

текущего периода реконструкция (с усилением, перепланировкой, модернизацией) упредит возможную в перспективе массовую жилищно-коммунальную катастрофу, связанную с истощением долговечности «пятиэтажек», что явится конкретным проявлением гуманной демографической политики.

1.Снежко О.В., Трушиньш Е.К., Козлов Л.Н. и др. «Фламинго» – новый метод преобразования малоэтажной застройки // Строительство и архитектура. – 1974. – №3. – С.24-25.

2.Реконструкция и модернизация пятиэтажных жилых зданий первых массовых серий типовых проектов // ЦНИИЭП жилища. – М., 1988. – 55 с.

3.Романов С. Что делать с пятиэтажками? // Архитектура и строительство России. – 1990. – №1. – С.13-14.

4.Романенко И.И., Романенко Е.И. Направления реконструкции полносборных пятиэтажных домов массового жилищного строительства // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.25. Сер. Технические науки. – К.: Техніка, 2000. – С.119-124.

Получено 06.02.2010

УДК 624.534 : 624.137.5

И.Я.ЛУЧКОВСКИЙ, д-р техн. наук, А.М.ДАНЬКО

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ ПРИ «УЗКИХ» ПЛОЩАДКАХ НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОСОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Рассмотрен характер изменения активного давления грунта при наличии на засыпке подпорных стен полосовых нагрузок малой ширины.

Розглянуто характер змін активного тиску ґрунту при наявності на засипці підпорних стін полосових навантажень малої ширини.

Character of change of active pressure of a ground is considered at presence on retaining walls of strip loadings of small width.

Ключевые слова: подпорные стены, распределенная нагрузка, сосредоточенная нагрузка, горизонтальное давление грунта, внешние местные нагрузки, сцепление, угол внутреннего трения, призма обрушения, площадки нагружения.

В современной практике расчета давления на длинные подпорные стены существует две независимые методики [1], одна из которых предназначена для учета сосредоточенной местной нагрузки P , а другая – для учета распределенной равномерно по полосе нагрузки q . Это приводит к получению для «узких» полос, рассчитываемых разными методами, не только различных напряжений активного давления σ_a , но и различного положения эпюры σ_a по высоте подпорной стенки,

на что обращено внимание в работе [2].

Там же установлено, что при полосовых распределенных нагрузках q , имеющих конечную ширину b , по высоте стенки образуются четыре зоны распределения горизонтального активного давления σ_a . При этом доказано, что при наличии внешних местных нагрузок принцип суперпозиции давления от веса грунта и от внешней нагрузки не применим.

Так как внешних нагрузок, сосредоточенных в одной точке (линии), не бывает, то любая нагрузка P должна рассматриваться в виде полосы с интенсивностью q . От ширины этой полосы и интенсивности нагрузки q существенно зависит высота верхней зоны распределения σ_a (рис.1).

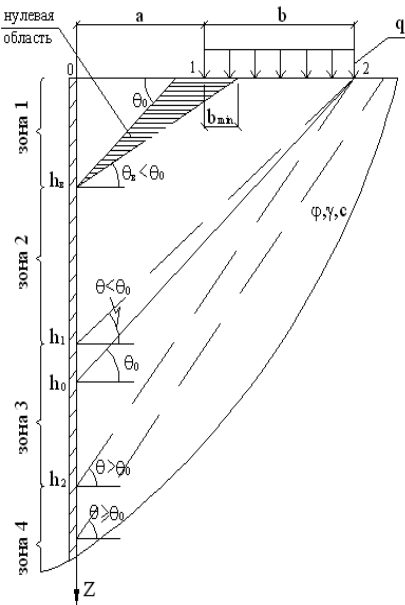


Рис.1 – Четыре зоны распределения активного давления σ_a при наличии полосовой нагрузки q

глубина верхней зоны h_e не зависит от ширины площадки b , однако при некотором значении $b < b_{\min}$, соответствующем образованию так

А. Определение величины

b_{\min}

В работе [2] нами получена приближенная зависимость для определения глубины h_e верхней зоны, которая при отсутствии сцепления имеет вид:

$$\bar{h}_e = tg\varphi + \frac{\sqrt{1 + tg^2\varphi}}{1 + q(1 + tg\varphi)}, \quad (1)$$

где обозначено $\bar{h}_e = h_e / a$;

φ – угол внутреннего трения грунта; \bar{q} – относительная интенсивность полосовой нагрузки, равная

$$\bar{q} = \frac{2q}{\gamma a}; \quad (2)$$

γ – плотность грунта; a – расстояние от стенки до полосовой нагрузки.

Формула (1) показывает, что при «широких» полосах

называемых «узких» площадок нагружения поверхности засыпки, положение точки h_e изменяется.

Для строгого определения ширины полосы b_{\min} воспользуемся полученным в [2] значением невыгоднейшего угла наклона плоскости скольжения во второй зоне, которая при $c = 0$ определяется равенством

$$\operatorname{ctg} \theta = -\operatorname{tg} \varphi + \frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{1 + \frac{1}{k \operatorname{tg} \varphi}}, \quad (3)$$

где

$$k = \bar{h}(1 + \bar{h}/\bar{q}). \quad (4)$$

Учитывая, что во второй зоне равнодействующая горизонтального давления может быть представлена в виде:

$$\bar{E}_2 = F_2(k \operatorname{ctg} \theta - 1), \quad (5)$$

где $\bar{E}_2 = E_2 / qa$; $F_2 = \operatorname{tg}(\theta - \varphi) = \frac{1}{\cos \varphi \sqrt{A}} - \operatorname{tg} \varphi$,

после некоторых преобразований из равенства (5) получим:

$$\bar{E}_2 = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \left(\frac{1}{\sqrt{A}} - \sin \varphi \right) (k \sqrt{A} - k \sin \varphi - \cos \varphi), \quad (6)$$

где

$$A = 1 + \frac{1}{k \operatorname{tg} \varphi}. \quad (7)$$

Для первой зоны равнодействующая давления равна

$$\bar{E}_1 = \frac{\bar{h}^2}{q} \lambda_a,$$

где $\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$.

Выразив \bar{h} через k , получим:

$$\bar{h} = \frac{1}{2} (\sqrt{\bar{q}^2 - 4k\bar{q} - \bar{q}}); \quad (8)$$

$$\bar{E}_1 = (k + \frac{\bar{q}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\bar{q}^2 + 4k\bar{q}}) \lambda_a. \quad (9)$$

Затем, приравнявая значения равнодействующих \bar{E}_1 и \bar{E}_2 при $h = h_e$, получим уравнение относительно неизвестного значения k

$$k + \frac{\bar{q}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\bar{q}^2 + 4k\bar{q}} = \frac{1}{\lambda_a \cos^2 \varphi} \left(\sqrt{\frac{k \operatorname{tg} \varphi}{1 + k \operatorname{tg} \varphi}} - \sin \varphi \right) \times \\ \times \left[k \left(\sqrt{1 + \frac{1}{k \operatorname{tg} \varphi}} - \sin \varphi \right) - \cos \varphi \right]. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) выполняется методом последовательных приближений, после чего определяется значение приведенной высоты \bar{h}_e по формуле (8). На первом этапе итераций величина \bar{h}_e находится по приближенной зависимости (1) и вычисляется значение k_1 по формуле (4).

Значение b_{\min} нетрудно найти из равенства

$$\bar{b}_{\min} = (\bar{h}_e \operatorname{ctg} \theta_e - 1), \quad (11)$$

где $\operatorname{ctg} \theta_e$ определяется по зависимости (3) при значении k , установленном из решения уравнения (10).

На рис.2 приведены графики зависимости \bar{b}_{\min} от \bar{q} при различных углах внутреннего трения φ . Графики получены по разработанной программе (с# «си шарп»).

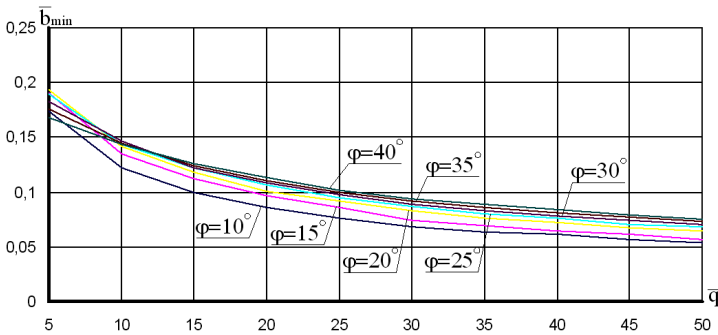


Рис.2 – График зависимости \bar{b}_{\min} от \bar{q} при разных φ

Б. *Определение глубины первой зоны при «узких» полосовых нагрузках $b \leq b_{\min}$*

Здесь следует рассмотреть два случая нагружения поверхности:

- первый случай, когда при $b \leq b_{\min}$ интенсивность q распределенной нагрузки не изменяется ($q = \text{const}$);

- второй случай, когда при $b \leq b_{\min}$ не изменяется равнодействующая Q полосовой нагрузки, т.е. $Q = q_0 b_{\min}$.

Б.1. Первый вариант нагрузки при $q = \text{const}$

В этом случае глубина точки h_e при заданном q зависит от ширины полосы $b < b_{\min}$ и с уменьшением b постепенно увеличивается (рис.3).

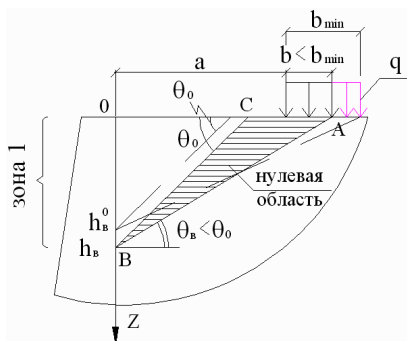


Рис.3 – Расположение плоскостей скольжения при $b \leq b_{\min}$

Положение точки h_e найдем из условия равенства равнодействующих горизонтального давления на этой глубине, определяемых для призмы обрушения OBC и призмы OAB , т.е. с учетом и без учета полосовой нагрузки.

Для призмы обрушения OBC имеем

$$\overline{E}_1 = \frac{\overline{h}^2}{q} \lambda_a - 2 \frac{\overline{c} \overline{h}}{q} \sqrt{\lambda_a}, \quad (12)$$

где $\overline{c} = \frac{2c}{\gamma a}$.

При рассмотрении условий равновесия призмы OAB учитываем дополнительный вес полосы, поэтому суммарный вес равен

$$G = \frac{\gamma h_e}{2} (a + b) + qb.$$

Из условия равновесия нетрудно получить

$$E_2 = \left[\frac{\gamma h_e}{2} (a + b - \frac{2c}{\gamma}) + qb \right] \text{tg}(\theta_e - \varphi) - c(a + b). \quad (13)$$

Учитывая, что $ctg\theta_\varepsilon = \frac{(a+b)}{h_\varepsilon}$, получим

$$tg(\theta_\varepsilon - \varphi) = \frac{h_\varepsilon - tg\varphi(a+b)}{h_\varepsilon tg\varphi + (a+b)}.$$

Подставив это выражение в (13), найдем

$$\bar{E}_2 = \left[\frac{\bar{h}_\varepsilon}{q} (1 + \bar{b} - \bar{c}) + \bar{b} \right] \left[\frac{\bar{h}_\varepsilon - (1 + \bar{b})tg\varphi}{\bar{h}_\varepsilon tg\varphi + (1 + \bar{b})} \right] - \frac{\bar{c}}{q} (1 + \bar{b}). \quad (14)$$

Приравнявая значения равнодействующих \bar{E}_1 и \bar{E}_2 по зависимостям (12) и (14), получим исходное уравнение для определения глубины первой зоны \bar{h}_ε :

$$\begin{aligned} & \bar{h}_\varepsilon^3 \lambda_a tg\varphi + \bar{h}_\varepsilon^2 \left[(1 + \bar{b})\lambda_a - 2ctg\varphi\sqrt{\lambda_a} + \bar{c} - (1 + \bar{b}) \right] - \\ & - \bar{h}_\varepsilon \left[\bar{q}\bar{b} - (1 + \bar{b})(1 + \bar{b} + \bar{c})tg\varphi - \bar{c}(1 + \bar{b})tg\varphi + 2c(1 + \bar{b})\sqrt{\lambda_a} \right] + \\ & + \bar{q}\bar{b}(1 + \bar{b})tg\varphi + \bar{c}(1 + \bar{b})^2 = 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Эту зависимость можно упростить, если учесть, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{1 - \lambda_a}{tg\varphi} &= 2\sqrt{\lambda_a}; \\ 1 - 2\sqrt{\lambda_a}tg\varphi &= \lambda_a. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Сделав эти подстановки, получим из (15) окончательно

$$\begin{aligned} & \bar{h}_\varepsilon^3 \lambda_a tg\varphi + \bar{h}_\varepsilon^2 \left[(1 + \bar{b})(\lambda_a - 1) - \bar{c}\lambda_a \right] + \bar{h}_\varepsilon \left[(1 + \bar{b})tg\varphi - 2c\sqrt{\lambda_a} \right] (1 + \bar{b}) - \\ & - \bar{q}\bar{b} \left[\bar{h}_\varepsilon - (1 + \bar{b})tg\varphi \right] + \bar{c}(1 + \bar{b})^2 = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

При отсутствии сцепления уравнение упрощается

$$\bar{h}_\varepsilon^3 - \bar{h}_\varepsilon^2 (1 + \bar{b}) \frac{(\lambda_n - 1)}{tg\varphi} + \bar{h}_\varepsilon \left[(1 + \bar{b})^2 - \frac{\bar{q}\bar{b}}{tg\varphi} \right] \lambda_n + \bar{q}\bar{b}(1 + \bar{b})\lambda_n = 0, \quad (18)$$

где $\lambda_n = 1/\lambda_a$.

В заключение отметим, что при $b \rightarrow 0$ (рис.4)

$$\bar{h}_\varepsilon \rightarrow h_\varepsilon^{\max} \rightarrow tg\theta_0 = tg(45^\circ + \varphi/2).$$

Б.2. Второй вариант нагрузки при $Q=const$

Представим, что при нагрузке q_0 , отстоящей от стенки на рассто-

янии a , ширина площадки нагружения совпадает с b_{\min}^0 , а суммарная нагрузка на засыпку от этой полосы составляет

$$Q_0 = q_0 b_{\min}^0.$$

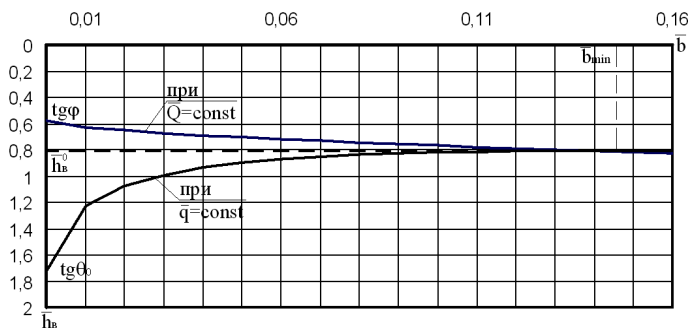


Рис. 4 – Зависимость h_e от ширины полосы b при $q=const$ и при $Q=const$ ($\varphi = 30^\circ$ и $\bar{q}_0 = 10$)

Проанализируем, как влияет изменение ширины площадки $b < b_{\min}^0$ (при сохранении постоянного значения равнодействующей Q) на глубину зоны 1.

Для этого в уравнении (18) заменим величину $\bar{q}b$ на \bar{Q} :

$$\bar{h}_e^3 - \bar{h}_e^2(1 + \bar{b})\frac{(\lambda_n - 1)}{\operatorname{tg} \varphi} + \bar{h}_e \left[(1 + \bar{b})^2 - \frac{\bar{Q}}{\operatorname{tg} \varphi} \right] \lambda_n + (1 + \bar{b})\bar{Q}\lambda_n = 0. \quad (19)$$

Так как при уменьшении ширины полосы b и при $Q=const$ интенсивность распределенной нагрузки q возрастает

$$q = q_0 \frac{b_{\min}^0}{b} = \frac{Q}{b},$$

то, как было показано в [2], глубина \bar{h}_e с уменьшением b будет уменьшаться, что показано на рис.4.

Нужно теперь доказать, что при $Q=const$ с уменьшением ширины нагрузки b интенсивность соответствующей ей распределенной нагрузки q дает значение b_{\min}^q более принятых значений b . Для этого по разработанной нами программе компьютерного расчета построим графики зависимости \bar{b}_{\min} от интенсивности нагрузки \bar{q}_0 .

На рис.5 приведены графики 1 и 2, первый из которых соответствует нагружению поверхности распределенной полосовой нагрузкой постоянной интенсивности $\bar{q} \geq 10$.

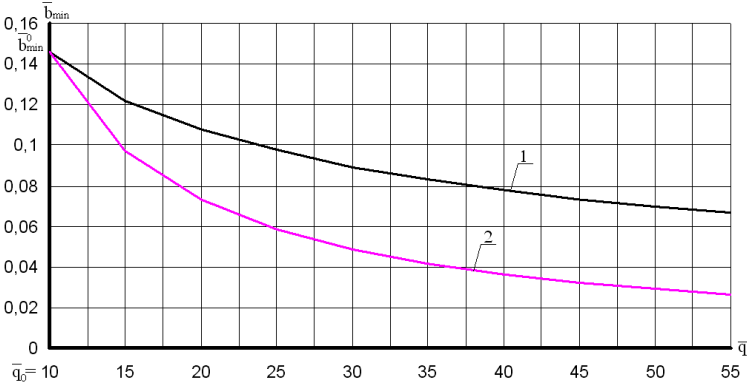


Рис.5 – Графики зависимости \bar{b}_{min} от \bar{q} (при $\varphi = 30^\circ$):

1 – при $\bar{q} = const$; 2 – при $\bar{Q} = \bar{q}_0 \bar{b}_{min}^0 = const = 1,46$ ($\bar{q}_0 = 10$).

При построении графика 2 (рис.5) принято, что при $\bar{q}_0 = 10$ и соответствующей этой нагрузке ширине площадки $b_{min} = 0,146$ на грунт действует полосовая нагрузка, равнодействующая которой равна $\bar{Q} = \bar{q}_0 \bar{b}_{min}^0 = 10 \cdot 0,146 = 1,46$. Уменьшая ширину исходной площадки нагружения, мы получаем возрастающую интенсивность распределенной нагрузки \bar{q} на этой полосе, что отражено на кривой 2. Например, уменьшив площадку вдвое до $b = 0,5 \cdot 0,146 = 0,073$, получим $\bar{q} = 2 \cdot 10 = 20$.

Так как кривая 2 лежит ниже кривой 1, то становится очевидным, что принятая ширина $b = 0,073$ оказывается меньше $b_{min} = 0,108$, соответствующей $\bar{q} = 20$. А это доказывает правомерность считать при $b < b_{min}^0$ распределенную нагрузку сосредоточенной на узкой полосе и использовать для определения глубины зоны 1 зависимость (19) при $\bar{Q} = \bar{q}_0 \bar{b}_{min}^0$.

Далее, на рис.6, покажем распределение по глубине стенки гори-

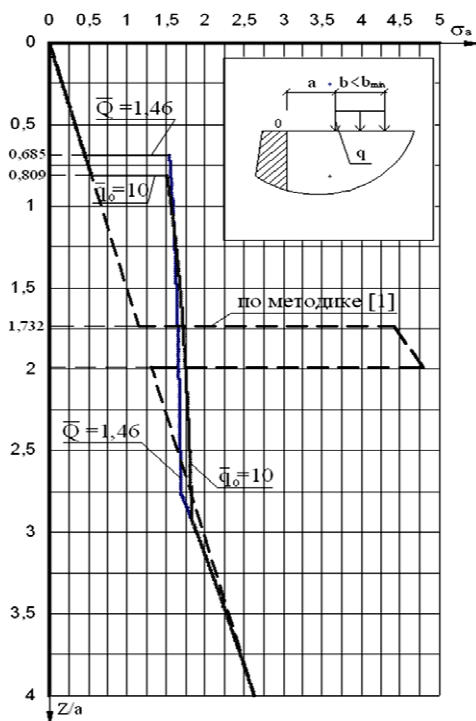


Рис.6 – Эпюры горизонтальных давлений грунта при узких полосовых нагрузках

зонтального давления грунта σ_a в случае узкой площадки нагружения ($\bar{q}_0 = 10$, $b_{\min} \leq 0,146$, $\varphi = 30^\circ$) при представлении полосы распределенной и сосредоточенной нагрузками ($\bar{b} = 0,01; \neq \bar{Q} = 1,46$).

Как видно из полученных результатов, обе схемы, представленные «узкой» нагрузкой, дают практически одинаковые эпюры горизонтальных давлений. Если же использовать существующие практические методы [1], то, как указывалось выше, результаты расчета по этим методам существенно отличаются.

- 1.Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М. Стройиздат, 1977. – 256 с.
- 2.Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием. Библиотека журнала ИТЕ. Т.3. – Харьков: ХГПУ. 2000. – 264 с.

Получено 12.01.2010

УДК 62.543 : 642.012

В.Я.ЖИЛЯКОВ, А.Н.ШАПОВАЛОВ, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «КРУГЛАЯ СВАЯ – РОСТВЕРК» ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Приведен анализ натурных испытаний фундамента на одиночной бурунабивной свае на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок, даны рекомендации по