

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ СИСТЕМЫ «ОГРАДИТЕЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ - ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ» С УЧЁТОМ ЦИКЛИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ВОЛНОВОЙ НАГРУЗКИ

Посуховский А.К., Мосичева И.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**Виконано експериментальне обґрунтування необхідності урахування дійсного динамічного характеру хвильового навантаження при розрахунку осідання захисних споруд вертикального профілю. Приведена методика визначення додаткового осідання черепашкових пісків при циклічному вантаженні, що імітує хвильове навантаження.**

Отличительной особенностью оградительных сооружений вертикального профиля является передача ими на грунтовое основание кроме нагрузок от собственного веса и веса постели дополнительной нагрузки от волнового воздействия.

Существующие методы определения осадок указанных сооружений основаны на принятии этой нагрузки как неизменной во времени, и приложенной к грунтовому основанию квазистатически [1].

Указанным методам расчёта осадок соответствуют значения характеристик сжимаемости грунтов основания, определяемые по результатам стандартных компрессионных испытаний [2].

Вместе с тем, как следует из [3], «нормативные значения характеристик грунтов должны устанавливаться на основе результатов полевых и лабораторных исследований, проводимых в условиях, максимально приближенных к условиям работы грунта в рассматриваемой системе «сооружение – основание» как в строительный, так и в эксплуатационный периоды».

Выполнение данного требования применительно к системе «оградительное сооружение – грунтовое основание» приводит к необходимости учёта действительного характера приложения волновой нагрузки, которая, как и всякая динамическая нагрузка, вызывает дополнительную осадку [4].

О необходимости такого подхода к вопросу определения осадок рассматриваемых систем свидетельствуют многочисленные факты [5-7] о значительном превышении наблюдаемых осадок над прогнозируемыми, определяемыми по существующим методам.

Особое значение учёт динамического характера приложения волновой нагрузки приобретает для сильносжимаемых грунтов, которыми являются, например, ракушечные пески.

С целью экспериментальной оценки влияния указанного фактора на величину осадки системы «оградительное сооружение – основание из ракушечного песка» в лаборатории исследования оснований института ЧерноморНИИпроект были выполнены модельные компрессионные испытания водонасыщенных искусственно приготовленных образцов ракушечного гравелистого песка различной начальной относительной плотности  $D_r$  на крупномасштабной компрессионной установке, позволяющей создавать на образцы грунта площадью  $500 \text{ см}^2$ , как отдельно, так и совместно, статические и циклические нагрузки до 0,4 МПа и 0,2 МПа, соответственно.

При проведении указанных испытаний моделировались условия, соответствующие строительному и эксплуатационному периодам, имеющим место в реальности для проектируемого оградительного мола полного вертикального профиля на входе в бухту Стрелецкая (п. Севастополь).

По результатам выполненного в соответствии с [1] статического расчёта данного иола при расчётных параметрах волнения в заданном районе  $\bar{\lambda} = 96,0$  м;  $h_{\text{чк}} = 7,2$  м и  $\bar{T} = 5$  с, среднее давление на грунт основания от веса сооружения и каменной постели составляло  $\bar{P}_{\text{ст}} = 0,20$  МПа, а с учётом взвешивающего волнового давления при подходе гребня стоячей волны к лицевой грани и ложбины дифрагированной волны к тыловой грани сооружения –  $P_{\text{max}} = 0,33$  МПа;  $P_{\text{min}} = 0,06$  МПа.

Т.о., волновое воздействие на грунт основания выражается в дополнительной (к статической) динамической нагрузке  $P_{\text{д}}$ , равной  $(P_{\text{max}} - \bar{P}_{\text{ст}}) = 0,13$  МПа, имеющей циклический характер приложения.

С учётом изложенного компрессионные испытания проводились в два этапа, на первом из которых к образцам испытываемого грунта прикладывалась статическая нагрузка  $\bar{P}_{\text{ст}}$ , создаваемая тремя ступенями, равными 0,05; 0,10 и 0,20 МПа, а на втором этапе – нагрузка  $P_{\text{д}}$ , создаваемая путём поднятия и опускания постоянного груза с помощью кривошипно-шатунного механизма и электродвигателя, прикладываемая циклически с периодом  $\tau = 5$  с.

Компрессионные испытания на первом этапе проводились в стандартном режиме [2], а на втором – по специальной методике, при которой с целью учёта природного (бытового) давления грунта  $P_{\text{нр}}$  основания на его сжимаемость от действия давления,  $P_{\text{д}}$  испытываемые образцы пригружались статической нагрузкой разной интенсивности, имитирующей величину  $P_{\text{нр}}$  на глубинах  $h = 0; 5,0; 10,0$  и  $20,0$  м ни же подошвы каменной постели. При этом оценка влияния природного давления на величину дополнительной деформации сжатия образцов от действия нагрузки  $P_{\text{д}}$  производилась с помощью коэффициента изменчивости нагрузки

$$\eta = P_{\text{д}} / (\bar{P}_{\text{ст}} + P_{\text{д}}) \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что величина коэффициента  $\eta$  может изменяться от 1,0 (при  $\bar{P}_{\text{ст}} = 0$ ) до 0 (при  $\bar{P}_{\text{ст}} \rightarrow \infty$ ), что соответствует напряжённому состоянию в точках массива грунта основания, расположенных непосредственно под подошвой каменной постели и на бесконечно большом удалении от неё.

При проведении опытов на втором этапе деформации сжатия образцов фиксировались в момент выхода на заданную динамическую нагрузку  $P_{\text{д}}$  (т.е. через 5 с), а затем через 0,25; 0,50; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 60,0 мин и далее через 1 час в течение 7 часов. Т.о., за один восьмичасовой рабочий день при принятом периоде циклического нагружения  $\tau = 5$  с производилось 5760 циклов нагружения испытываемых образцов грунта природной заданной плотности  $D_{\text{в}}$  и одном значении коэффициента  $\eta$ . При предусмотренных программой исследований пяти значениях относительной плотности песка  $D_{\text{в}} = 0; 0,25; 0,5; 0,75$  и  $1,0$ ; четырёх величинах коэффициента  $\eta = 1,00; 0,75; 0,50; 0,25$  и двукратной повторности всего было выполнено 40 опытов, что потребовало 10 месяцев для их проведения. Результаты проведенных опытов приведены ниже в таблице и на рисунке в виде графика зависимости среднего модуля осадки образцов при приложении динамической нагрузки  $\bar{P}_{\text{д}} = 0,13$  МПа от относительной плотности  $D_{\text{в}}$  и коэффициента изменчивости нагрузок  $\eta$ .

Из приведенной таблицы следует, что учёт действительного характера приложения к образцам ракушечного песка волновой нагрузки  $P_{\text{д}} = 0,13$  МПа выражается в дополнительной сжатии их, величина которого, например при коэффициенте  $\eta = 1,00$

составляет от 21 % (при  $D_0 = 1,0$ ) до 27 % ( $D_0 = 0$ ) от величины деформации сжатия этих образцов при приложении статической нагрузки  $\bar{P}_z = 0,20$  МПа от веса сооружения и каменной постели.

Таблица 1

$D_0$	Средние значения модулей осадки $\bar{i}_{P_z}$ и $\bar{i}_{P_0}$ в мм/м				
	При статическом нагружении нагрузкой $\bar{P}_z = 0,20$ МПа	При циклическом нагружении нагрузкой $P_z = 0,13$ МПа и коэффициенте $\eta$ , равном			
		1,00	0,75	0,50	0,25
0	86,5	23,0	16,0	13,5	11,5
0,25	73,0	18,0	13,0	11,5	9,0
0,50	58,0	14,0	10,0	7,5	7,0
0,75	44,0	10,0	7,0	5,5	5,0
1,00	29,0	6,0	4,0	3,5	3,0

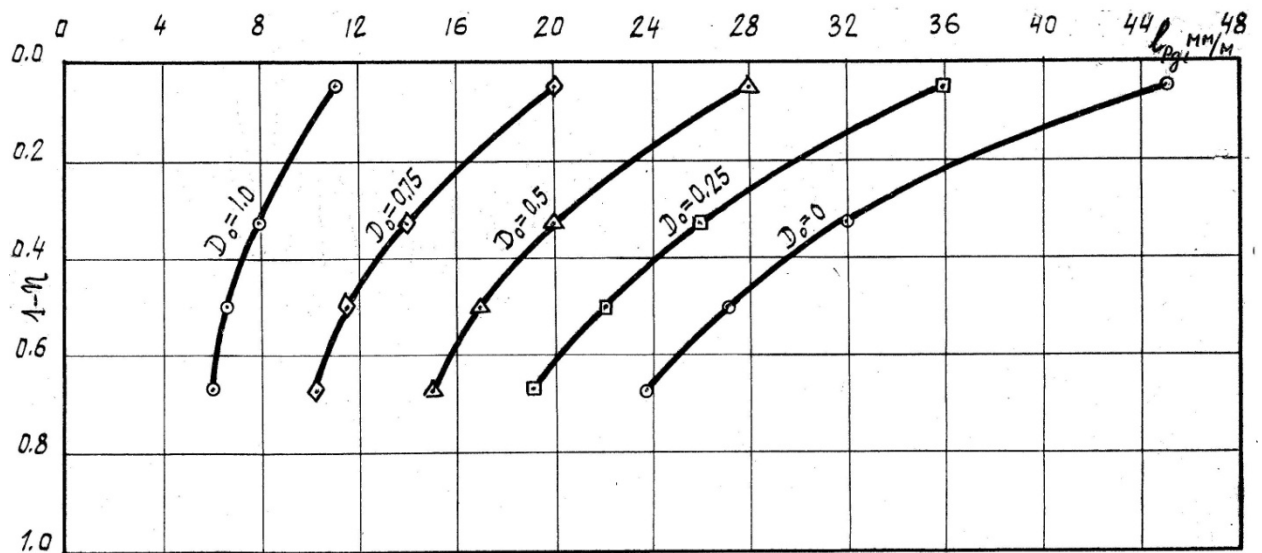


Рис. 1.

В общем случае, очевидно, величина дополнительного сжатия образцов будет зависеть также и от величины самой нагрузки  $P_z$ , что потребует проведения дополнительных серий соответствующих испытаний.

С использованием результатов выполненных экспериментальных исследований величина дополнительной осадки рассматриваемого оградительного мола может быть определена по следующей зависимости

$$S_{P_z} = \beta \sum_{i=1}^n i_{\sigma_{z_i}} \cdot h_i, \text{ мм} \quad (2)$$

где  $\beta = 0,8$ ;

$i_{\sigma_{z_i}}$ , мм/м – модуль осадки  $i$ -го слоя грунта, определяемый по приведенному выше графику при соответствующих значениях  $D_0$  и  $\eta_i$ :

$$\eta_i = \bar{\sigma}_{z_i} / (\bar{\sigma}_{z_i} + \bar{P}_{z_{max}}), \quad (3)$$

где  $\bar{\sigma}_{z,i}$  и  $\bar{P}_{n,i}$  – соответственно, средние значения дополнительного вертикального напряжения и природного давления в пределах  $i$ -го слоя грунта основания, определяемые по соответствующим графикам, построенным по указаниям [8] при  $P_z = 0,13 = 0,13$  МПа и  $\gamma = 10,0$  кН/м<sup>3</sup>;  $n$  – число элементарных слоёв грунта, на которые разбита сжимаемая толща основания  $H_z$ , определённая по указаниям [8] при нагрузке  $P_z = 0,13$  МПа;  $h_i$ , м – толщина  $i$ -го слоя грунта.

Вычисленная по формуле (2) величина дополнительной осадки оградительного мола от действия волновой нагрузки  $P_z = 0,13$  МПа получилась равной 37,0 см, а величина основной осадки мола от действия статической нагрузки от собственного веса и веса каменной постели  $P_z = 0,20$  МПа, определённая по указаниям [8], составила 58,0 см.

Т.о., суммарная осадка мола, равная 95,0 см, оказалась на 39% больше её значения, определённого по существующей [1] методике, что свидетельствует о необходимости учёта действительного циклического характера приложения нагрузки от волнового воздействия на оградительные сооружения вертикального профиля.

### **Выводы**

1. Для оценки деформативных свойств грунтов, залегающих в основании оградительных сооружений, не может быть использована методика стандартных компрессионных испытаний, т.к. следствием применения ее является, как правило, существенное превышение натуральных осадок над расчетными.

2. Оценка сжимаемости грунтов как оснований оградительных сооружений должна производиться в результате моделирования в лабораторных условиях двух этапов, имеющих место в натуре: строительного и эксплуатационного периода при соответствующих величинах и характере действия уплотняющих нагрузок.

3. Воздействие переменных нагрузок на грунты как основания оградительных сооружений приводят к длительным во времени дополнительным деформациям, абсолютные значения которых зависят от величины и времени действия волновых нагрузок и вполне сопоставимы с величинами конечных осадок, вызванных действием статических нагрузок.

4. На основании проведенных исследований разработана методика определения конечной осадки оградительных сооружений, которая полнее отражает характер взаимодействия оградительного сооружения с грунтовым основанием, чем существующий метод расчета осадок, позволяя при этом более достоверно их прогнозировать.

### **Summary**

**The experimental substantiation of necessity of the account of the valid dynamic character of wave loading is executed at calculation deposits of protective constructions of a vertical profile. The technique of definition additional deposits of shelly sand is resulted at cyclic loading, simulating wave loading.**

### **Литература**

1. ВСН 3 – 80. Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям. М., Стройиздат, 1982, – 131 с.
2. ГОСТ 12248 – 96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
3. СНиП 2.02.02 – 85. Основания гидротехнических сооружений.

4. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швеца, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др.; под ред. В.Б. Швеца. – К.: Будівельник, 1987, – 232 с.
5. Шариф И.Н. Причины повреждений портовых оградительных сооружений. М. – Л., Морской транспорт, 1950, – 360 с.
6. Стецюк В.А. Наблюдения за деформацией сооружений из массивов на сжимаемом основании. М., Транспорт, 1967, – С. 107-112.
7. Яковенко В.Г., Шихиев Ф.М., Стецюк В.А. Расчёт деформаций оснований гравитационных сооружений, возводимых на рыхлых песчаных грунтах. М., Транспорт / Труды СоюзморНИИпроекта. Вып. 22. 1969, – С. 63-70.
8. СНиП 2.02.01 – 83. Основания зданий и сооружений.