооружения весьма сложно. Для уточнения принятых в проекте расчетных положений выполнены испытания конструкции пакета на действие эксплуатационных нагрузок.

Основная цель натурных испытаний – экспериментальная проверка несущей способности шпунтовых свай из ШЗП-73 при действии расчетного изгибающего момента и поперечной силы в упругой стадии деформирования применительно к условиям работы пакетов в конструкции одного из причалов п. Одесса. Для получения более достоверных результатов испытывались несколько свай серийного производст-



ва. Испытания выполняли по схеме статически определимой балки на двух опорах. Общий вид экспериментальной площадки показан на рис. 16.

Для сокращения сроков выполнения экспериментальных работ разработана методика, предусматривающая одновременное испытание двух шпунтовых свай. Таким образом, время испытаний удалось сократить примерно вдвое за счет сокращения общего времени стабилизации деформации свай.

В качестве опор для испытания шпунтовых свай служили бетонные блоки размерами  $2,0 \times 1,4 \times 1,4$  м с размещенными на них опорными частями в виде подвижного и неподвижного стальных катков диаметром 120 мм.

Расчетные нагрузки создавались с помощью бетонных огрузочных массивов размером  $1 \times 1 \times 1$  м, располагаемых по длине испытываемых пакетов.

Для передачи нагрузок от бетонных массивов на испытываемые элементы использовались деревянные шпалы, которые одновременно создавали первую ступень загрузки, обеспечивали более равномерное распределение нагрузок на сваи и большую безопасность выполнения экспериментальных работ. Ширина свай значительно уже ширины огрузочного массива, поэтому при испытании каждой сваи в отдельности возникает опасность опрокидывания массивов. В предложенной схеме этот недостаток полностью устранен – благодаря использованию шпал обеспечивалась устойчивость всей системы.

Длина опытных свай составляла 27 м, высота профиля 73 см, расчетный изгибающий момент 2200 кН·м, расчетная поперечная сила 435 кН. Марка стали ВСтЗсп, расчетное сопротивление по пределу текучести  $\sigma_y = 220$  МПа, коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1,0$ . Контролируемые в процессе испытаний параметры – нагрузка на сваю и прогибы в характерных по ее длине сечениях.

Значения нагрузок на сваи (кН/м) составляли: от собственного веса порядка 3,45, от шпал 0,619, от массивов первого курса 20,125-20,91, от массивов второго курса 20,58-20,75.

Нагрузки прилагались по нескольким схемам, позволяющим создать максимальные значения: изгибающего момента в сплошном сечении свай, изгибающего момента в сечении со сварной стыковочной накладкой, поперечной силы в опорном сечении.

Испытания проводились с соблюдением необходимых циклов нагрузки и разгрузки (всего 30 ступеней). Деформации свай измерялись

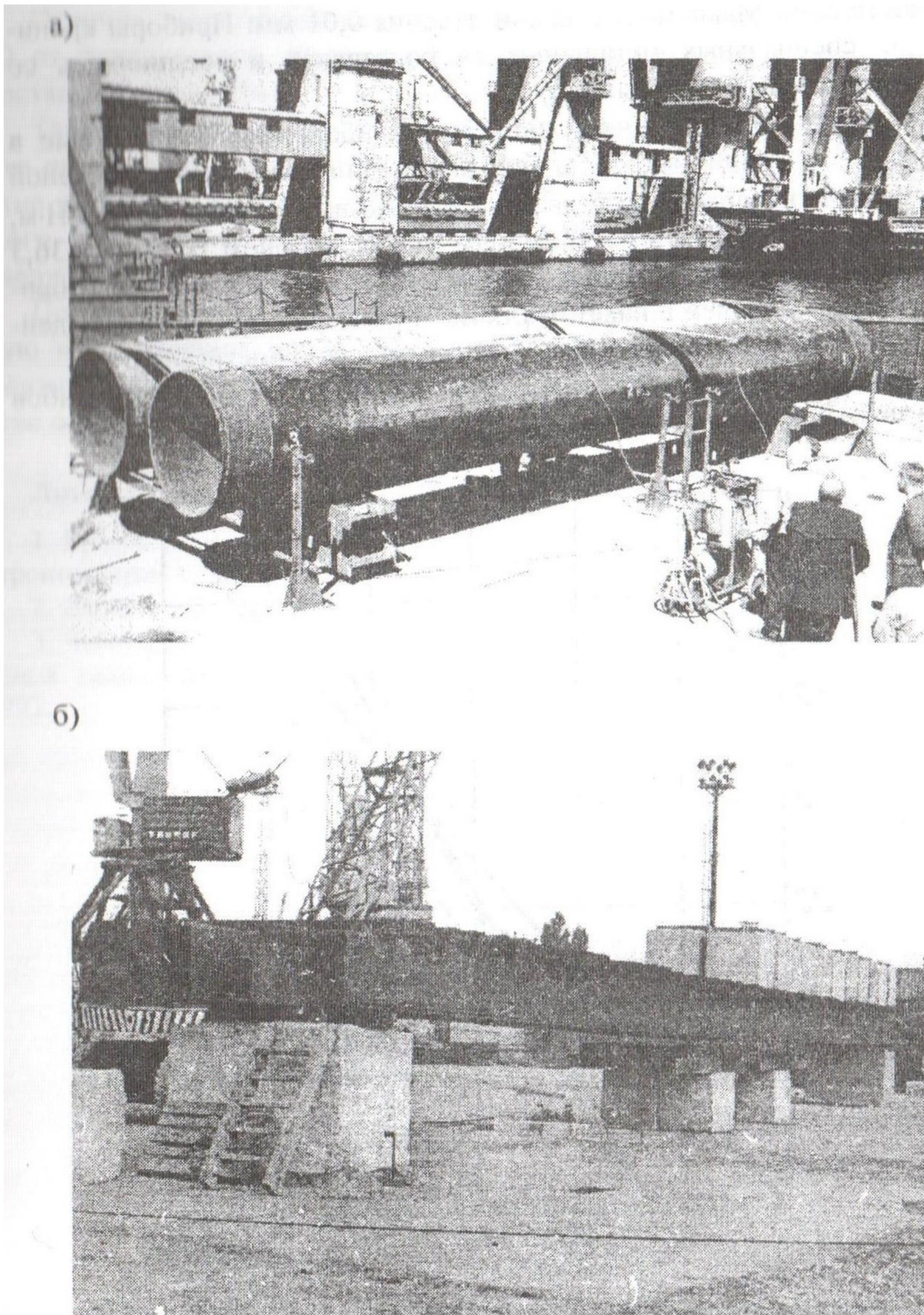


Рис. 1. Порт Одесса. Натурные испытания несущей способности металлических конструкций: а) сварные трубы  $\varnothing 1420$  мм. б) сварной шпунт зетового профиля

прогибомерами Максимова с ценой деления 0,01 мм. Приборы крепились на специальных металлических подставках и соединялись со сваями с помощью стальных струн.

Максимальные значения усилий и прогибов, зафиксированные в процессе испытаний свай в сплошном сечении и сечении со сварной стыковочной накладкой, составили: изгибающий момент 2256 кН·м, прогибы 0,1841-0,1932 м, поперечная сила в опорном сечении 436,3 кН. Прогибомеры фиксировали деформации каждой шпунтины зетового профиля, входящей в пакет. Отличие в размерах прогибов при действии расчетных нагрузок на сваю незначительно и достигало 5%.

Как видно, расхождения не превышали 10%. Зависимость прогибов от расчетной нагрузки показана на рис 2.

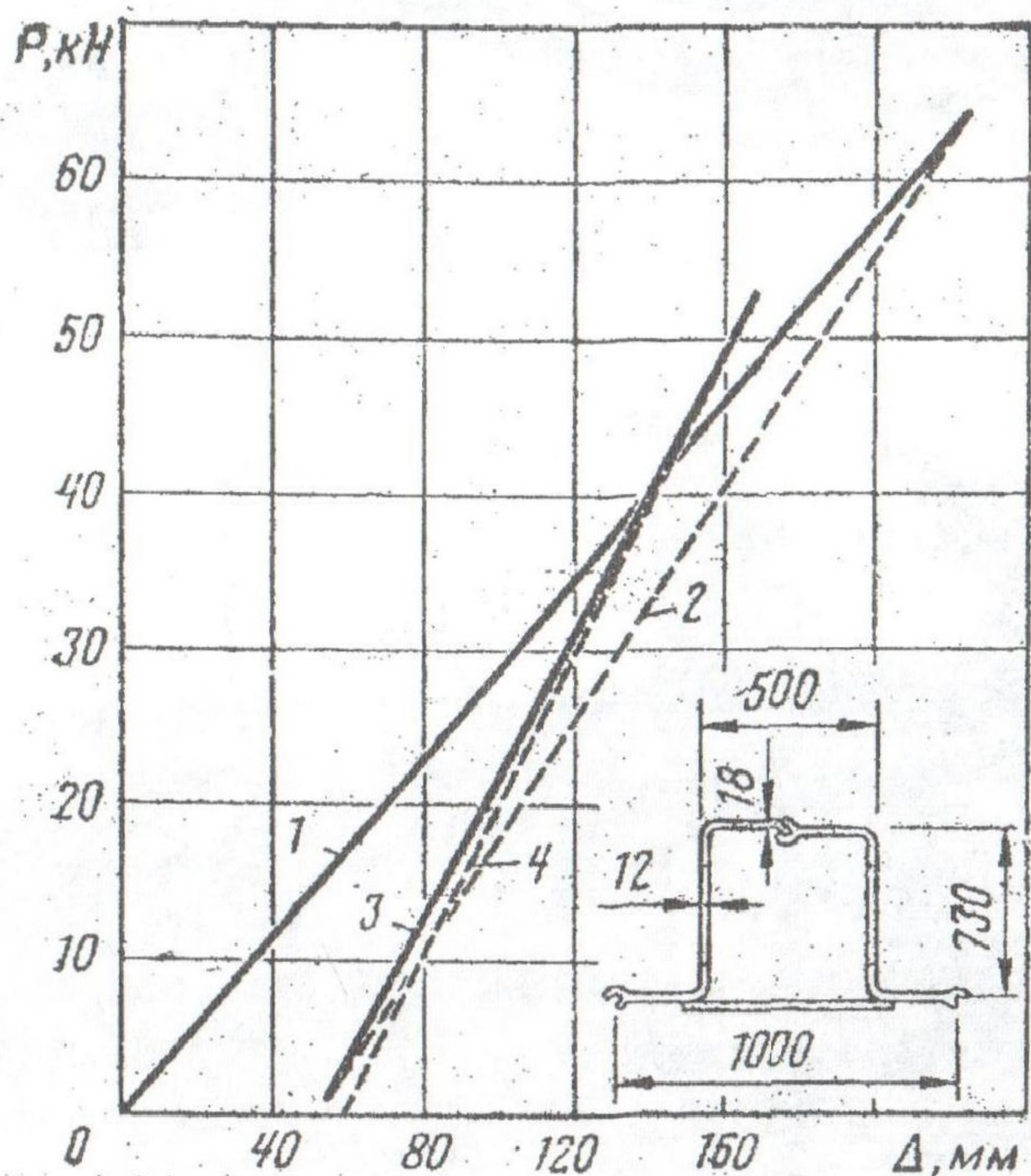


Рис. 2. Зависимости прогиба  $\Delta$  от расчетной нагрузки  $P$ : 1 – при определении максимального изгибающего момента; 2 – то же, разгрузка; 3 – при определении максимальной поперечной силы; 4 – то же, разгрузка.

Отличие теоретического значения момента инерции сваи из ШЗП-73 от фактического, полученного пересчетом по данным испытания, составляет около 2%.

Таким образом, натурные испытания пакета из ШЗП-73 показали, что шпунт обладает несущей способностью, обеспечивающей восприятие расчетных нагрузок применительно к условиям работы исследуемого причального сооружения, а, следовательно, испытаниями подтверждена надежность принятого проектного решения /3/.

Приведенные выше результаты исследований подтверждают высокую эффективность использования статических испытаний при оценке фактической несущей способности конструкций, используемых в качестве оснований портовых гидротехнических сооружений.

### Литература

1. Красов Н. В. Стальные шпунтовые сваи в портовом гидротехническом строительстве. М.: Транспорт, 1982.
2. Яковенко В. Г. Строительство причалов. М.: Транспорт, 1981.
3. Чеботарев О. Н., Пойзнер М. Б., Дубровский М. П. Строительство портовых гидротехнических сооружений из сварного шпунта. М.: Транспорт, 1993.