Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1986, т. 109

УДК 624.131.526

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СЖИМАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ОСНОВАНИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА ИХ ОСАДКОЙ

Г.В.ШТОКАЛЕНКО

Оценка относительной сжимаемости горных пород имеет важное значение для выяснения условий работы основания и фундамента. Требования к инженерно-геологическим исходным данным повышаются с ростом этажности зданий, увеличением их протяженности и усложнением конфигурации.

Начиная с 40-х гг., в Ленинграде ведутся наблюдения за осадкой зданий, построенных в различных геологических условиях. Чтобы использовать результаты этих наблюдений для оценки относительной сжимаемости многослойной толщи, необходимо знать конечную осадку нескольких зданий, возведенных на естественном основании единого типа.

Массовые многолетние наблюдения, позволяющие решить указанную задачу, выполнены А.Т.Иовчуком [I] и С.Н.Сотниковым в пределах планировочных районов Малая и Большая Охта и Автово. Объектами наблюдений послужили 25 пятиэтажных жилых зданий на ленточных фундаментах. Двадцать зданий построены в районе Малой и Большой Охты на послеледниковых литориновых отложениях (рис.I). Относительная сжимаемость горных пород каждого слоя определена

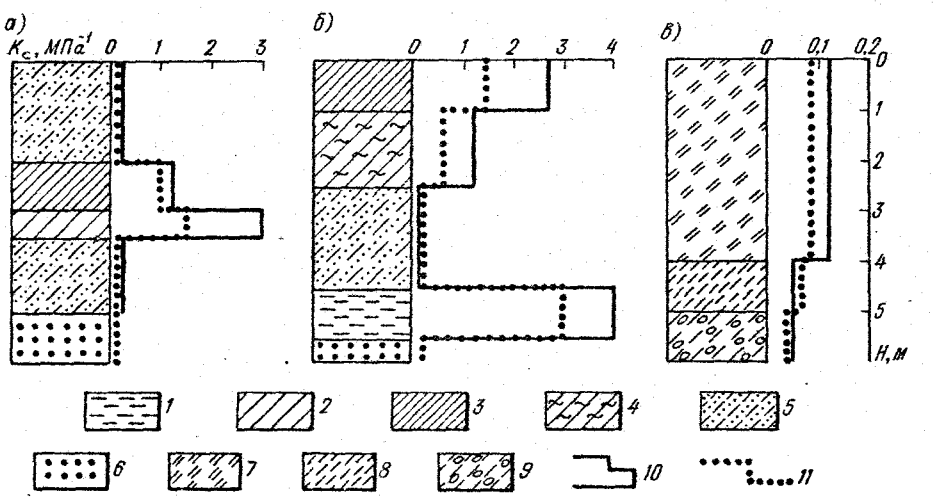


Рис.1. Распределения значений коэффициента относительной сжимаемости по слоям основания для трех планировочных районов Ленинграда: а – Малая Охта; б – Большая Охта; в – Автово

1 – торф; 2 – супеси пылеватые заторфованные; 3 – супеси слабо заторфованные; 4 – супеси пылеватые с растительными остатками; 5 – супеси пылеватые; 6 – пески мелкие; 7, 8 и 9 – суглинки соответственно ленточные, слоистые и моренные; 10 и 11 – расчетные и экспериментальные данные

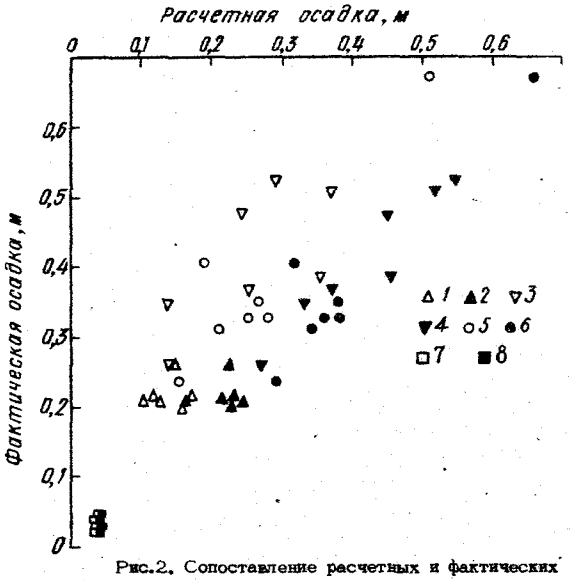


Рис.2. Сопоставление расчетных и фактических осадок зданий
1–4 – Малая Охта; 5,6 – Большая Охта; 7,8 – Автово; 1,3,5,7 – экспериментальные данные; 2, 4,6,8 – расчетные

по результатам лабораторных испытаний образцов пород. Сопоставление расчетных осадок зданий с фактическими (рис.2) обнаружило низкую точность прогнозов (см. таблицу), что было истолковано как следствие невысокого качества исходных данных о механических свойствах пород. Наибольшее несоответствие получено для здания, построенного в районе распространения литориновых отложений: результаты расчетов занижены на 62 % по сравнению с данными измерений осадки.

Чтобы выявить причины значительных расхождений расчетных и фактических осадок, исследовалась зависимость расчетной осадки пятиэтажного жилого дома от величины модуля общей деформации наиболее слабого слоя – литориновых заторфованных супесей (рис.3). Здание возведено в районе Большой Охты на ленточном фундаменте шириной 2,2 м. Давление на основание 0,125 МПа. Расчетная осадка здания 0,29 м, максимальная фактическая осадка 0,67 м. Заторфованные супеси залегают на глубине 1,6 м от отметки подошвы фундамента, мощность их 1,7 м, модуль общей деформации (E) по данным лабораторных определений 0,4 МПа, тангенс угла внутреннего трения 0,29. Коэффициент бокового давления вычислен по формуле $\xi = tg^2(\pi/2 - \varphi/2)$, где φ – угол внутреннего трения [2].

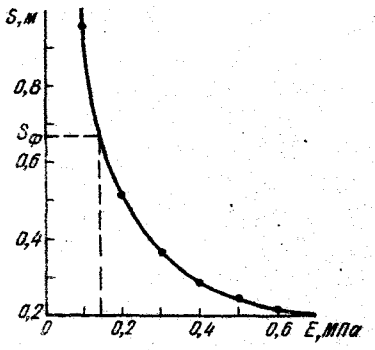


Рис.3. Зависимость расчетной осадки S пятиэтажного жилого здания на ленточном фундаменте от модуля общей деформации слоя послеледниковых литориновых заторфованных супесей E

S_ϕ – фактическая осадка здания

Зависимость расчетной осадки зданий от модуля общей деформации наиболее слабого слоя основания и знание фактической осадки, веса и размеров здания, проектируемого в аналогичных геологических условиях, позволяет откорректировать значение модуля общей деформации и показать, что увеличение или занижение E для заторфованных супесей на 0,1 МПа приводит к ошибкам прогноза осадки на 30 %.

Послеледниковые литориновые отложения, подстилаемые позднеледниковыми образованиями балтийского ледникового озера, широ-

Ошибки расчета осадки зданий

Район	Количество зданий	Количество слоев в основании	Ошибка расчета осадки	
			абсолютная, м	относительная, %
Малая Охта	7	6	0,17/0,03	38/5
	6	3	0,08/0,03	35/13
Большая Охта	7	4	0,12/0,04	29/10
Автово	5	3	0,008/0,004	17/8

Примечание. В числителе - по экспериментальным данным, в знаменателе - расчет.

ко развиты преимущественно на северо-западе и северо-востоке Ленинграда. Наличие в разрезе литориновых отложений линз и прослоев слабых заторфованных или с примесью растительных остатков супесей в районах застройки требует уточнения или корректировки характеристик их сжимаемости по данным наблюдений за осадками жилых зданий, т.е. по результатам решения обратной задачи.

Для постановки и решения обратной задачи расчета осадки зданий необходимо выделить n элементарных слоев с заданным ограничением на коэффициент вариации физико-механических свойств, знать выдержанность слоев по простиранию, а также значения фактических максимальных осадок для m зданий, возведенных на естественном основании. Используя для расчета осадки метод послойного суммирования по схеме линейно-деформируемого полупространства, можно составить систему из m линейных алгебраических уравнений, в которых неизвестными будут коэффициенты относительной сжимаемости слоев a_0, свободными членами - значения фактических осадок S_i и коэффициентами - площади ω_{ij} участков эпюры дополнительных вертикальных сжимающих напряжений от i-го здания σ_i:

$$\sum_{j=1}^{n} \omega_{ij} a_0 = S_i \quad (i=1,\ldots,m), \tag{I}$$

где $\omega_{ij} = \int_{z_{ij}}^{z_{ij+1}} \sigma_i(z)dz$ $(i=1,\ldots,m;\ j=1,\ldots,n)$; z - глубина от отметки подошвы фундамента; z_{ij} - глубина кровли j-го слоя под i-м зданием.

Линейная независимость уравнений системы (I) обеспечивается изменениями мощности и глубины залегания слоев от здания к зданию, а также зависимостью σ_i от размеров фундамента, что позволяет нам при $m > n$ искать решение $(a_1, \ldots, a_n)$, соответствующее минимуму средней квадратической ошибки прогноза осадки

$$\Delta S = \left[\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(S_i - \sum_{j=1}^{n}\omega_{ij}a_0\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}. \tag{2}$$

Для обратной задачи (I) не выполняется условие единственности, т.е. из равенства осадок одинаковых зданий не следует равенства распределений значений коэффициента относительной сжимаемости по слоям основания. За-

дача, решение которой не определено однозначно, называется некорректно поставленной. Возможность построения устойчивых решений для таких задач основана на использовании дополнительной информации об искомом решении [3]. В нашем случае в качестве дополнительных сведений можно использовать результаты лабораторных определений сжимаемости горных пород.

Пронумеруем слои основания в порядке убывания расчетной деформации так, чтобы

$$\sum_{i=1}^{m} S_{i1} > \sum_{i=1}^{m} S_{i2} > \ldots > \sum_{i=1}^{m} S_{in},$$

где $S_{ij} = \omega_{ij} a_0$ – расчетная деформация j-го слоя основания i-го здания.

Ограничим количество неизвестных числом $l < n$. Система уравнений (I) примет вид

$$\sum_{j=1}^{l} \omega_{ij} a_0 = S_i - \sum_{j=l+1}^{n} S_{ij}. \qquad (3)$$

Значение l подбирается эмпирически из условия соответствия ожидаемых и полученных результатов. Для рассмотренных ниже примеров $l = 2$. Вопрос о критерии выбора l нуждается в специальном исследовании.

Для определения коэффициента относительной сжимаемости последующих слоев предлагается следующий эвристический прием: значение a_1, полученное в результате решения переопределенной системы (3) для первого слоя, фиксируется. Вычисления повторяются для слоев с индексами 2, ..., l + I. Затем фиксируются значения a_1 и a_2, окно решения сдвигается ещ на шаг и т.д. вплоть до получения одного из эквивалентных решений, противоречащих имеющимся сведениям о свойствах горных пород (см. рис.I). При этом средняя квадратическая ошибка ΔS последовательно снижается.

Системы уравнений типа (3) удалось составить и решить для четырех групп зданий. Главным показателем качества решения служила величина ΔS. Для решения системы (3) использован метод вращений.

Известные решения обратной задачи расчета осадки многослойного основания базируются на использовании фактических данных о распределении напряжений и деформаций в сжимаемой толще [4]. Предложенный метод уточнения коэффициента сжимаемости горных пород не требует заложения глубинных марок и мессдоз.

Автор благодарит кандидата технических наук С.Н.Сотникова и старшего инженера Т.М.Зверевич за предоставленную возможность ознакомиться с результатами наблюдений за осадками жилых зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иовчук А.Т. Осадка и деформация зданий в условиях слабых грунтов. – В кн.: Вопросы инженерной геологии Ленинградского экономического района. Л., изд. ЦБТИ, 1960.

2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., Недра, 1984.

3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М., Наука, 1974.

4. A r a y K., O h t a H., Y a s u i T. – Soils and Foundation. 1983, vol.23, N 1.