

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ РАВНОМЕРНОМ СЖАТИИ

Матус Ю.В.

Одесская академия строительства и архитектуры
г. Одесса, Украина

АНОТАЦІЯ: При розрахунку внутрішніх зусиль в конструкціях на пружній ґрунтовій основі, з метою максимального зближення значення розрахункових і фактичних зусиль, доцільно використовувати коефіцієнт жорсткості винклеровської основи, визначуваний як частку від ділення середнього тиску на пружну частину середнього осідання.

АННОТАЦИЯ: При расчете внутренних усилий в конструкциях на упругом грунтовом основании, с целью максимального сближения значения расчетных и фактических усилий, целесообразно использовать коэффициент жесткости винклеровского основания, определяемый как частное от деления среднего давления на упругую часть средней осадки.

ABSTRACT: The results of experiments with beams on coercible foundation testify that the calculation values of bendings and flexion moments in them have good convergence with experimental values at acceptance of coefficient of inflexibility of foundation of Vinklera, found as private from the division of middle pressure under a sole on resilient part of the middle sinking.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициент жесткости, грунтовое основание, внутренние усилия.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование теории расчета конструкций на сжимаемом основании связано с созданием и использованием в расчетах новых, часто искусственных, моделей сжимаемого основания, базирующихся на тех или иных показателях деформации грунта, и, в основном, на преодолении ма-

тематических трудностей производства самих расчетов. Физической достоверности показателей деформируемого грунтового основания не уделяли должного внимания.

Физически достоверные значения показателей деформируемого основания, основанные на учете реального процесса его деформирования, имеют решающее значение при определении общего характера зависимости реакции основания от величины приложенной нагрузки к фундаментной конструкции, а, следовательно, и на величину действующих в ней внутренних усилий.

Существенное распространение конструкций на сжимаемом грунтовом основании, практическое значение проблемы оптимального проектирования этих конструкций делает актуальной задачу не только совершенствование их методов расчета, но и обеспечение физической достоверности, входящих в них показателей грунтового основания.

Деформируясь под нагрузкой, основание оказывает некоторое сопротивление прогибу фундаментной конструкции, так называемый отпор.

Известно [1], что метод местных упругих деформаций, предложенный Винклером-Фуссом, исходит из положения, что реакция основания (отпор) p , принимаемая равным среднему фактическому давлению на грунт под подошвой фундамента, пропорциональна средней же осадке s основания, т.е.

$$p = K s, \quad (1)$$

где принимается K – коэффициент жесткости грунтового основания при равномерном сжатии (параметр модели Винклера). Грунтовое основание рассматривается как линейно деформируемое.

В тоже время, результаты обработки данных опытов [2, 3], проведенных с балками на сжимаемом основании, свидетельствуют о том, что расчетные значения упругих прогибов и изгибающих моментов имеют хорошую сходимость с опытными значениями при принятии коэффициентов жесткости винклеровского основания, найденных по результатам испытаний грунтов жесткими штампами при осадках последних, равных 0,31 мм [2] и 1,1 мм [3]. В работе [4] на основании большого количества испытания грунтов штампами рекомендовано проводить определение коэффициента жесткости при осадках штампа, равных ожидаемому прогибу фундаментной конструкции (0,25...3,0 мм). При указанных значениях осадок и прогибов грунтовое основание практически представляет собой идеально упругое основание.

Решение о замене зависимости между давлением под подошвой и упругой осадкой на зависимость между давлением и полной осадкой, т.е. переход от упругого основания к линейно деформируемому при определении внутренних усилий в фундаментной конструкции, некорректно, так как только учет упругих (восстанавливающих) деформаций основания

позволяет в наибольшей степени оценить влияние грунтового основания на условия изгиба фундаментной конструкции, получить расчетные, близкие к действительным, как линию изгиба ее оси, так и внутренние усилия. Следствием принятия модели линейно деформированного основания является, как правило, завышение значений изгибающих моментов, т.е. применение модели обуславливает некоторый неопределенный запас. Эта модель применяется при определении размеров подошвы фундаментной конструкции. Таким образом, целесообразно при определении коэффициента жесткости использовать не полную (общую) осадку, а упругую ее часть, что позволит спроектировать оптимальную по технико-экономическим показателям конструкцию фундамента.

Задача определения упругой части полной осадки в зависимости от давления под подошвой фундамента, вида грунта и его состояния остается до настоящего времени нерешенной.

Решение указанной задачи связано с проведением полевых штамповых испытаний грунтов различных видов с установлением упругой части полной осадки по ветви разгрузки графика «нагрузка - осадка».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Были проведены полевые испытания грунта штампами с размерами подошвы 1,0×1,0 и 2,0×2,0 м по схеме «загрузка - разгрузка». Грунт основания - песок крупнозернистый, рыхлый с $\rho=1,88$ г/см³, $\rho_d=1,48$ г/см³, $\rho_s=2,66$ г/см³, $e=0,80$, $w=0,27$, $\varphi=40^\circ$, $c=0,001$ МПа, $E_0=15,2$ МПа. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты полевых испытаний песчаного грунта штампами

p , кПа	s , мм	s_y , мм	s_y/s
штамп 1,0×1,0 м			
56,5	1,8	1,808	1,00
101,5	5,3	0,45	0,08
151,5	8,25	0,75	0,09
201,5	13,3	1,16	0,09
301,5	21,6	1,43	0,07
401,5	31,28	2,43	0,08
штамп 2,0×2,0 м			
97,5	12,24	0,55	0,05
199,5	21,68	1,48	0,07
430	52,86	6,47	0,12

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что соотношение между упругими и полными (общими) осадками фундамента зависит главным образом от свойств грунта основания.

В плотных грунтах осадка фундамента будет в основном обусловлена упругими свойствами грунтового скелета, обладающего прочной, достаточно жесткой структурой ($s_y/s = 0,6$); отношение s_y/s практически не изменяется с увеличением давления. В слабых, неуплотненных грунтах, не имеющих прочной связи между частицами скелета, доля упругих деформаций в общей осадке крайне мала (доходит до $s_y/s = 0,02$); отношение s_y/s существенно зависит от давления, уменьшаясь при его увеличении, что связано с резко выраженной нелинейностью графика «нагрузка-осадка» [5].

Рассмотрим, как влияет отношение s_y/s на изменение изгибающих моментов в балке на упругом винклеровском основании.

При расчете балок постоянной по длине жесткости, лежащих на винклеровском основании с постоянным коэффициентом жесткости, обычно используют характеристики: показатель жесткости системы «балка - основание» m и приведенную длину балки λ

$$m = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} ; \quad (2)$$

$$\lambda = Lm, \quad (3)$$

где K - погонный коэффициент жесткости основания;

EI - изгибная жесткость балки;

L - полная длина балки.

Коэффициент жесткости упругого (с использованием упругой части осадки) основания K_y находят из формулы (1) с заменой K на K_y и s на s_y , т.е.

$$K_y = p / s_y = K s_y / s ; \quad (4)$$

показатель жесткости системы «балка - упругое основание» m_y и соответствующую приведенную длину балки λ_y находят в зависимости от m и λ (последние определяют по формулам (2) и (3))

$$m_y = m \sqrt{s_\delta / s} , \quad (5)$$

$$\lambda_y = \lambda \sqrt{s_\delta / s} . \quad (6)$$

Как показано в работе [5], изгибающий момент (при делении балки на десять участков равной длины $a=0,1L$ и загрузке силой N , приложенной на границе каких-либо двух смежных участков) в точках деления можно определить по формуле

$$M = M^T N L, \quad (7)$$

где M^T - табличное (индекс «Т» означает табличное) значение момента. Значения M^T протабулированы при λ , равном 1; 2; ... 7.

Указанные таблицы дают возможность установить зависимость максимального изгибающего момента M^T_{\max} , действующего в балке, от приве-

денной ее длины λ и построить графики этой зависимости при различном местоположении N . Для любого положения N , график зависимости максимального изгибающего момента от приведенной длины состоит из двух криволинейных участков: первого - пологого и второго - крутого.

Зависимость изгибающего момента M_{\max}^r от приведенной длины балки λ на каждом участке любого графика хорошо аппроксимируется степенным уравнением

$$M_{\max}^r = a\lambda^b, \quad (8)$$

где a и b - параметры уравнения, постоянные для каждого участка любого графика.

Параметр a на первом и втором участках графика соответственно равен 0,14620 и 0,32768 (загружение 1 - расположение силы на конце балки), и 0,12430 и 0,30843 (загружение 2 - расположение силы по середине балки); параметр b аналогично равен -0,11392 и -1,02257 (загружение 1), и -0,10969 и -1,11049 (загружение 2). Точкам перегиба графиков соответствует приведенная длина 2,431 (загружение 1) и 2,480 (загружение 2).

Установлено (табл. 2), что при изменении отношения s_y/s от 0,02 до 0,2 расчетные значения M_y/M убывают (при нагружении 1) от 17,6 до 4,5% ($\lambda=1,0$ - жесткая балка), и от 62,6 до 32,6% ($\lambda=3,0$ - короткая балка) и (при нагружении 2) от 16,2 до 4,5% ($\lambda=1,0$) и от 66,2 до 36% ($\lambda=3,0$).

Таблица 2

Расчетные значения M_y/M

s_y/s	Загружение 1		Загружение 2	
	$\lambda = 1,0$	$\lambda = 3,0$	$\lambda = 1,0$	$\lambda = 3,0$
00,2	0,824	0,374	0,838	0,338
0,1	0,936	0,565	0,936	0,528
0,12	0,941	0,592	0,941	0,555
0,2	0,955	0,674	0,955	0,640

ВЫВОДЫ

1. При определении внутренних усилий в фундаментной конструкции на упругом основании целесообразно использовать коэффициент жесткости, определяемый как частное от деления среднего давления не на среднюю общую осадку, а на ее упругую составляющую.

2. Упругую составляющую осадки рекомендуется определять в зависимости от давления по результатам полевых штамповых испытаний по ветви разгрузки графика «нагрузка-осадка».

ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / С.Н. Клепиков - К.: Будівельник, 1967. - 184 с.
2. Кадыш Ф.С. Опытные исследования изгиба балок, лежащих на грунте / Ф.С. Кадыш // Вопросы динамики и прочности. - Рига: Издание АН Лат. ССР, 1962. - С. 127-138.
3. Массальский Е.К. Экспериментальное исследование работы гибкой балки на песчаном основании / Е.К. Массальский // Основания фундаменты и механика грунтов. - 1964. - №6. - С. 2-4.
4. Барташевич Э.С. О расчете конструкций, лежащих на упругом основании / Э.С. Бартошевич, А.И. Цейтлин // Строительная механика и расчет сооружений. - 1965. - №4. - С. 44-46.
5. Тугаенко Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки / Ю.Ф. Тугаенко. - Одесса: Астропринт, 2003. - 222 с.

REFERENCES

1. Klepikov, S.N. (1967). *Raschet konstruksiy na uprugom osnovanii* [Calculation of constructions on resilient foundation]. Kiev: Budivelnik [in Russian].
2. Kadyish, F.S. (1962). *Opyitnyie issledovaniya izgiba balok, lezhaschih na grunte* [Experimental researches of bend of beams, lyings on soil] / Voprosyi dinamiki i prochnosti. Riga: Izd-nie AN Latv. SSR [in Russian].
3. Massalskiy, E.K. (1964). *Eksperimentalnoe issledovanie raboty gibkoy balki na peschanom osnovanii* [Experimental research of work of flexible beam on sandy foundation] // Osnovaniya fundamenty i mehanika gruntov. - №6. - S. 2-4 [in Russian].
4. Bartashevich, E.S. & Tseytlin A.I. (1965). *O raschete konstruksiy, lezhaschih na uprugom osnovanii* [About the calculation of constructions, lyings on resilient foundation] // Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzheniy. - №4. - S. 44-46 [in Russian].
5. Tugaenko, Yu.F. (2003). *Razvitie deformatsiy v osnovaniyah fundamentov, sposoby ih ogranicheniya i metody otsenki* [Development of deformations in the grounds of foundations, methods of their limitation and methods of estimation]. Odessa: Astroprint [in Russian].

Статья поступила в редакцию 21.07.2016 г.