

УДК 624.131.3

О НАДЕЖНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ*д.т.н., проф. Киричек Ю. А., с.н.с. Трезуб А. В.**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы. Современные возможности геотехники и программного обеспечения позволяют вести эффективное проектирование строительных конструкций взаимодействующих с основанием. Прогрессивными являются методы расчета, позволяющие учитывать нелинейные свойства деформирования оснований. Однако такие методы в большинстве случаев невозможно реализовать на практике в полной мере, поскольку существует ограничение допустимого давления на основание привязкой к величине расчетного сопротивления оснований. Такое ограничение является целесообразным не во всех случаях и не всегда гарантирует надежность работы фундаментов, о чем свидетельствуют результаты исследований [1]. Таким образом, разработка новых подходов, позволяющих проектировать надежные и экономичные фундаменты, является актуальной задачей.

Связь с научными и практическими заданиями и анализ последних исследований и публикаций. На необходимость разработки методов расчета, базирующихся на нелинейных методах, указывают результаты исследований, позволившие установить недоиспользованные резервы несущей способности оснований в зависимости от грунтовых условий и размеров фундаментов [2]. Предложена методика проектирования фундаментов мелкого заложения без ограничения допустимого давления величиной расчетного сопротивления. При давлении, превышающем предел пропорциональности (при $P > R$) предполагается применение нелинейных методов расчета деформаций.

Известно, что грунт в массиве неоднороден, а деформативные и прочностные свойства его изменчивы. В качестве критерия неоднородности свойств применяются коэффициенты вариации, представляющие собой отношение статистического среднеквадратического отклонения исследуемой характеристики к её статистическому математическому ожиданию. Н.Н. Ермолаев и В.В.Михеев [3] установили, что коэффициент вариации v_x физико-механических характеристик грунтов зачастую превосходит 20-30%. Это может привести, в конечном счете, к завышенным прогнозам несущей способности оснований или повышенным деформациям. Эти обстоятельства являются причиной геотехнического риска, что необходимо учитывать при проектировании фундаментов. Ю.К. Зарецкий [4] предложил использовать коэффициенты запаса прочности оснований, которые должны устанавливаться на основе вероятностного расчета, поскольку характеристики грунтов, а значит и предельное и расчетное сопротивление грунтов оснований имеют вероятностную природу. Однако здесь, как он отмечает, необходима разработка нормированных коэффициентов запаса, обеспечивающих

недопущение предельных состояний. В зарубежной литературе [5] подобный смысл вложен в коэффициенты безопасности, разработке которых посвящена настоящая статья.

Цель работы - оценить уровень надежности оснований фундаментов мелкого заложения с учетом влияния неоднородности характеристик грунтов; определить соответствующие коэффициенты безопасности.

Изложение основного материала исследований.

В настоящих исследованиях выполнены расчеты оснований по двум предельным состояниям с использованием вероятностного подхода [6]. Это позволило, используя различные сочетания значений характеристик грунта исследовать работу фундаментов при самых неблагоприятных условиях, и определить значения требуемых коэффициентов безопасности. Известны предложения М.Н. Гольдштейна об описании характеристик естественного основания функцией нормального распределения. Результаты Ю.Л. Винникова и М.А. Харченко [7] свидетельствуют о возможности моделирования модуля деформации и удельного сцепления грунта уплотненных искусственных оснований законом логарифмически нормального распределения, а угол внутреннего трения и удельный вес грунта – нормальным распределением. Прочностные характеристики грунта моделировалась приближенным распределением нормального закона [6] из 10^3 значений с учетом требований ДСТУ. Для этого проверялись условия достоверности значений переменных и выявлялись грубые отклонения значений. Через случайные величины характеристик грунта вычислялись значения R , S_R , P_u . При давлениях, превышающих значение расчетного сопротивления, осадка рассчитана с использованием нелинейного метода [8]. Затем проверялись условия предельных состояний $p \leq P_u \cdot \gamma_c / \gamma_n$ и $S \leq S_u$.

Уровень надежности N вычислялся по отношению количества благоприятных исходов к общему числу исходов. В качестве критерия надежности принималось давление, при котором $N \geq 0,9975$. Согласно данным [3] значение уровня надежности $N=0,9975$ является оптимальным и не ведет к чрезмерным затратам при строительстве, в тоже время обеспечивает достаточный уровень надежности. Если в расчете требуемый уровень надежности оказывался недостаточным, то уменьшалось давление на основание и выполнялся повторный цикл расчетов. В данной работе неоднородность грунтов учитывалась коэффициентом безопасности $k=P_u/P^*$, где P_u - значение предельного сопротивления, согласно нормативной методики (детерминированный расчет), а P^* – допустимое давление, полученное на основе вероятностного расчета с учетом неоднородности характеристик грунтов.

Выполнены расчеты для оснований, сложенных мелкими песками средней плотности, пластичной супесью и мягкопластичным суглинком. Характеристики грунтов оснований приведены в табл. 1. Рассмотрены столбчатые квадратные фундаменты с шириной подошвы 1 и 5м и глубиной заложения 2м. Некоторые результаты исследований представлены в табл. 2 и на графиках (рис. 1, 2) в виде зависимостей $N=f(k)$.

Таблица 1

Характеристики грунтовых оснований

Грунт	E , МПа	φ , град	C , кПа	γ , кН/м ³	e
Песок мелкий средней плотности маловлажный	18	28	0	16,66	0,75
Супесь пластичная	10	21	11	18,69	0,75
Суглинок мягкопластичный	6	14	14	17,53	0,95

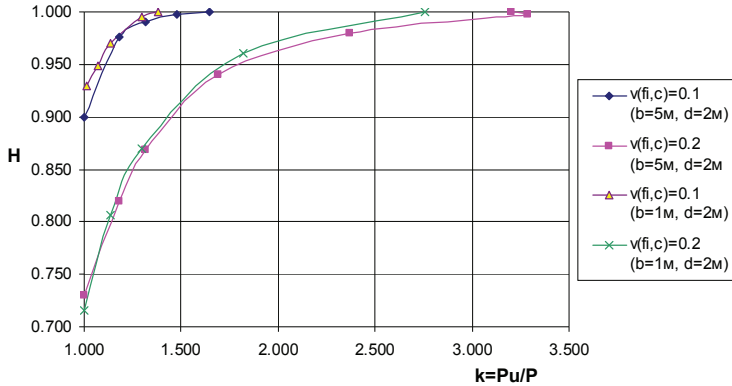


Рис. 1. Зависимость $H=f(k)$ для основания из мелкого песка

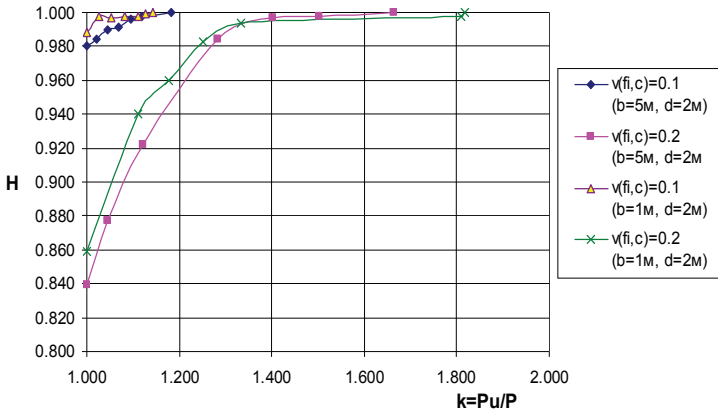


Рис. 2. Зависимость $H=f(k)$ для основания из суглинка

Таблица 2

Результаты расчетов с использованием детерминированного и вероятностного подходов

Ширина подошвы фундамента, м	Детерминированный расчет				Вероятностный расчет				Коэффициенты		Уровень надежности Н
	R_p при $S_p=10\text{см}$, МПа	R , МПа	R_p , МПа	S_p , см	$v(\rho, \epsilon)$	$v(S)$	$v(R)$	$v(P_k)$	из усл. по деформациям R_p/R_{max}	безопасности $k=R_p/R^*$	
					Песок мелкий						
1	0,95	0,205	0,91	0,8	0,10	0,59	0,17	0,33	1,827	1,379	0,998
5	0,45	0,28	1,184	5,55	0,20	0,70	0,37	0,60	3,519	2,758	0,999
					0,10	0,26	0,19	0,36	1,406	1,410	0,999
					0,20	0,56	0,39	0,61	1,800	3,036	0,998
					Супесь пластичная						
1	0,64	0,196	0,68	1,27	0,10	0,33	0,11	0,20	1,490	1,190	0,998
5	0,28	0,238	0,811	8,03	0,20	0,51	0,23	0,44	2,130	2,000	0,998
					0,10	0,15	0,13	0,23	1,330	1,250	0,999
					0,20	0,30	0,26	0,49	1,750	1,930	0,998
					Суглинок мелкопластичный						
1	0,38	0,147	0,400	1,44	0,10	0,22	0,08	0,12	1,310	1,120	0,999
5	0,185	0,167	0,449	8,5	0,20	0,67	0,15	0,24	1,650	1,810	0,998
					0,10	0,12	0,09	0,14	1,160	1,130	0,998
					0,20	0,21	0,17	0,26	1,420	1,500	0,999

Обсуждение результатов. С увеличением значений прочностных характеристик грунтов и их коэффициентов вариации увеличивался диапазон значений предельного сопротивления основания и соответственно коэффициента безопасности $k=P_u/P^*$.

Уровень надежности для песчаного основания при вариации прочностных характеристик $v=0,2$ изменялся от $N=0,72$ при $k=P_u/P=1,0$ до $N=1,0$ при $k=3,2$, а для суглинка от $N=0,84$ при $k=1,0$ до $N=1,0$ при $k=1,8$. Использование значений коэффициентов безопасности выше, чем приведенные в табл. 2. экономически нецелесообразно, поскольку уровень надежности по данным исследований сохранялся на высоком уровне и составлял $N=0,998\dots 1,0$. Согласно полученным результатам коэффициенты вариации предельного сопротивления основания P_u составили от 0,3 до 0,6, что существенно влияет на уровень надежности N . Учет неоднородности свойств грунтов с помощью коэффициентов безопасности позволит исключить случаи потери основанием несущей способности.

Выводы. Выполненные исследования зависимости величины предельного сопротивления основания от неоднородности прочностных характеристик позволили установить значения коэффициентов безопасности для обеспечения требуемого уровня надежности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофименков Ю.Г. О расчете фундаментов мелкого заложения по различным нормам/ Трофименков Ю.Г., Михеев В.В. / Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – №2. – С. 18–21.
2. Киричек Ю.А. Расчет фундаментов мелкого заложения с использованием нелинейного метода, базирующегося на результатах статистического анализа / Киричек Ю.А., Трегуб А.В.// Сб. научн. тр. (отраслевое машиностроение, строительство) / Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка. Вып. 1(29). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – С. 208–211.
3. Ермолаев Н.Н. Надежность оснований сооружений/ Ермолаев Н.Н. Михеев В.В. // - Ленинград: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1976. – 152 с.
4. Зарецкий Ю.К. Расчеты сооружений и оснований по предельным состояниям/ Зарецкий Ю.К.// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – №3.
5. Manjriker A., Gunarante I. Foundation Engineering. USA Taylor and Francis, 2006, 608 p.
6. Бугров А.К. Расчет надежности по осадке упругопластического основания методом статистических испытаний./ Бугров А.К., Шилин В.Г.// Реконструкция городов и геотехническое строительство. №3. С.-Петербург, 2000.
7. Харченко М.А. Оценка неоднородности уплотненных грунтов искусственных оснований/ Харченко М.А.// Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 25 с.