

АНАЛИЗ РАБОТЫ УГОЛКОВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЕЕ С ГРУНТОМ

Кожушко В. П., Краснов С. Н.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрен вопрос об изменении бокового и реактивного давления грунта на подошве фундамента при наличии временной нагрузки на поверхности засыпки. При расчете подпорной стенки с учетом взаимодействия ее с грунтом и использовании какой-либо модели грунта в верхней части вертикальной стенки происходит отлипание ее от грунта засыпки, в связи с чем увеличивается боковое давление внизу стенки. Анализ результатов расчета показал, что при учете совместной работы стенки и грунта необходимо осторожно и обосновано подходить к назначению модели грунта.

Ключевые слова: уголковая подпорная стенка, совместная работа стенки с грунтом, эпюра бокового давления грунта, эпюра реактивного давления грунта, влияние пригрузки, модель Винклера, модель линейно-деформируемой полуплоскости, изгибающие моменты, поперечные силы.

Введение

Исследования совместной работы уголковых подпорных стенок с грунтом является актуальным направлением в изучении напряженно-деформированного состояния ограждающих сооружений, поскольку это приводит к более экономичным решениям с точки зрения затрат материалов на изготовление стенок.

Анализ публикаций

Впервые теоретически вопрос о боковом давлении грунта на подпорные стенки был решен еще во второй половине XVIII века Ш. Кулоном. После этого на протяжении более двухсот лет были проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования по определению бокового давления на подпорные стенки, однако до сих пор остаются некоторые нерешенные проблемы при определении этого давления. Одной из таких проблем является определение бокового давления грунта на вертикальный элемент гибкой уголковой подпорной стенки и реактивного давления грунта на подошву фундамента с учетом ее жесткости, деформаций и физико-механических характеристик грунта засыпки и основания. Поскольку по вопросу бокового давления грунта на подпорные стенки имеется огромное количество литературных источников, в данной статье рассмотрены только некоторые из них, на наш взгляд, наиболее близко касающиеся рассматриваемой проблемы.

В. К. Цветков [1] приводит серьезные расчеты системы «грунт – подпорная стенка» и

результаты сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях и в натуре.

Однако работа уголковых подпорных стенок им не была исследована. Yuan-Shan Wang [2] вместе с другими авторами приводит сравнительные результаты величин бокового давления с натурными данными, Jun Zhanq [3] предлагает интересные решения по определению активного давления грунтов методом тонкого слоя, Ci Gong [4] применил для выявления бокового давления грунта метод оптимизации, однако им не учтена совместная работа стенки и грунта. Данные о взаимодействии подпорных стенок и грунта (в том числе и уголковых стенок) приведены в работах [5–13]. В некоторых из них [6, 7] учтены деформации, поворот, жесткость массивной стенки вокруг нижней точки, перемещение ее в сторону от грунта и осадка.

В исследованиях при этом использовали модели упругой четверть- и полуплоскости. А. Д. Соколов [8] исследовал взаимодействие подпорных стенок с линейно-деформируемой грунтовой средой, Т. А. Маликова [11] при определении бокового давления грунта на жесткие стены применила модель четвертьплоскости, Танко Галев [12] и И. Кръстилов [13] использовали модель Винклера, Н. Я. Цимбельман [9] при выявлении давления сыпучего тела на уголковые подпорные стенки основывался на известных теоретических предпосылки Ш. Кулона и В. В. Соколовского. В книгах [5, 10] приведены обширные сведения о совместной работе подпорных стенок с грунтом, однако и в

них отсутствуют исследования о влиянии различных моделей грунта на величину его бокового давления и влияния реактивных давлений на подошву фундамента. Интересные исследования по расчету гибких подпорных стенок приведены в работах [14–16], однако при этом учтены деформации только вертикального элемента стенок.

Величина бокового давления на уголко-вые подпорные стенки зависит и от деформации фундамента, что показано в работах [17, 18]. И. А. Симвулиди [17] рассматривает гибкую подпорную стенку как систему, которая полностью взаимодействует с грунтом, т.е. и вертикальная стенка, и фундаментная плита совместно работают с грунтом, однако он применил модель упругой полуплоскости как при расчете вертикального элемента стенки, так и при расчете фундамента, что не совсем корректно. В работе [18] в районе вертикальной стенки применена модель линейно-деформируемой четвертьплоскости, а в районе фундамента – модель линейно-деформируемой полуплоскости, что более обосновано при расчете таких систем, но в то же время не исследован вопрос о влиянии различных моделей грунта на характер эпюр бокового и реактивного давлений и на величину внутренних усилий.

Таким образом, интересным исследованием является анализ результатов теоретических расчетов по определению давлений грунта при применении различных вариантов модели грунта, контактирующего с вертикальной стенкой и фундаментом.

Цель и постановка задачи

В статье поставлена цель проанализировать работу гибкой подпорной стенки для трех случаев ее расчета: при игнорировании совместной работы стенки и грунта, т.е. при использовании методики расчета; при применении модели Винклера, используемой для грунтов, контактирующих как с вертикальной стенкой, так и с фундаментной плитой; при рассмотрении совместной работы вертикальной стенки с грунтом, которая описана моделью Винклера, и совместной работы фундамента с грунтом, что описана в линейно-деформируемой полуплоскости.

Реализация задачи по определению давления грунта и внутренних усилий в элементах стенки

При расчете уголкового подпорной стенки без учета ее совместной работы с грунтом

воспользуемся традиционным способом, т.е. рассмотрим вертикальную стенку с точки зрения строительной механики как консольную балку, длиной h , защемленную в фундаменте (h – высота стенки). Боковое давление грунта на вертикальную стенку определяют по Кулону, т.е. эпюра бокового давления от веса грунта засыпки имеет треугольную форму с ординатой внизу $q_{гр}$, а эпюра давления от пригрузки, расположенной в пределах ширины призмы обрушения $b_{пр}$, – прямоугольную интенсивность $q_{вр}$ (рис. 1).

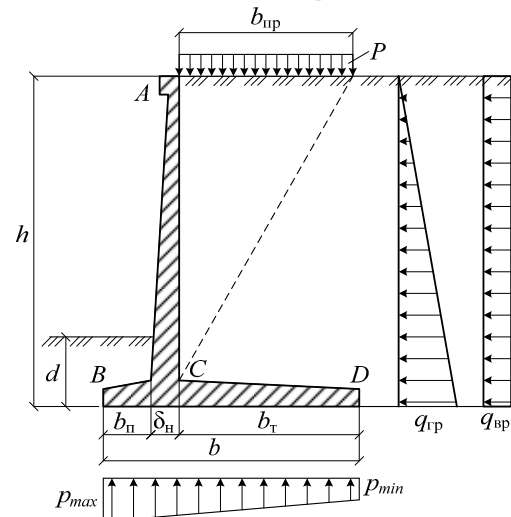


Рис. 1. Схема нагрузок на стенку без учета ее совместной работы с грунтом

Тыльную сторону фундамента рассчитывают как консольную балку с пролетом $(b_t + 0,5\delta_n)$, где b_t – ширина тыльной стороны фундамента (см. рис. 1); δ_n – толщина вертикальной стенки в месте ее примыкания к фундаментной плите. Передний выступ фундаментной плиты в расчетном плане тоже рассматривают как консольную балку с пролетом $(b_p + 0,5\delta_n)$, где b_p – ширина передней стороны фундаментной плиты. Передняя и тыльная консольные балки защемлены в вертикальной стенке, т.е. уголкового подпорная стенка имеет жесткий узел C. Нагрузки, которые воздействуют на фундамент, – это собственный вес подпорной стенки, вес грунта засыпки над тыльной и передней выступами фундамента, вес временной нагрузки, интенсивностью p , расположенной в пределах тыльной стороны фундамента, и реактивное давление грунта, которое имеет форму трапеции с ординатами p_{min} и p_{max} (рис. 1). Расчет ведется на один погонный метр длины подпорной стенки, т.е. внешние нагрузки и внутренние усилия определяются на длине стенки в один метр.

При расчете подпорной стенки с учетом ее совместной работы с грунтом предлагается разрезать стенку и фундамент. Задача решается в рамках плоской деформации, т.е. вертикальная стенка и фундамент рассматриваются как полосы, шириной $b' = 1$ м, на грунтовом основании. При расчете этих полос предлагается применить метод Б. Н. Жемочкина [19], что дает возможность использования разработок источников [20, 21], где приведены таблицы реактивных усилий в стерженьках, углы поворота и осадки фиктивного защемления полосы от единичных внешних нагрузок и пригрузок. Фиктивные защемления полос предусмотрены внизу (в точке C) при расчете вертикальной полосы и на левом конце фундаментной полосы (в точке B , рис. 1).

Вертикальная полоса первоначально рассчитывается под нагрузки, полученные по Кулону (рис. 2), а после определения реактивных и суммарных давлений – как простая консольная балка, нагруженная суммарным боковым давлением и концевыми усилиями Q_c и M_c .

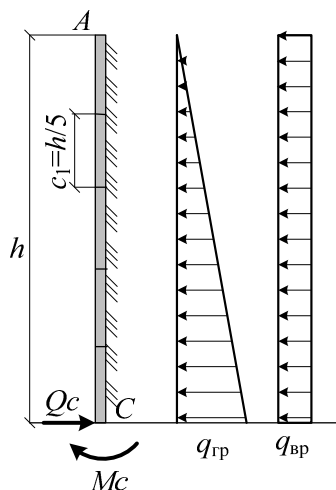


Рис. 2. Схема загрузки вертикальной стенки

При расчете фундаментной полосы учитывается собственный вес в виде распределенной нагрузки, интенсивностью $p_{св}$, распределенной нагрузки над тыльной частью фундамента, интенсивностью $(p_{гр}+p)$ от веса грунта засыпки $p_{гр}$ и нагрузки p , распределенной нагрузки над передней частью фундамента, интенсивностью $p_{гр}'$ от веса грунта над выступающей передней гранью фундамента, сосредоточенной силой $G_{ст}$ от веса вертикальной стенки и моментом M_c (рис. 3).

Б. М. Жемочкин [19] считает достаточным произвести разбивку полосы, лежащей на грунте, на пять участков, что и было учтено при расчете инженерных конструкций на комбинированном основании [20] и на линейно-деформированном слое конечной толщины [21]. При разбивке полос на пять равных по длине участков длина участка составит в пределах вертикальной стенки $c_1 = h/5$ (см. рис. 2), в пределах фундаментной полосы $c_2 = b/5$. Расчет полос ведется при показателе жесткости системы «полоса – грунт», который определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\pi \cdot E_0 \cdot b' \cdot C \cdot (1 - \nu^2)}{6E \cdot I \cdot (1 - \nu_0^2)}, \quad (1)$$

где E_0 – модуль общей деформации грунта; b' – ширина полосы на грунтовом основании, равная 1 м; c – длина участка разбивки полосы (это c_1 при расчетах вертикальной стенки или c_2 при рассмотрении фундаментной полосы); ν – коэффициент Пуассона материала подпорной стенки; ν_0 – коэффициент бокового расширения грунта; $E I$ – изгибная жесткость полосы, шириной $b' = 1$ м.

При применении метода Б. Н. Жемочкина возможно использовать любую модель грунта.

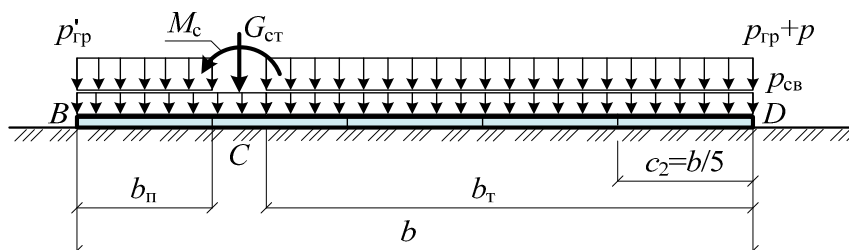


Рис. 3. Схема загрузки фундамента

При использовании модели Винклера для грунтов засыпки и основания воспользуемся работой [21], где приведены таблицы еди-

ничных усилий \bar{Y}_i в стержнях, которые по методу Б. Н. Жемочкина устанавливаются между полосой и грунтом, единичных углов

поворота $\bar{\varphi}_0$ и единичных осадок \bar{y}_0 от внешних нагрузок ($\bar{\varphi}_0$ и \bar{y}_0 – это единичный угол поворота и единичная осадка в точке C , т.е. в точке фиктивного защемления вертикальной стенки, или угол поворота и осадка в точке B , т.е. в точке фиктивного защемления фундаментной полосы).

Во втором случае, как уже упоминалось

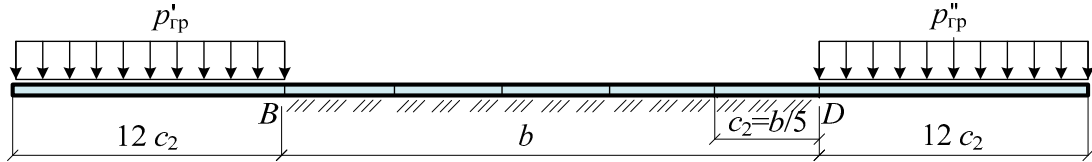


Рис. 4. Схема расположения пригрузок

Единичные усилия в стерженьках, единичные повороты и осадки в точке B от пригрузок приведены в работе [20].

При определении концевых усилий Q_c и M_c (см. рис. 2) введем дополнительные условия:

$$\begin{cases} \varphi_c^{(ст)} = \varphi_c^{(\phi)}; \\ y_c^{(ст)} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $\varphi_c^{(ст)}$ – угол поворота вертикальной полосы в точке ее фиктивного защемления; $\varphi_c^{(\phi)}$ – угол поворота фундаментной полосы в точке C ; $y_c^{(ст)}$ – прогиб вертикальной полосы в точке C .

Угол поворота вертикальной полосы

$$\varphi_c^{(ст)} = \left(\sum A' \bar{\varphi}_{oi}^{ст} + B' \cdot Q_c \cdot \bar{\varphi}_{o1}^{ст} + C' \cdot M_c \cdot \bar{\varphi}_{o2}^{ст} \right) \frac{1 - \nu_0^2}{\pi \cdot E_0}, \quad (3)$$

где $\bar{\varphi}_{oi}^{ст}$ – единичные углы поворота от бокового давления грунта (от $q_{гр}$ и $q_{вр}$, рис.2);

A' – коэффициенты, учитывающие действительную интенсивность бокового давления от собственного веса грунта $q_{гр}$ и временной нагрузки $q_{вр}$; $\bar{\varphi}_{oi}^{ст}$ – единичный угол поворота в точке C от силы $Q_c=1$; B' и C' – коэффициенты, учитывающие истинные значения силы Q_c и M_c .

Чтобы определить значение угла поворота $\varphi_c^{(\phi)}$ в точке C от внешних нагрузок, приведенных на рис. 3, и пригрузок, приведенных

ранее, в районе фундаментной полосы принята модель в виде линейно-деформируемой полуплоскости, что позволило учесть влияние на систему пригрузок от веса грунта слева от фундаментной полосы, интенсивностью $p_{пр}'$, и справа от фундаментной полосы, интенсивностью $p_{гр}''$ (рис. 4). Длина левой и правой пригрузок принята равной $12C_2$.

на рис. 4, следует сначала вычислить значение угла поворота $\varphi_B^{(\phi)}$ в точке B фундаментной полосы:

$$\begin{aligned} \varphi_B^{(\phi)} = & \left(\sum A'' \bar{\varphi}_{oi}^{(\phi)} + \sum D'' \cdot \bar{\varphi}_{0j}^{(\phi)} + \right. \\ & \left. + B'' \cdot Q_c \cdot \varphi_{o1}^{(\phi)} + C'' \cdot M_c \cdot \varphi_{o2}^{(\phi)} \right) \frac{1 - \nu_0^2}{\pi \cdot E_0}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\bar{\varphi}_{oi}^{(\phi)}$ – единичные углы поворота от распределенных нагрузок $p'_{гр}$, $(p_{гр}+p)$ и $p_{св}$ (см. рис. 3); A_i – коэффициент, учитывающий истинные интенсивности распределенных нагрузок $p'_{гр} \neq 1$, $(p_{гр}+p) \neq 1$ и $p_{св} \neq 1$; $\bar{\varphi}_{0j}^{(\phi)}$ – единичные углы поворота от пригрузок $p'_{пр}=1$ и $p''_{пр}=1$; D'' – коэффициент, учитывающий истинные интенсивности $p'_{пр} \neq 1$ и $p''_{пр} \neq 1$; $\varphi_{o1}^{(\phi)}$ – единичный угол поворота точки B от $Q_c=1$; $\varphi_{o2}^{(\phi)}$ – единичный угол поворота точки B фундаментной полосы от единичного момента $M_c=1$; B'' и C'' – коэффициенты, учитывающие истинные значения величин $Q_c \neq 1$ и $M_c \neq 1$.

Зная величину угла поворота $\varphi_B^{(\phi)}$, по методу начальных параметров [22] определяем угол поворота $\varphi_c^{(\phi)}$ фундаментной полосы в точке B :

$$\varphi_c^{(\phi)} = \varphi_B^{(\phi)} + \frac{1 - \nu_0^2}{E \cdot I} \left[\sum q_c \frac{(z-c)^3}{3!} - \sum q_c \frac{(z-d)^3}{3!} \right], \quad (5)$$

где q_c – интенсивность равномерно распределенной нагрузки; z – расстояние от левого

конца фундаментной полосы до точки C ; c и d – расстояния от левого конца фундаментной полосы до начала распределенной нагрузки.

В формуле (5) все буквенные обозначения, кроме $\varphi_B^{(\Phi)}$, оставлены такими, какими они даны в работе [22].

Напомним, что в формулу (5) следует вводить только те нагрузки, которые расположены слева от рассматриваемого сечения (слева от точки C).

Перемещение точки C вертикальной стенки определим по формуле

$$y_c^{(ст)} = \frac{1-\nu_0^2}{\pi \cdot E_0} (\sum A''' \cdot y_{0i}^{-ст} + B''' \cdot Q_c \cdot y_{01}^{-ст} + C''' \cdot M_c \cdot y_{02}^{-ст}), \quad (6)$$

где $y_{0i}^{-ст}$ – единичные перемещения точки C от бокового давления грунта; A''' – коэффициент, учитывающий действительную интенсивность бокового давления; $y_{01}^{-ст}$ – единичное перемещение точки C вертикальной стенки от силы $Q_{ст}$; $y_{02}^{-ст}$ – единичное перемещение точки C от концевого момента M_c ; B''' и C''' – коэффициенты, учитывающие истинное значение величин Q_c и M_c .

Рассмотрим подпорную стенку, размеры которой приведены на рис. 5.

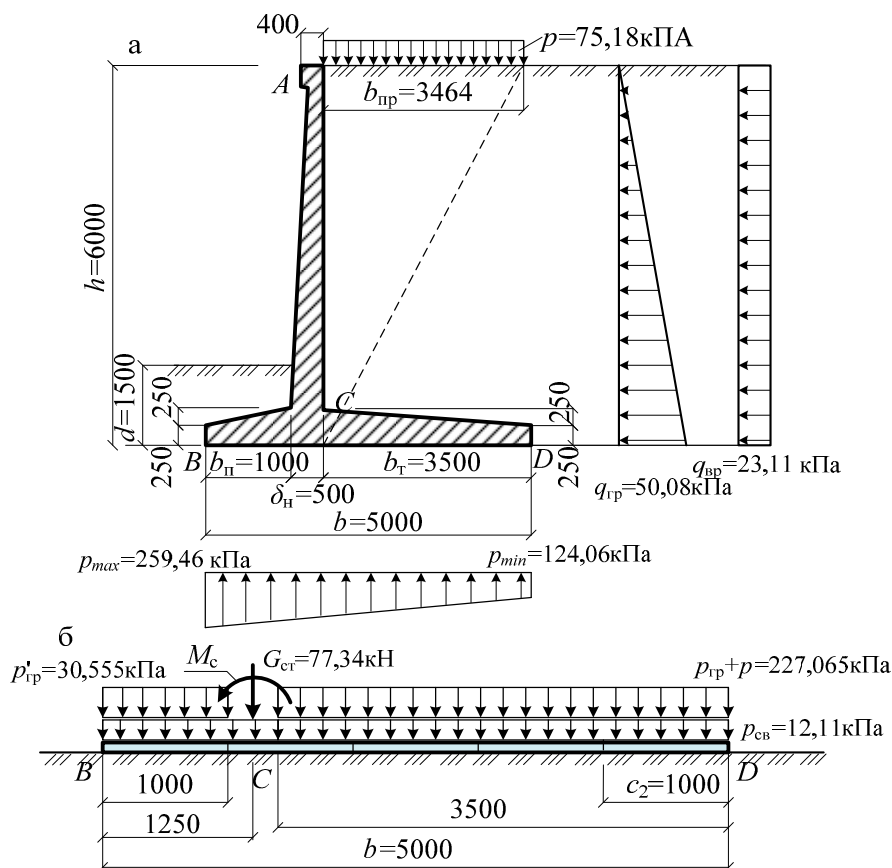


Рис. 5. Нагрузки на подпорную стенку: а – на вертикальную стенку; б – на фундамент

Грунт засыпки и основания – среднезернистый песок, характеристический удельный вес которого $\gamma_n = 19 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi_n = 30^\circ$, модуль общей деформации $E_0 = 39,24 \cdot 10^3 \text{ кПа}$, коэффициент бокового расширения $\nu_0 = 0,30$, модуль упругости бетона стенки класса $B 30 E = 32,5 \cdot 10^6 \text{ кПа}$, ко-

эффициент Пуассона бетона $\nu = 0,2$. Разбивку вертикальной стенки и фундаментной плиты произведем на 5 участков. Тогда длина участка вертикальной стенки $c_1 = 6/5 = 1,2 \text{ м}$, фундамента $c_2 = 5/5 = 1 \text{ м}$. Средняя толщина вертикальной стенки принята равной 45 см, фундаментной плиты – 38,75 см. По формуле

(1) определены показатели гибкости системы «полоса – грунт» Для системы «вертикальная стенка – грунт» $\alpha_1 = 0,120$, для системы «фундамент – грунт» $\alpha_2 = 0,132$. Примем при дальнейших расчетах $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,128$, поскольку при этом показателе в работах [20, 21] приведены значения единичных усилий, углов поворота и осадок от внешних усилий.

В результате расчета подпорной стенки без учета совместной работы с грунтом получены значения бокового давления на стенку, реактивного давления на фундамент величины изгибающего момента внизу стенки $M_c = 716,28$ кНм (см. рис. 5). По этим данным построены эпюры давлений, изгибающих моментов и поперечных сил (см. рис. 6, 7, 8, сплошные линии).

Данные расчета подпорной стенки с учетом ее совместной работы с грунтом приведены в виде эпюр давлений, изгибающих моментов и поперечных сил (см. рис. 6–8). Сплошными линиями на рисунках показаны эпюры, полученные без учета совместной работы стенки с грунтом, пунктирной линией – эпюры при расчете стенки на винклеровском основании, штрих-пунктирными – эпюры при расчете стенки с применением модели Винклера и линейно-деформируемой полуплоскости.

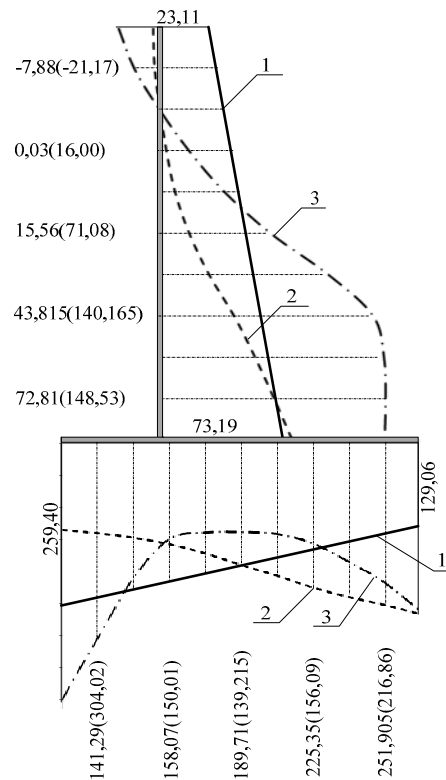
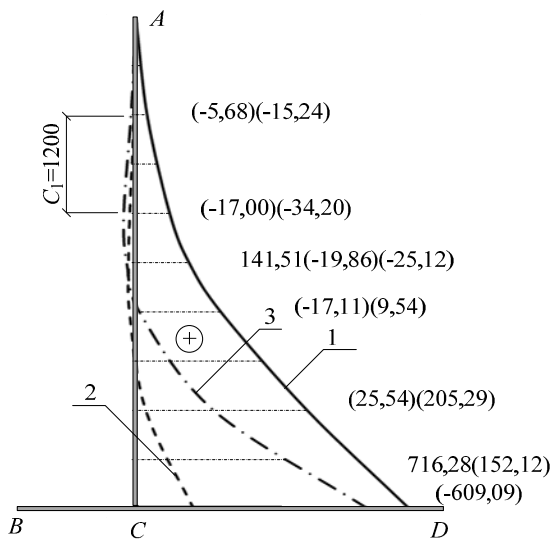


Рис. 6. Эпюры давлений грунта: 1 – без учета совместной работы; 2 – на винклеровском основании; 3 – модели Винклера и полуплоскости

а



б

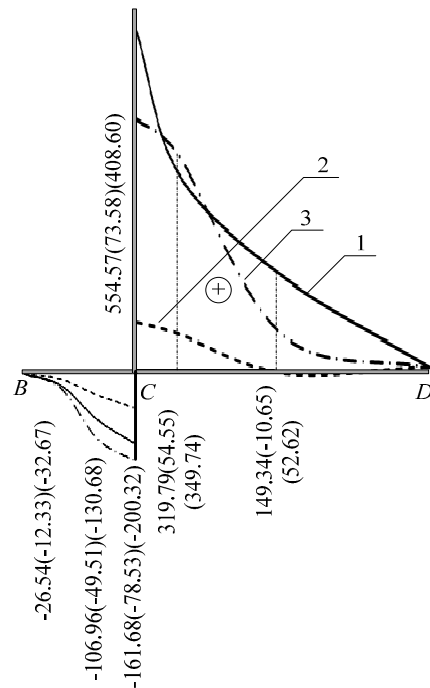


Рис. 7 – Эпюры изгибающих моментов: а – вертикальная стенка; б – фундамент; 1 – без учета совместной работы; 2 – на винклеровском основании; 3 – модели Винклера и полуплоскости

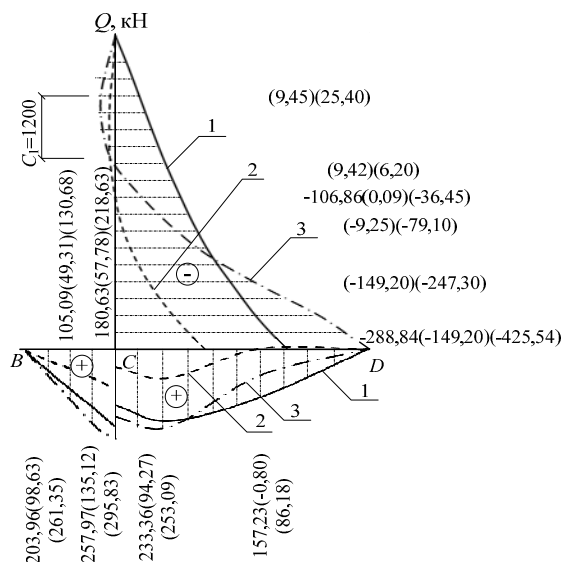


Рис. 8. Эпюры поперечных сил моментов: 1 – без учета совместной работы; 2 – на винклеровском основании; 3 – модели Винклера и полуплоскости

В первых скобках приведены результаты расчета с применением модели Винклера, во вторых – с применением модели Винклера и полуплоскости.

Из анализа эпюр давлений грунта (см. рис. 6) видно, что при учете совместной работы подпорной стенки с грунтом эпюры его давления имеют криволинейную форму.

При применении винклеровской модели для грунтов, расположенных у вертикальной стенки и фундамента (второй вариант решения задачи), кардинально изменяется боковое давление на вертикальную стенку и реактивные давления на фундамент, а это, в свою очередь, вызывает значительное уменьшение внутренних усилий (изгибающих моментов и поперечных сил). При решении задачи с применением модели линейно-деформируемой полуплоскости внутренние усилия уменьшаются не так резко, как при использовании модели Винклера, однако они значительно уменьшаются, по сравнению с теми, что рассчитаны при игнорировании совместной работы подпорной стенки и грунта.

При учете совместной работы подпорной стенки и грунта в верхней части вертикальной стенки происходит отлипание ее от грунта засыпки, в связи с чем увеличивается боковое давление внизу стенки.

Выводы

1. Учет совместной работы подпорной стенки с грунтом должен быть обязательным.

2. При учете совместной работы стенки и грунта следует осторожно и обосновано подходить к выбору модели грунта, поскольку результаты расчетов при использовании разных моделей значительно отличаются.

Литература

1. Цветков В. К. Расчеты системы «грунт – подпорная стенка» на основе анализа их напряженного состояния. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. 2008. № 10. С. 41–46.
2. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top / Yuan-Shan Wang, Zhao-ping Tang, Bin Zheng. Appl. Math and Mech. Engl. Ed. 2004. № 7. P. 761–767.
3. Zhang Jun, Yi-sun Wang. Определение активного давления грунтов на подпорную стенку методом тонкого слоя. Changsha Commun. Univ. 2000. № 16. P. 84–87.
4. Расчет горного давления на жесткую подпорную стенку с учетом ее вращения относительно основания / Ci Gong, Jian-lin Yu, Ri-ging Xu, Gang Wei. J. Zhejiang Univ. End Sci. 2005. № 1. P. 1690–1694.
5. Лучковский И. Я. Взаимодействие конструкций с основанием. Харків: ХДАГХ, 2000. Т. 3. 264 с.
6. Кожушко В. П. Расчет массивной подпорной стенки при повороте ее вокруг нижней точки, перемещений в сторону от грунта и осадке. Науковий вісник буд-ва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007. Вип. 44. С. 236–242.
7. Kozhushko V.P., Zhdanyuk K. V. Features of Rigid Retaining Wall Performance at its Different Displacement. Conferece Environmentally Friendly Roads, Enviroad. Warsaw. 2009. Fair and Congress Centra MT Polska, Marsa STR/ 56, Warsaw, Polska Pavement Design and Construction. P. 1–7.
8. Соколов А. Д. Взаимодействие анкерно-контрфорсных конструкций устоев моста и подпорных стен с линейно-деформируемой грунтовой средой. Научные проблемы мостостроения. Научные тр. НИИ трансп. стр-ва. Москва: НИИ трансп. стр-ва, 2007. Вып. 240.
9. Цимбельман Н. Я., Стеценко А. А. Давление сыпучего тела на уголкового подпорные стенки. Тр. Дальневост. гос. техн. ун-та. Владивосток, 2000. Вып. 126. – С. 132–136.
10. Яковлев П. И., Бибичков А. Г., Бибичков Д. А. Взаимодействие сооружений с грунтом. Москва: Недр, 1997. 464 с.
11. Маликова Т. А. Расчет полосы, нагруженной любой нагрузкой, лежащей на четверти упругой плоскости. Механика грунтов. Москва: Госстройиздат, 1962. Вып. 49. С. 33–59.

12. Ганев Танко. Относно изчисляването подпорни стени. Пътища. 1976. Vol. 15. № 3. С. 17–19.
13. Кръстилов И. Решаване на шпунтова стена по метода на крайните резлики с равни интервали. Строительство. 1986. Vol. 33. № 1. С. 30–33.
14. Раюк В. Ф. Расчет давления грунта на подпорные стенки. Речной транспорт. 1965. № 5. С. 46–49.
15. Раюк В. Ф. Расчет бокового давления грунта на вертикальную грань подпорной стенки с учетом ее деформации и смещения. Гидротехническое строительство. 1968. № 2. С. 35–40.
16. Чернишова К. Й. Результати дослідження розподілу тиску на гнучкі підпирні стінки. Доповіді АН УРСР. Київ: Наукова думка, 1964. Вип. 12. С. 1609–1613.
17. Симвулиди И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: учебн. пособие. Москва: Высш. шк., 1987. 575 с.
18. Кожушко В. П. Расчет гибких подпорных стенок уголкового профиля с учетом совместной их работы с грунтом. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та. Харьков: ХНАДУ, 2007. Вып.39. С. 114–118.
19. Жемочкин Б. Н., Синицин А. П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. Москва: Госстройиздат, 1962. 239 с.
20. Кожушко В. П. Расчет конструкций на комбинированном основании: монография. Харьков: ХАДИ, 1987. 219 с. Деп. во ВНИИИС, 3.04.87, №7823.
21. Кожушко В. П. Расчет инженерных конструкций на линейно-деформируемом слое конечной толщины: учеб. Пособие. Киев: УМК ВО, 1990. 108 с.
22. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова думка, 1975. 704 с.
- Xu, Gang Wei. J. Zhejiang Univ. End Sci. 2005. 39. № 1. P. 1690–1694 (kit.)
5. Luchkovskij I.Ya. Vzaimodejstvie konstrukcij s osnovaniem. Biblioteka zhurnalnogo ITE. Harkiv: HDAGH. 2000. T. 3. 264 s.
6. Kozhushko V. P. Raschet massivnoj podpornoj stenki pri povorote ee vokrug nizhnej tochki, peremeshenij v storonu ot grunta i osadke. Naukovij visnik bud-va. Harkiv: HDTUBA, HOTV ABU, 2007. Vip. 44. S. 236–242.
7. Kozhushko V. P., Zhdanyuk K. V. Features of Rigid Retaining Wall Performance at its Different Displacement. II Intern. Conferece Environmentally Friendly Roads, Enviroad, 2009. Warsaw, October 15–16, 2009. Fair and Congress Centra MT Polska, Marsa STR/ 56, Warsaw, Polska Pavement Design and Construction. P. 1–7.
8. Sokolov A. D. Vzaimodejstvie ankernokontroforsnyh konstrukcij ustoev mosta i podpornyh sten s linejno-deformiruemoj gruntovoj sredoj. Nauchnye problemy mostostroeniya. Nauchnye tr. NII transp. str-va Moskva: NII transpyu str-va, 2007. Vyp. 240.
9. Cimbelman N. Ya., Stecenko A. A. Davlenie sypuchego tela na ugolkovye podpornye stenki. Tr. Dalnevost. gos. tehn. un-ta. Vladivostok, 2000. Vyp. 126. S. 132–136.
10. Yakovlev P. I., Bibichkov A. G., Bibichkov D. A. Vzaimodejstvie sooruzhenij s gruntom. Moskva: Nedra, 1997. 464 s.
11. Malikova T. A. Raschet polosy, nagruzhenoj lyuboj nagruzkoy, lezhashej na chetverti uprugoj ploskosti. Mehanika gruntov. Moskva: Gosstrojizdat, 1962. Vyp. 49. S. 33–59.
12. Ganev Tanko. Otnosno izchislyavoneto podporni steni. Ptisha. 1976. Vol. 15. № 3. S. 17–19.
13. Krstilov I. Reshavane na shpuntova stena po metoda na krajnite rezliki s ravni intervali. Stroitelstvo. 1986. Vol. 33. № 1. S. 30–33.
14. Rayuk V. F. Raschet davleniya grunta na podpornye stenki. Rechnoj transport. 1965. № 5. S. 46–49.
15. Rayuk V. F. Raschet bokovogo davleniya grunta na vertikalnuyu gran podpornoj stenki s uchetom ee deformacii i smesheniya. Gidrotehnicheskoe str-vo. 1968. № 2. S. 35–40.
16. Chernishova K. J. Rezultati doslidzhennya rozpodilu tisku na gnuchki pidpirni stinki. Dopovidi AN URSR. Kiev: Naukova dumka. 1964. Vip. 12. S. 1609–1613.
17. Simvulidi I. A. Raschet inzhenernyh konstrukcij na uprugom osnovanii: uchebn. posobie. Moskva: Vyssh. shk., 1987. 575 s.
18. Kozhushko V. P. Raschet gibkih podpornyh stenok ugolkovogo profilya s uchetom sovместnoj ih raboty s gruntom. Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo un-ta. Harkov: HNADU, 2007. Vyp.39. S. 114–118.
19. Zhemochkin B. N., Sinicyn A. P. Prakticheskie metody rascheta fundamentnyh balok i плит na uprugom osnovanii. Moskva: Gosstrojizdat, 1962. 239 s.

References

1. Cvetkov V. K. Raschety sistemy grunt - podpornaya stenka na osnove analiza ih napryazhennogo sostoyaniya. Vestnik Volgogr. gos. arhit. stroit. un-ta. Seriya: Str-vo i arhit. 2008. № 10. S. 41–46.
2. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top / Yuan-Shan Wang, Zhao-ping Tang, Bin Zheng. Appl. Math and Meeh. Engl. Ed. 2004. № 7. P. 761–767.
3. Zhang Jun, Yi-sun Wang. Opredelenie aktivnogo davleniya gruntov na podpornuyu stenku metodom tonkogo sloya. J. Changsha Commun. Univ. 2000. № 16. P. 84–87 (kim.)
4. Raschet gornogo davleniya na zhestkuyu podpornuyu stenku s uchetom ee vrasheniya otnositelno osnovaniya / Ci Gong, Jian-lin Yu, Ri-ging

20. Kozhushko V. P. Raschet konstrukcij na kombinirovannom osnovanii: monografiya. Harkov: HADI, 1987. 219 s. Dep. vo VNIIS, 3.04.87, №7823.
21. Kozhushko V. P. Raschet inzhenernykh konstrukcij na linejno-deformiruemom sloe konechnoj tolshiny: ucheb. posobie. Kiev: UMK VO, 1990. 108 s.
22. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. Spravochnik po soprotivleniyu materialov. Kiev: Naukova dumka, 1975. 704 s.

Кожушко В. П., докт. техн. наук, профессор, заведуючий кафедрой мостов, конструкций и строительной механики, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина, ko-zhushko_vp@ukr.net
тел. +38 057-707-37-22;

Краснов С. М., к.т.н., доцент кафедры мостов, конструкций и строительной механики, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина, krasnov56@ukr.net,
тел. +38 057-707-37-22.

Analyzing the function of counterfort wall when it interacts with the ground

Abstract. *The issue of changing side pressure of soil and soil reactive pressure on the bottom of the foundation if there is any temporary load on the surface of the backfill is considered. Various soil models are used in the area of the vertical wall and foundation. The studies were conducted for three variants of solution: when the joint action of soil and retaining wall is ignored; when the Winkler model for soils located both near the vertical wall and in foundation base is applied; when the Winkler model is applied for soils near the vertical wall and for linearly deformable half-plane model for soil base. When calculating the counterfort wall using the model linear deformable half-plane the effect of ground loading backfill both over the back of the foundation and over the front face foundation slab were taken into account. It is shown that when applying the Winkler model for the soils located near the vertical wall and the base of the foundation (second solution), the lateral pressure on vertical wall and reactive pressure on the foundation increase, and this, in turn, causes a significant reduction in internal effort (bending moments and shear forces). When solving a problem with using the model of linearly deformable half-planes the internal efforts are not reduced as sharply as when using the Winkler model, however, they are significantly reduced compared to those calculated while ignoring the joint action of the counterfort wall and the soil. When calculating the counterfort wall, taking into account its interaction with the soil and using any soil model it sticks off the backfill soil at the top of the vertical wall, in connection with which the lateral pressure at the bottom of*

the wall increases. The diagrams of lateral and reactive pressures are curved. Analysis of the calculation results showed that taking into account the joint action of walls and soil, the soil models should be carefully and reasonably chosen.

Key words: *counterfort wall, joint action of walls and soil, diagram of lateral pressure of the soil, diagram of reactive soil pressure, loading effect, Winkler model, linear model deformable half-planes, bending moments, transverse forces.*

Kozhushko V.P., Doct. of Science, professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University 61002, Ukraine, Kharkov, Yaroslava Mudrogo st, 25, kozhushko_vp@ukr.net
тел. +38 057-707-37-22

Krasnov S.M. Ph.D., associate professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University 61002, Ukraine, Kharkov, Yaroslava Mudrogo st, 25, krasnov56@ukr.net,
tel. +38 057-707-37-22

Аналіз роботи кутникової підпірної стінки у взаємодії її з ґрунтом

Анотація. *Розглянуто питання про зміну бічного тиску ґрунту й реактивного тиску ґрунту на підшви фундаменту за наявності тимчасового навантаження на поверхні засипки. У цьому випадку використано різні моделі ґрунту в районі вертикальної стінки і фундаменту. Дослідження проведено для трьох варіантів: у випадку ігнорування спільної роботи ґрунту і підпірної стінки; у випадку застосування моделі Вінклера для ґрунтів, розташованих як біля вертикальної стінки, так і в основі фундаменту; у випадку використання моделі Вінклера для ґрунтів біля вертикальної стінки й моделі лінійно-деформованої півплощини для ґрунтів основи. Під час вирахування підпірної стінки з застосуванням моделі лінійно-деформованої півплощини враховано вплив привантаження від ґрунту засипки як над тильною частиною фундаменту, так і над передньою межею фундаментної плити. Визначено, що в разі застосування вінклерівської моделі для ґрунтів, розташованих біля вертикальній стінки й основи фундаменту (другий варіант вирішення), кардинально змінюються бічний тиск на вертикальну стінку і реактивний тиск на фундамент, а це призводить до значного зменшення внутрішніх зусиль (згинальних моментів і поперечних сил). Під час вирішення завдань із застосуванням моделі лінійно-деформованої півплощини внутрішні зусилля зменшуються не так різко, як разі використання моделі Вінклера, але вони значно зменшуються на відміну від тих, що були розраховані у випадку ігнорування спільної роботи підпірної стінки і ґрунту. Під час вирахування підпірної стінки з урахуванням взаємодії її з ґрунтом і використання будь-якої моделі ґрунту біля верх-*

ньої частини вертикальної стінки відбувається видліпання її від ґрунту засипки, у зв'язку з чим збільшується бічний тиск унизу стінки. Епюри бічного й реактивного тиску криволінійні.

Аналіз результатів обчислення продемонстрував, що, враховуючи спільну роботу стінки й ґрунту, необхідно обережно й обґрунтовано вибирати тип визначення моделі ґрунту.

Ключові слова: кутикова підпірна стінка, сумісна робота стінки з ґрунтом, епюра бічного тиску ґрунту, епюра реактивного тиску ґрунту, вплив привантаження, модель Вінклера, модель лінійно-деформованої півплощини, згинальні моменти, поперечні сили.

Кожушко В.П., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна, kozhusko_vp@ukr.net тел. +38 057-707-37-22;

Краснов С.М., к.т.н., доцент кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна, krasnov56@ukr.net, тел. +38 057-707-37-22.
