

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	$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$e$
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

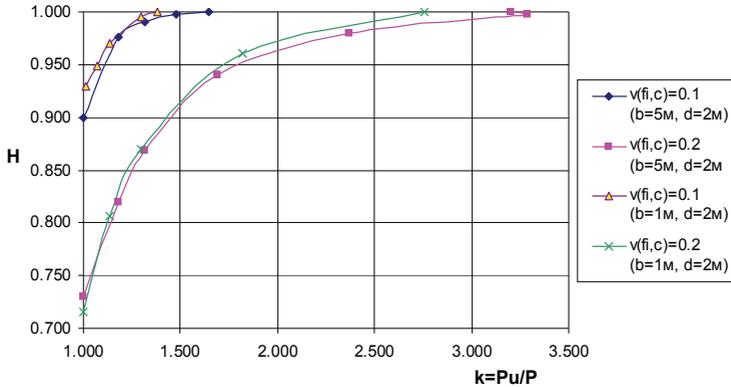


Рис. 1. Зависимость  $H=f(k)$  для основания из мелкого песка

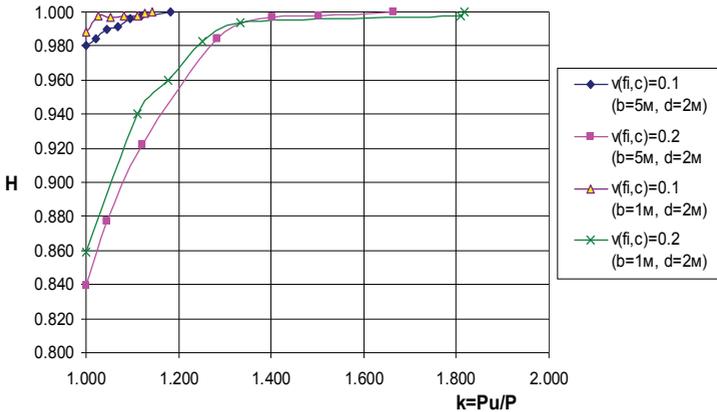


Рис. 2. Зависимость  $H=f(k)$  для основания из суглинка

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	$R_c$ , МПа	$R_s$ , МПа	$S_p$ , см	$v(\rho, c)$	$v(S)$	$v(R)$	$v(P_k)$	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.