



ЛУЧКОВСКИЙ ИЛЬЯ ЯКОВЛЕВИЧ

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехники и подземных сооружений Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры. Действительный член Академии строительства Украины.

Основные направления научной деятельности: исследование работы подземных конструкций и сооружений различного назначения, в том числе, в условиях реконструкции: облегченные фундаменты прокатных станов, вагонопрокидыватели, насосные станции, вертикальные шахтные стволы, свайные фундаменты с превалирующими горизонтальными и моментными нагрузками, подпорные стены, технические подвалы, коллекторы, фундаменты высотных зданий; исследование нелинейных свойств железобетонных конструкций, изучение временных нагрузок на перекрытия технических этажей и подвалов, учет местных нагрузок в расчетах давления грунта на подпорные стены, вопросы назначения расчетное сопротивление грунта, а также разработка новых моделей грунтового основания.

Автор более 230 научных работ.

E-mail: Lutchkovsky@yahoo.com

УДК

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ «РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ»

Ключевые слова:

В статье дается анализ истинных глубин зон предельного равновесия под фундаментами, получаемых по современным отечественным нормам [1, 2] с введением повышающих коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2} при определении расчетного сопротивления грунта основания R, что позволило разработать теоретически обоснованную методику определения R

У статті дається аналіз дійсних глибин зон граничної рівноваги під фундаментами, одержуваних по сучасних вітчизняних нормах [1, 2] із уведення підвищувальних коефіцієнтів γ_{c1} і γ_{c2} при визначенні розрахункового опору ґрунту підстави R, що дозволило розробити теоретично обґрунтовану методику визначення R

In article the analysis of true depths of working areas of limiting balance under the bases, received on modern domestic size standards [1, 2] about introduction of raising factors γ_{c1} and γ_{c2} is given at definition of settlement resistance of a ground of base R that has allowed to develop theoretically well-founded technique of definition R

Определение так называемого отечественными нормами [1, 2] «расчетного сопротивления грунта основания» до настоящего времени остается одной из актуальнейших проблем фундаментостроения. Основываясь на исследованиях Н.М. Герсеванова [4] и ряда других ученых 20-30-х годов прошлого века, была установлена допустимость представления грунтового основания «линейно-деформируемой средой» в условиях однократного приложения нагрузки, не вызывающей существенного развития областей предельно напряженного состояния («неустойчивых» зон).

Поэтому в настоящее время «расчетное сопротивление грунта» относится к разделу расчета оснований по деформациям в качестве граничного среднего напряжения под подошвой фундамента, когда его осадка, с достаточной для инженерной практики точностью, может определяться методами теории упругости.

Так как в процессе роста нагрузки «неустойчивые» зоны, зарождаясь под краями фундамента, постепенно углубляются в подфундаментную область, то проблема определения осадок фундаментов тесно переплелась с оценкой устойчивости и прочности оснований, на что обращено внимание в трудах Б.Г. Березанцева [3], М.И. Горбунова-Посадова [5], М.В. Малышева, А.К. Бугрова и др. ученых.

Для сравнения максимальных границ развития «неустойчивых» зон под фундаментами, допускаемых в стадии эксплуатации зданий и сооружений методиками различных авторов, представим их графически на рис. 1, где использованы известные решения, моделирующие фундамент гибкой полосовой нагрузкой: а) Н.П. Пузыревского [9]; б) СНиП II-Б.1-62*; в) Н.Н. Маслова [8]; г) И.Я. Лучковского [6, 7]; д) С.П. Шеляпина [10]; е) И.В. Яропольского [11]; ж) СНиП 2.02.01-83 [1], ДБН В.2.1-10-2009 [2].

Следует отметить, что при моделировании фундаментов гибкой полосовой нагрузкой максимальные значения глубин зон предельного равновесия, определяемые различными методами, лежат на направляющей окружности с радиусом r и максимальной глубиной z_{max}^0 равными

$$\left. \begin{aligned} r &= \frac{b}{2 \cos \varphi}; \\ z_{\max}^0 &= 0,5b \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Однако, при давлениях p , превышающих «критическое» значение (рис. 1-е), максимальная глубина границы неустойчивой зоны опускается ниже направляющей окружности и методы, основанные на решении Н.П. Пузыревского, применяться не могут.

По той же причине теряет смысл и современная методика отечественных норм [1, 2], использующая известные функции Н.П. Пузыревского M_γ , M_q и M_c при одновременном учете коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2} .

Рассматривая, для упрощения выводов, бесподвальное здание и однородное основание с характеристиками γ , φ и c , можно в соответствии с этими нормами представить относительное расчетное сопротивление грунта R в виде (при $b \leq 10m$):

$$\bar{R} = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [(M_q - 1)(1 + 0,25\bar{b} + \bar{c}) + 1], \quad (2)$$

где γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы, учитывающие типы грунтов и жесткость конструктивной схемы здания;

$$\bar{b} = \frac{b}{h}, \quad \bar{c} = \frac{c}{d_1}$$

b – ширина подошвы фундамента;
 d_1 – глубина заложения фундамента;

$M_q = \frac{\pi}{\operatorname{ctg} \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + 1$ – коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения φ .

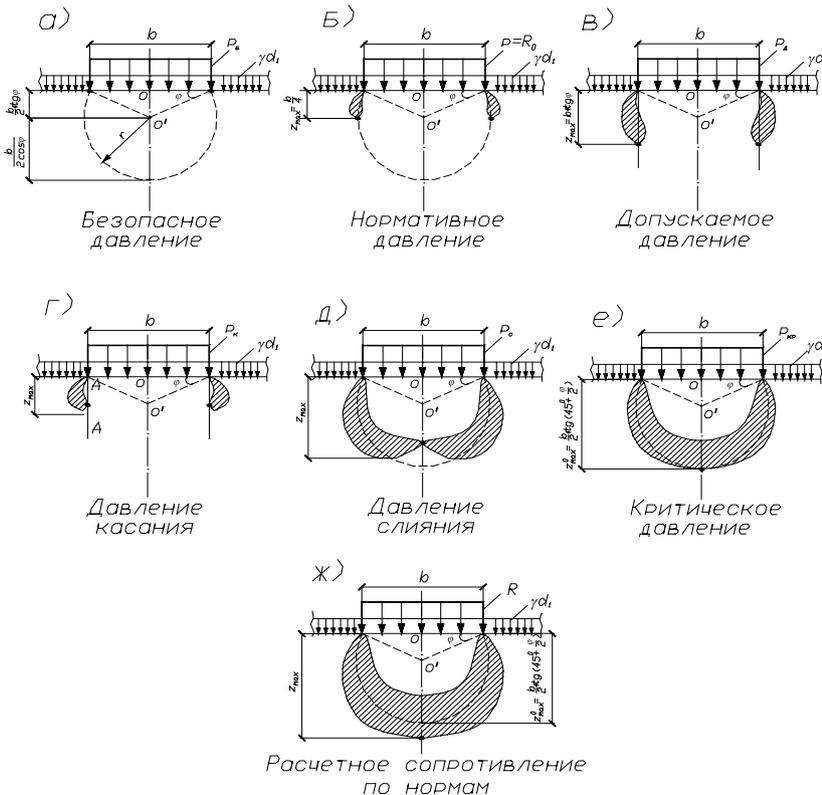


Рис. 1 Сравнение неустойчивых областей основания, получаемых по различным методам
а) Н.П. Пузыревский; б) СНиП II-Б.1-62*; в) Н.Н. Маслов; г) И.Я. Лучковский; д) С.П. Шеляпин;
е) И.В. Яропольский; ж) СНиП 2.02.01-83, ДБН В.2.1-10-2009

Если же представить R по решению Н.П. Пузыревского, то нетрудно получить

$$\bar{R}_c = \frac{1}{k} [(M_q - 1)(1 + \bar{z}_{\max} \cdot \bar{b} + \bar{c}) + 1], \quad (3)$$

где $\bar{z}_{\max} = \frac{z_{\max}}{b}$ – максимальная относительная глубина границы неустойчивой зоны (рис. 1).

Таким образом, в нормах при использовании $\bar{z}_{\max} = 0,25$ (при $b \leq 10m$) введены повышающие коэффициенты условий работы $\gamma_{c1} > 1$ и $\gamma_{c2} > 1$, которые принципиально изменяют характер развития предельных неустойчивых зон, глубина которых во многих случаях превосходит \bar{z}_{\max}^0 (рис. 1-ж). Некоторые авторы ошибочно называют γ_{c1} коэффициентами «запаса», хотя в них заключены принципиальные погрешности методики [1, 2].

Для установления истинных глубин зон предельного равновесия грунтового массива, негласно заложенных в новые нормы, рассмотрим два возможных случая.

Случай 1: $\bar{z}_{\max} \leq \bar{z}_{\max}^0$.
Обозначив

$$K_\gamma = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \quad (4)$$

и приравняв выражения (2) и (3), найдем

$$\bar{z}_{\max} = \frac{1}{b} \left[\frac{(K_\gamma \bar{R}_0 - 1)}{(M_q - 1)} - (1 + \bar{c}) \right], \quad (5)$$

где

$$\bar{R}_0 = \frac{1}{k} [(M_q - 1)(1 + 0,25\bar{b} + \bar{c}) + 1].$$

Случай 2: $\bar{z}_{\max} \geq \bar{z}_{\max}^0$.

Главные напряжения для любой точки B центральной оси z фундамента (рис.2) можно представить в виде

$$\sigma_{1,2} = \frac{(p - \gamma d_1)}{\pi} (2\beta \pm \sin 2\beta) + \gamma(z + d_1); \quad (6)$$

где

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{1}{2z}; \quad \sin 2\beta = \frac{\bar{z}}{\bar{z}^2 + 0,25}.$$

Подставив (6) в условие предельного равновесия Кулона-Мора

$$(\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_1 + \sigma_2) \sin \varphi = 2c \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

после ряда преобразований получим связь между средним давлением p под фундаментом и координатами z пересечения оси симметрии с границами неустойчивой зоны (точки B и B'):

$$\bar{p} = \frac{1 + \bar{b}\bar{z} + \bar{c}}{\frac{1}{\pi} \left[\sin \varphi \left(\frac{\bar{z}}{\bar{c} + 0,25} \right) + 2 \operatorname{arctg} 2\bar{z} \right] - 1} + 1, \quad (8)$$

где $\bar{p} = \frac{p}{\gamma d_1}$

При этом нас будет интересовать координата z_{\max} нижней точки B при условии $\bar{p} = R$, т.е. при равенстве выражений (2) и (8). На основании зависимостей (5) и (8)

Фактическая глубина \bar{z}_{\max} неустойчивых зон в нормативной методике

Конструктивная схема здания	Гибкая схема здания ($K_\gamma = \gamma_{c1}$)				Жесткая схема здания ($K_\gamma = \gamma_{c1} \gamma_{c2}$)			
	45°	40°	35°	30°	45°	40°	35°	30°
φ_0	1,4	1,35	1,3	1,25	1,96	1,823	1,69	1,563
K_γ	1,2071	1,0723	0,9605	0,8660	1,2071	1,0723	0,9605	0,8660
$\bar{z}_{\max}^0 = 0,5tg\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$								
$\bar{b} = \frac{b}{d_1}$	\bar{z}_{\max}							
0,1	1,99	1,76	1,56	1,39	2,87	2,49	2,17	1,89
0,2	1,72	1,53	1,37	1,23	2,46	2,16	1,9	1,67
0,5	1,205	1,11	1,01	0,91	1,87	1,66	1,48	1,31
1,0	0,777	0,723	0,669	0,617	1,44	1,29	1,15	1,03
1,5	0,635	0,595	0,555	0,5155	1,174	1,060	0,951	0,847
2,0	0,564	0,53	0,497	0,465	1,003	0,909	0,819	0,734
4,0	0,457	0,434	0,411	0,389	0,746	0,682	0,621	0,562
8,0	0,403	0,386	0,368	0,351	0,618	0,569	0,522	0,476
10,0	0,393	0,376	0,359	0,343	0,593	0,546	0,502	0,459

для обоих случаев значения фактических глубин зон предельного равновесия \bar{z}_{\max} под фундаментами, получаемых по нормативной методике с использованием зависимости (2), представлены в табл. 1 для песчаных грунтов при различных соотношениях $\bar{b} = \frac{b}{d_1}$ фундаментов шириной $b \leq 10m$.

Данные табл. 1 наглядно показывают, что отсутствие согласования между введенными в новые нормы коэффициентами γ_{c1} , γ_{c2} и допускаемой глубиной неустойчивых зон привело к тому, что для наиболее распространенных в современном строительстве фундаментов с соотношением $\bar{b} = \frac{b}{d_1} < (0,5 + 1,5)$ глубина зоны предельного равновесия \bar{z} превосходит $\bar{z}_{\max}^0 = 0,5\sqrt{\lambda_\gamma}$, а соотношения $\bar{z} = 0,25$, которое якобы принято в нормативной методике, вообще не существует.

Отсюда следует и ошибочность указаний норм по определению расчетных характеристик грунта в пределах слоя толщиной $z=0,5b$ ниже подошвы фундамента (при $b \leq 10m$). Эту глубину по нашим выводам следует увеличить в 3÷5 раз.

Отметим, что в связных грунтах при $\varphi \leq 25^\circ$ получается, примерно, та же ситуация.

Если же попытаться найти «спасение» в замене гибкой нагрузки жестким штампом, то при использовании нашего решения [7] для жесткой ленты можно, вместо зависимости (3), получить равенство

$$\bar{R}_z^{um} = f_0 \left(1 + \bar{z}^{um} \cdot \bar{b} + \bar{c}\right) + 1, \quad (9)$$

где

$$f_0 = \frac{3\pi\sqrt{3} \sin \varphi}{4\sqrt{(1 - \sin \varphi)^3}}. \quad (10)$$

При этом для жесткого штампа на оси симметрии направляющей окружности максимальная глубина неустойчивой зоны равна

$$\bar{z}_{\max}^{0,um} = 0,5\sqrt{\frac{2 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}. \quad (11)$$

Значения функции f_0 и $\bar{z}_{\max}^{0,um}$ для жесткого фундамента даны в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что глубины \bar{z}_{\max} для штампа лежат ниже, чем при гибкой нагрузке. Однако значение функции f_0 больше ($M_q - 1$), а потому дает большие величины R .

Если при заданной нагрузке \bar{z}_{\max}^{um} превосходит $\bar{z}_{\max}^{0,um}$, то следует рассмотреть условие предельного равновесия для точек, находящихся на оси симметрии (аналогично рис. 2). При этом для штампа получим связь между нагрузкой и координатами граничных точек B и B' в виде

$$\bar{P}_{um} = \frac{\pi\sqrt{(4\bar{z}^2 + 1)^3}}{2\left[4\bar{z}^2\left(\frac{1}{\sin \varphi} - 1\right) - 1\right]}(1 + \bar{z}\bar{b} + \bar{c}) + 1. \quad (12)$$

Значения истинной относительной глубины зоны предельного равновесия \bar{z}_{\max}^{um} при $\bar{z}_{\max}^{um} < \bar{z}_{\max}^{0,um}$, определяется из условия равенства выражений (2) и (9), откуда получим

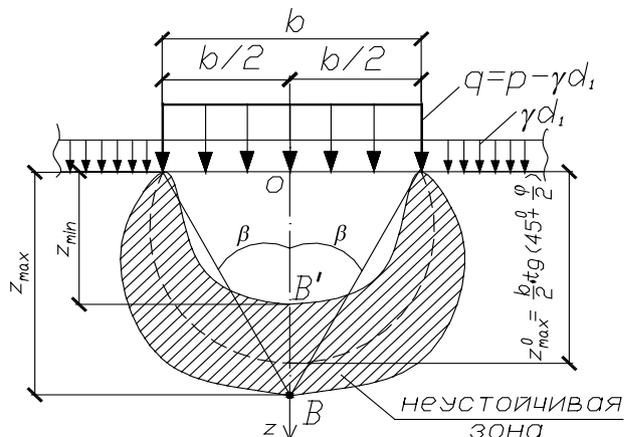


Рис. 2 Расположение расчетных точек B и B' на оси симметрии неустойчивой зоны при $\bar{z}_{\max}^{um} \geq \bar{z}_{\max}^0$

$$\frac{z_{max}^{-0,um}}{b} = \frac{1}{b} \left[\frac{(K_\gamma \bar{R}_0 - 1)}{f_0} - (1 + \bar{c}) \right]. \quad (13)$$

Теперь нетрудно представить фактические глубины неустойчивых зон $\frac{z_{max}^{-0,um}}{b}$ под жестким фундаментом (штампом), получаемые в соответствии с расчетным сопротивлением грунта по нормативной методике [1, 2]. В табл. 3 эти значения даны для песчаных грунтов.

Полученные в табл. 1 и 3 результаты представлены в виде графиков на рис. 3.

Данные графики наглядно показывают, что получаемые по [1, 2] глубины зон предельного равновесия грунта под наиболее распространенными фундаментами существенно превосходят четверть ширины фундамента, а под «узкими» фундаментами могут опускаться ниже направляющей окружности, когда используемое в нормах решение Н.П. Пузыревского оказывается неприменимым. Кроме того, в

Таблица 2.

Значения функции f_0 и $\frac{z_{max}^{-0,um}}$ для жесткой ленты

φ^0	f_0	$\frac{z_{max}^{-0,um}}$	φ^0	f_0	$\frac{z_{max}^{-0,um}}$	φ^0	f_0	$\frac{z_{max}^{-0,um}}$	φ^0	f_0	$\frac{z_{max}^{-0,um}}$
6	0,5034	0,7665	16	1,8246	0,8862	26	4,2505	1,0418	36	9,0637	1,2528
7	0,6044	0,7772	17	2,0045	0,8999	27	4,5922	1,0600	37	9,7748	1,2781
8	0,7111	0,7882	18	2,1956	0,9140	28	4,9581	1,0787	38	10,5449	1,3044
9	0,8234	0,7994	19	2,3989	0,9285	29	5,3505	1,0981	39	11,3800	1,3317
10	0,9434	0,8109	20	2,6152	0,9433	30	5,7715	1,1180	40	12,2871	1,3600
11	1,0698	0,8227	21	2,8456	0,9589	31	6,2237	1,1387	41	13,2736	1,3894
12	1,2036	0,8348	22	3,0911	0,9743	32	6,7100	1,1599	42	14,3482	1,4201
13	1,3455	0,8472	23	3,3530	0,9905	33	7,2335	1,1820	43	15,5207	1,4521
14	1,4958	0,8599	24	3,6326	1,0071	34	7,7976	1,2047	44	16,8021	1,4853
15	1,6553	0,8729	25	3,9312	1,0242	35	8,4062	1,2283	45	18,2051	1,5201

Таблица 3

Фактическая глубина $\frac{z_{max}^{-0,um}}$ неустойчивых зон под штампом при нормативной методике определения расчетного сопротивления грунта

Конструктивная схема здания	Гибкая схема здания ($K_\gamma = \gamma_{c1}$)				Жесткая схема здания ($K_\gamma = \gamma_{c1} \gamma_{c2}$)			
	45^0	40^0	35^0	30^0	45^0	40^0	35^0	30^0
φ^0								
K_γ	1,4	1,35	1,3	1,25	1,96	1,823	1,69	1,563
$\frac{z_{max}^{-0,um}}{b} = 0,5 \sqrt{\frac{2 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$	1,520	1,360	1,228	1,118	1,520	1,360	1,228	1,118
$\bar{b} = \frac{b}{d_1}$	$\frac{z_{max}^{-0,um}}{Z_{max}}$							
0,1	1,66	1,37	0,993	0,617	2,75	2,37	2,04	1,75
0,2	1,020	0,822	0,626	0,433	2,32	2,02	1,75	1,51
0,5	0,577	0,491	0,406	0,322	1,630	1,420	1,199	0,990
1,0	0,429	0,381	0,333	0,285	1,023	0,893	0,768	0,651
2,0	0,355	0,326	0,296	0,267	0,708	0,629	0,553	0,481
4,0	0,318	0,298	0,278	0,258	0,551	0,497	0,445	0,396
8,0	0,300	0,284	0,269	0,253	0,473	0,431	0,391	0,353
10,0	0,296	0,282	0,267	0,252	0,457	0,418	0,380	0,345

Рисунок 3 на стр. 2 обложки

этом случае теряется смысл термина «расчетное сопротивление грунта основания» как границы применимости в расчетах осадок методов теории линейно-деформируемого тела.

На основании приведенных выше доводов предлагается новая методика определения R , в основу которой приняты следующие положения:

- 1) Соотношение максимальной глубины зоны предельного равновесия к ширине фундамента \bar{z}_{\max} считается величиной переменной, не превосходящей глубины $\bar{z}_{\max}^0 = 0,5 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ на пересечении направляющей окружности с осью симметрии фундамента - z ;
- 2) Учитывая, что введенные в действующие нормы коэффициенты γ_{c1} и γ_{c2} используются при моделировании фундаментов гибкой нагрузкой, это допущение сохраняется;
- 3) Так как в решении Н.П. Пузыревского существуют соотношения

$$M_\gamma = 0,25(M_q - 1); M_c = \operatorname{ctg} \varphi (M_q - 1),$$

то для определения расчетного сопротивления грунта R , вместо традиционной нормативной зависимости [1, 2], применяется упрощенная формула

$$R = \frac{K_\gamma}{K} \bar{R}_0 \cdot \gamma' \cdot d_1, \quad (14)$$

где

$$\bar{R}_0 = F_0 \left(1 + \bar{z} \bar{b} + \bar{c} + \bar{d}_b \right) + 1, \quad (15)$$

$$F_0 = M_q - 1; \quad (16)$$

$$\bar{z} = \frac{0,25}{\sqrt{1 + 0,002b^2}}; \quad (17)$$

$$\bar{c} = \frac{c}{\gamma' d_1} \operatorname{ctg} \varphi; \quad (18)$$

$$\bar{b} = \frac{b}{d_1} \frac{\gamma}{\gamma'}; \quad \bar{d}_b = \frac{d_b}{d_1}.$$

Отметим, что полученная нами зависимость (14) учитывает не только наличие подвалов, но и изменение глубины устойчивых зон в зависимости от ширины b (м) подошвы фундаментов (рис. 4). Введение формулы (17) позволяет отказаться от условного деления фундаментов на 2 группы по ширине ($b \leq 10$ м и $b > 10$ м), так как она охватывает весь диапазон возможных ширин фундаментов ($0 \leq b \leq \infty$). При этом переменной является \bar{z} , а не ширина фундамента b , являющаяся заданной величиной.

Вместе с тем, подчеркнем, что определяемые по формуле (17) значения $\bar{z} \leq 0,25$ являются условными величинами, перешедшими из старых норм в новые, но не согласованными с введенными коэффициентами γ_{c1} и γ_{c2} . Реально, как было показано выше, относительные глубины зон предельного равновесия оказываются существенно больше.

- 4) Устанавливается граничное значение $\bar{b} = \bar{b}_0$ при максимально допустимой глубине зоны предельного равновесия \bar{z}_{\max}^0 по зависимости, аналогичной (5), которая преобразуется к общему виду

$$\bar{b}_0 = \frac{(K_\gamma - 1) \left[1 + F_0 (1 + \bar{c} + \bar{d}_b) \right]}{F_0 \left(\bar{z}_{\max}^0 - K_\gamma \cdot \bar{z} \right)}, \quad (19)$$

где \bar{z}_{\max}^0 определяется по формуле (1), а \bar{z} - по (17).

- 5) Расчетное сопротивление грунта определяется по одному из двух вариантов расчета:

- a) $\bar{b} \leq \bar{b}_0$:

R определяется по формуле:

$$R = \left\{ F_0 \left[1 + \bar{z}_{\max}^0 \cdot \bar{b} + \bar{d}_b + \bar{c} \right] + 1 \right\} \frac{\gamma' d_1}{K}. \quad (20)$$

Фактическая максимальная глубина зоны предельного равновесия при этом равна

$$\bar{z}_{\max} = \bar{z}_{\max}^0 = 0,5 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right).$$

- б) $\bar{b} > \bar{b}_0$:

в данном случае для определения R используются зависимости (14, 15) при заданном значении $\bar{b} = \frac{b}{d_1} \frac{\gamma}{\gamma'}$.

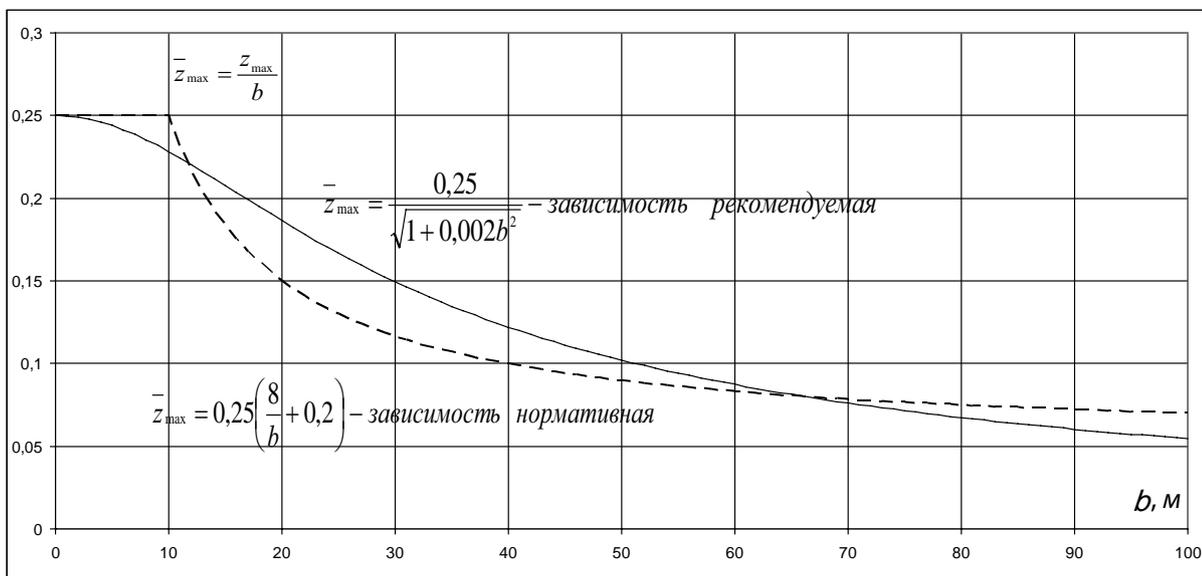


Рис. 4 Соотношение между глубиной зон предельного равновесия \bar{z}_{\max} и шириной фундамента b

Однако, этот формальный прием не позволяет найти истинное (в рамках принятой теории Н.П. Пузыревского) значение максимальной глубины зоны предельного равновесия z_{max} , необходимой для установления требуемых расчетных характеристик грунта основания ниже подошвы фундамента и оценки фактического уровня нагружения фундамента.

Значение z_{max} нетрудно получить из равенства

$$K_{\gamma} [F_0(1 + \bar{z}\bar{b} + \bar{c} + \bar{d}_b) + 1] = F_0(1 + \bar{z}_{max}\bar{b} + \bar{c} + \bar{d}_b) + 1,$$

откуда находится фактическая максимальная глубина неустойчивой зоны z_{max}

$$\bar{z}_{max} = \frac{(K_{\gamma} - 1)[F_0(1 + \bar{c} + \bar{d}_b) + 1] + \bar{b}F_0K_{\gamma}\bar{z}}{\bar{b}F_0}, \quad (21)$$

или

$$\bar{z}_{max} = \frac{1}{\bar{b}F_0} [K_{\gamma}\bar{R}_0 - 1 - F_0(1 + \bar{c} + \bar{d}_b)]. \quad (22)$$

Пример расчета.

Рассмотрим ленточный фундамент глубиной $d_f=2$ м и шириной подошвы $b=1,6$ м при следующих исходных данных:

$\varphi=22^\circ$; $\gamma = \gamma' = 18 \text{ кН/м}^3$; $c=14 \text{ кПа}$; $\gamma_{c1}=1,2$; $\gamma_{c2}=1,1$; $k=1$; $F_0=2,44$.

Предварительно находим: $\bar{b} = \frac{1,6}{2} = 0,8$; $\bar{c} = \frac{14}{18 \cdot 2} \text{ctg} 22^\circ = 0,962$; $K_{\gamma}=1,32$.

Максимально допустимая относительная глубина неустойчивой зоны равна

$$\bar{z}_{max}^0 = 0,5 \text{tg} 56^\circ = 0,741.$$

Условная относительная глубина неустойчивой зоны принята:

$$\bar{z} = \frac{0,25}{\sqrt{1 + 0,002 \cdot 1,6^2}} = 0,2494 \approx 0,25.$$

Далее вычисляем граничное значение \bar{b}_0 по формуле (19)

$$\bar{b}_0 = \frac{(1,32 - 1)[1 + 2,44(1 + 0,962)]}{2,44(0,741 - 1,32 \cdot 0,25)} = 1,845.$$

Учитывая, что $\bar{b} = 0,8 < \bar{b}_0 = 1,845$, расчетное сопротивление грунта определяем по формуле (20)

$$R = \{2,44[1 + 0,741 \cdot 0,8 + 0,962] + 1\} 18 \cdot 2 = 260,4 \text{ кПа}.$$

Для сравнения находим значение R по формулам (14, 15) при $\bar{z} = 0,25$, т.е. по нормативной методике [1, 2]

$$R^{norm} = 1,32[(1 + 0,25 \cdot 0,8 + 0,962)2,44 + 1] 18 \cdot 2 = 298,2 \text{ кПа}.$$

Таким образом, действующие нормы завышают рас-

четное сопротивление, в данном случае на 14,5%. При этом относительная глубина зон предельного равновесия грунта под фундаментом составляет $z_{max}^0 = 0,741 \cdot 1,6 \approx 1,2$ м, в то время как теоретически условная максимальная глубина составляет всего $z_{max} = 0,25 \cdot 1,6 = 0,4$ м. На самом же деле, как мы видим из приведенных выше расчетов, введение коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2} увеличило z_{max} до $z_{max}^0 = 1,2$ м, т.е. в 3 раза (если принять по нашей методике $R=260,4 \text{ кПа}$). Если же принять по нормативной методике $R^{norm}=298,2 \text{ кПа}$, то глубина z_{max} на оси симметрии фундамента, в соответствии с зависимостью (8), составит $z=1,02 \cdot 1,6=1,63$ м, т.е. превысит $z_{max}^0=0,4$ м в 4 раза. Таким образом, толщина слоя грунта под фундаментом, в пределах которой устанавливаются характеристики φ , γ и c , должна приниматься не $z=b/2=0,8$ м, а порядка $2 \div 3$ м.

ВЫВОДЫ:

1. Представлены убедительные доказательства несогласованного с принятой в отечественных нормах теорией Н.П. Пузыревского введения коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2} , повышающих расчетное сопротивление грунта.

2. В существующей литературе по механике грунтов их авторы «по инерции» считают максимальной глубину допускаемых новыми нормами зон предельного равновесия равной $z_{max} = 0,25b$.

3. В многочисленных учебниках введенные в новые нормы коэффициенты γ_{c1} и γ_{c2} называют по-разному, а иногда и «коэффициентами запаса», что недопустимо.

4. Несогласованное с теорией расчета R введение повышающих коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2} привело к существенному росту глубины зон предельного равновесия (рис. 1, ж), особенно для наиболее распространенных типов фундаментов с соотношением $\bar{b} = \frac{b}{d_f} < (0,5 \div 1,5)$, что требует немедленного пересмотра соответствующего раздела отечественных норм [2].

5. В данной статье предложен новый подход и расчетные предпосылки, позволяющие исправить нормативные документы.

6. В отличие от нормативной, предложенная методика не требует деления фундаментов на 2 типа при ширинах $b \leq 10$ м и $b > 10$ м. При этом вводится поправочный коэффициент на условную глубину зоны предельного равновесия, а не на ширину фундамента b , как это сделано в нормах.

7. Так как реальные глубины неустойчивых зон оказываются более приняты в нормах условных глубин $\bar{z} \leq 0,25$, то выявляется еще одно противоречие существующей нормативной методике, когда при $b > 10$ м величина \bar{z} снижается за счет введения коэффициента k_{γ} , а затем увеличивается введением γ_{c1} и γ_{c2} .

8. Методика выявляет истинные значения максимальных глубин неустойчивых зон грунта основания, что позволяет скорректировать устаревшие требования норм по определению расчетных характеристик грунта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СНиП 2.02.01-83 «Основания и фундаменты». М.: Стройиздат, 1985.
2. ДБН В.2.1-10-2009. «Основы та фундаменти споруд». К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
3. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений. Л.: Стройиздат, 1970.
4. Герсеванов Н.М. Собрание сочинений. Т.1. М.: Стройиздат, 1985. – 270 с.
5. Горбунов-Посадов М.И. Устойчивость фундаментов на песчаном основании. М.: Стройиздат, 1962. – 96 с.
6. Лучковский И.Я. О возможности повышения расчетного сопротивления грунта. «Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури», №8. Одеса: ОДАБА, 2002. – С. 112-121.
7. Лучковский И.Я. Учет жесткости фундамента при оценке расчетного сопротивления грунта. «Будівельні конструкції», вип. 61, т.1. К.: НДІБК, 2004. – С. 362-369.
8. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М.: Высшая школа. – 512 с.
9. Пузыревский Н.П. Теория напряженности землистых грунтов. Сб. тр. Ленинградского института инженеров путей сообщения, вып. ХСІХ, 1929.
10. Шеляпин С.П. Несущая способность грунтов в основании сооружений// «Проект и стандарт», №7, 1937.
11. Яропольский И.В. Основания и фундаменты. Л.: «Водный транспорт», 1954. – 456 с.

РИСУНКИ ДО СТАТТІ ЛУЧКОВСЬКОГО І.Я. "ЩО Ж ТАКЕ "РОЗРАХУНКОВИЙ ОПІР ҐРУНТУ ОСНОВИ"

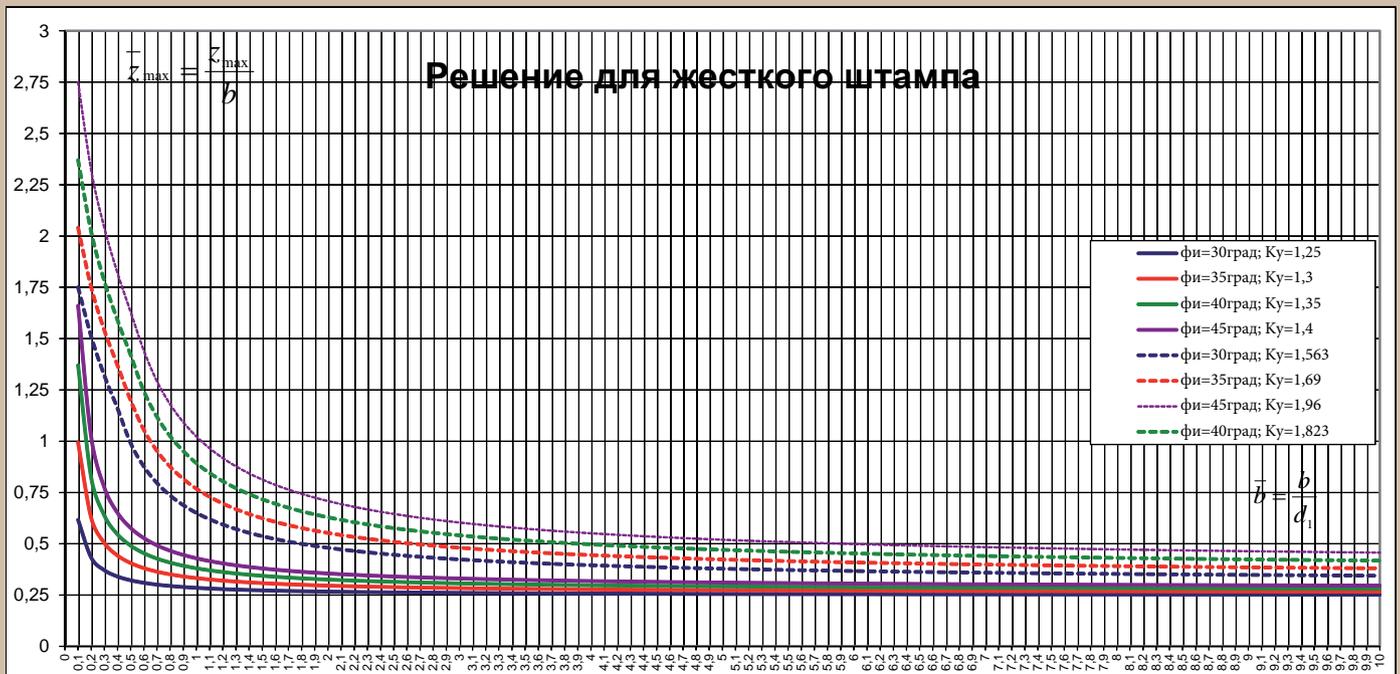
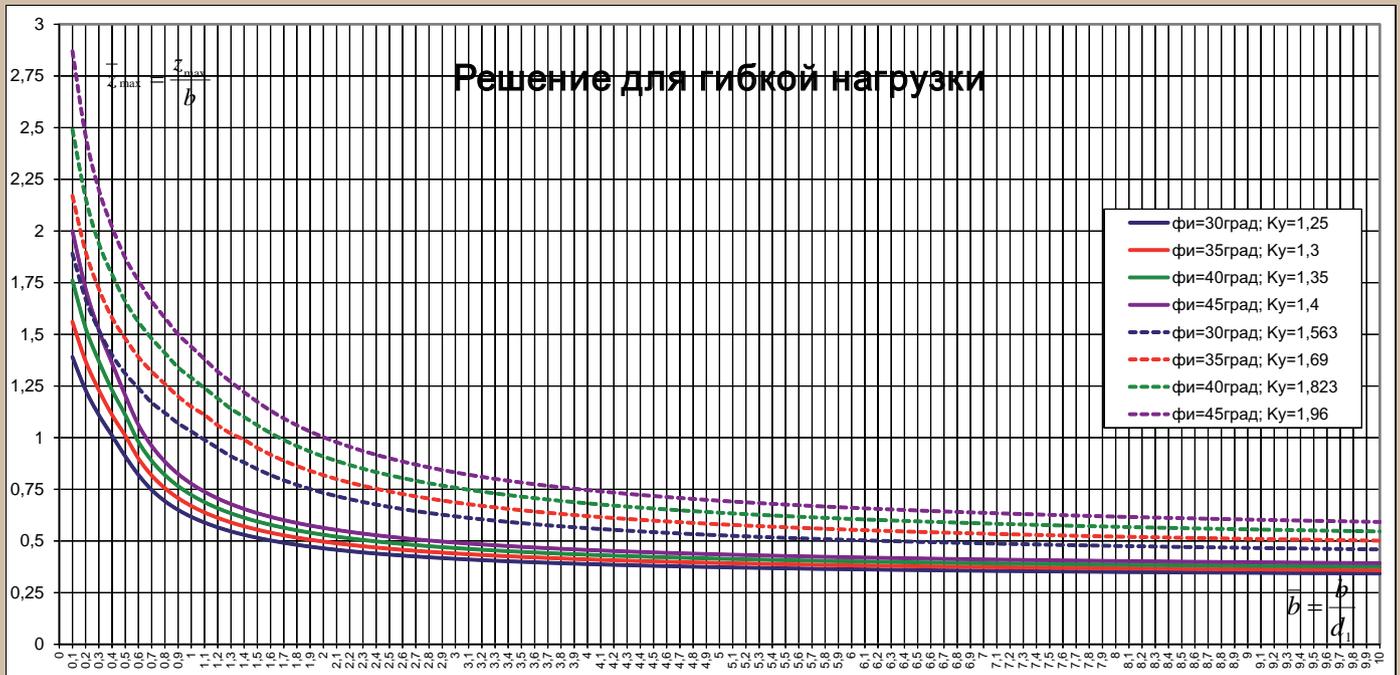
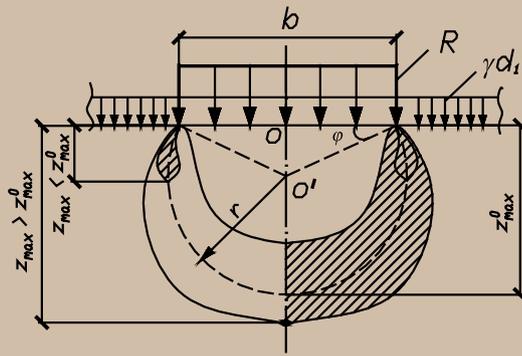


Рис. 3 Фактические глубины z_{max} неустойчивых зон при достижении расчетного сопротивления грунта основания по современным отечественным нормам