

УДК 624.131.7

А. Н. Богомолов^а, О. А. Богомолова^б, С. А. Богомолов^в

^а *ОАО «НПЭК ОиФ»*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

^в *Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева*

СПОСОБ ОТЫСКАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНА

Предложен метод определения горизонтального давления на ограждающие конструкции котлована. Он основан на результатах анализа напряженного состояния удерживаемого грунтового массива, при его реализации не принимается гипотеза о плоских поверхностях скольжения, а положение и форма следа поверхности скольжения определяются по напряжениям с учетом физико-механических свойств грунтов, включая коэффициент бокового давления грунта. Метод может быть использован как для несвязных, так и для связных грунтов, при однородном или слоистом строении удерживаемого грунтового массива, как при наличии на поверхности грунта любых нагрузок, так и без нагрузок. Установлена конгруэнтность эпюр бокового давления, полученных сторонними авторами при теоретических и экспериментальных исследованиях, соответствующим эпюрам, построенным авторами статьи для соответствующего примера, причем равнодействующие эпюр в последнем случае всегда меньше.

Ключевые слова: удерживающая конструкция, эпюра бокового давления, напряженное состояние удерживаемого массива.

Введение

Современное строительство невозможно без устройства котлованов для проведения работ нулевого цикла. Для обеспечения безопасного проведения этих работ необходимо обеспечивать устойчивость бортов строительных котлованов [1], что осуществляется путем сооружения различного рода ограждающих конструкций (рис. 1).

Расчет таких конструкций невозможен без предварительного определения силы бокового (оползневого) давления, величина которой определяются площадью эпюры бокового давления, а точка ее приложения — координатами центра тяжести этой эпюры. Следовательно, задача разработки и совершенствования методов расчета сил бокового давления является актуальной. Актуальность этой задачи подтверждается и периодически происходящими разрушениями ограждающих конструкций (рис. 2), которые могут происходить как из-за нарушений технологии их устройства, так и из-за несовершенства расчетных методов [1].

В работе [2] предложен метод определения величины бокового (горизонтального) давления на элементы крепления котлована и вертикального элемента противоположной удерживающей конструкции. Этот метод получил развитие, подробно изложен в работах [3, 4] и в настоящее время успешно используется авторами настоящей статьи при решении прикладных задач. Алгоритм вычисления сил бокового давления приводится ниже.

Составляется расчетная схема метода конечных элементов (МКЭ) рассматриваемого объекта, определяется напряженное состояние приоткосной области.



Рис. 1. Ограждающая конструкция глубокого котлована:
a — с центральной вертикальной распоркой, в аэропорту Франкфурта; *б* — закрепление борта глубокого котлована наклонными буронабивными сваями (Zublin AG) [1]



Рис. 2. Разрушение ограждающей конструкции котлована, выполненной методом Top-Down: *a* — при строительстве кольцевой дороги в Сингапуре; *б* — жилого здания в Дубаи [1]

Проводится построение наиболее вероятной линии скольжения (точнее говоря «следа» поверхности скольжения), отвечающей реальным физико-механическим свойствам грунта (C , φ , γ , ξ_0), геометрическим размерам исследуемого объекта, параметрам внешней нагрузки, и вычисляется соответствующее значение коэффициента запаса устойчивости K_3^{\min} .

Вертикальная образующая откоса разбивается по высоте на несколько (например на 4, как в настоящей работе) равных отрезков, из нижних точек которых проводится построение так называемых «внутренних» (расположенных внутри призмы возможного обрушения) восходящих локальных линий скольжения, вдоль каждой из которых строятся эпюры удерживающих и сдвигающих сил, отношение площадей которых определяют значения коэффициентов запаса устойчивости $K_i^{\text{лок}}$.

Учитывая, что устройство ограждений бортов строительных котлованов производится в предположении о том, что его вертикальный откос может потерять устойчивость ($K_3^{\min} = 1$), то для каждой локальной восходящей линии скольжения определяем значение добавочной удерживающей силы, которое обеспечивают выполнение условий $K_i^{\text{лок}} = 1$. Эта добавочная сила в каждом случае равна разности:

$$\Delta F_{\text{удер}}^{\text{лок}} = F_{\text{сдв}}^{\text{лок}} - F_{\text{удер}}^{\text{лок}}$$

Если из каких-либо соображений необходимо, чтобы коэффициент K_3^{\min} был больше 1, например, $K_3^{\min} = 1,2$, то величина $\Delta F_{\text{удер}}^{\text{лок}}$ увеличивается в K_3^{\min} раз. Условие равенства величин $K_i^{\text{лок}}$ для всех построенных восходящих локальных линий скольжения обеспечивает целостность призмы сползания грунта, как это и наблюдается в экспериментах, поставленных И. Я. Лучковским, Д. А. Чепурным [5] и З. В. Цигарели [6] (рис. 3).

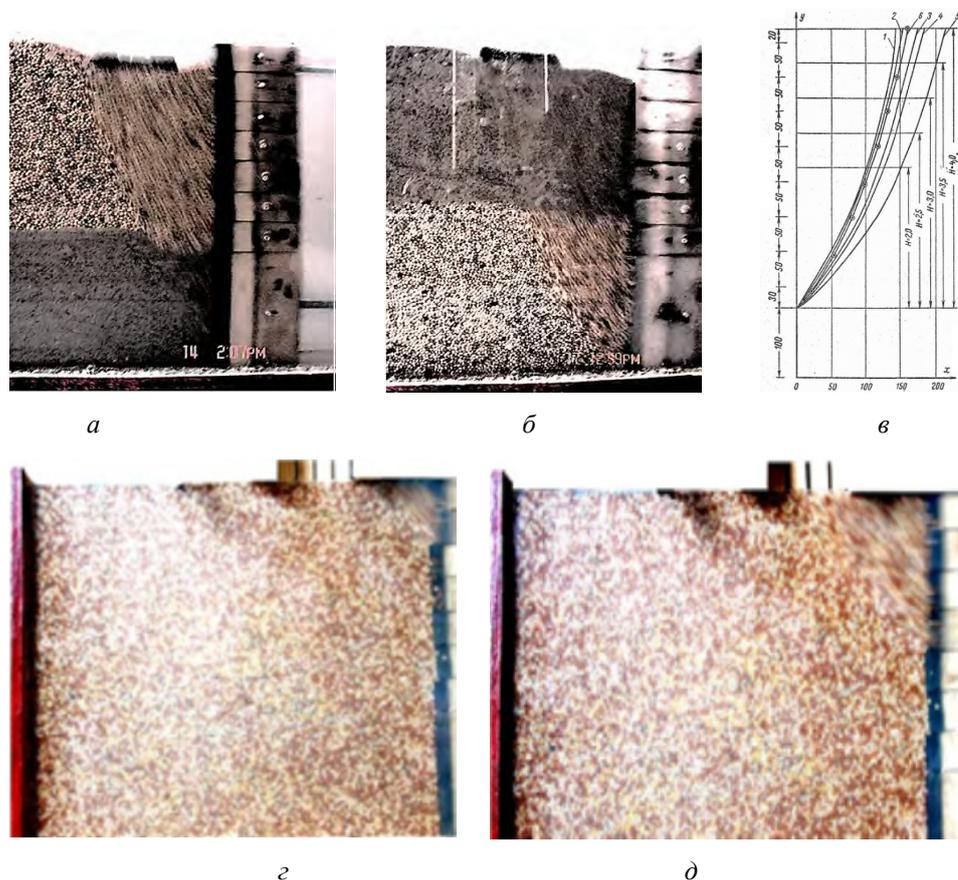


Рис. 3. Поверхности скольжения в двухслойной засыпке:
а — просо-песок, б — песок-просо с полосовой нагрузкой на поверхности и без таковой [5];
в — при горизонтальном смещении подпорной стенки [6];
г, д — в однородной засыпке при наличии внешней нагрузки [7]

Вдоль вертикальной оси удерживающего элемента строится эпюра горизонтальных составляющих $\Delta F_{\text{удер}}^{\text{лок}}$, которые определяются как

$$\Delta F_{\text{удер гор}}^{\text{лок}} = \Delta F_{\text{удер}}^{\text{лок}} \cos \alpha_i,$$

где α_i — угол наклона локальной линии скольжения к горизонту в точке ее пересечения с вертикальной образующей засыпки. Это и будет эпюра оползневого давления.

Вертикальная составляющая

$$\Delta F_{\text{удер верт}}^{\text{лок}} = \Delta F_{\text{удер}}^{\text{лок}} \sin \alpha_i$$

будет действовать вниз по поверхности ограждающей конструкции и может оказывать влияние на осадки удерживающей конструкции.

Анонсируемый метод расчета величины бокового давления грунта может использоваться как для абсолютно жестких, так и для ограждающих конструкций конечной жесткости. Основой для построения линий скольжения являются результаты анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) подкрепляемого грунтового массива (не используется гипотеза о плоских поверхностях скольжения) [8], метод применим для сыпучих и связных грунтов, а при анализе НДС учитываются природные значения физико-механических свойств грунта (включая коэффициент бокового давления грунта ξ_0) и материалов ограждающих конструкций.

Сопоставление результатов расчетов величины бокового давления, выполненных различными способами

Во всех рассмотренных примерах сохранены обозначения физических величин, принятые в цитируемых ниже работах.

Методика СП 22.13330.2011

Рассмотрим гравитационную подпорную стенку, изображенную на рис. 4, а. Расчет сил бокового давления выполнен согласно методике, изложенной в п.п. 9.17...9.23 СП 22.13330.2011¹. Грунты, прилегающие к подпорной конструкции, считаем условно однородными с характеристиками, указанными в исходных данных. Грунтовые воды отсутствуют. Вертикальная составляющая усилий не учитывается.

Исходные данные для расчета: высота подпорной стенки $h = 3$ м; коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_{fq} = 1,20$; интенсивность вертикальной равномерно распределенной по поверхности засыпки нагрузки $q = 1$ т/м²; коэффициент надежности по нагрузке для давления от собственного веса грунта $\gamma_{fq} = 1,15$; удельный вес грунта $\gamma = 1,9$ т/м³; сцепление $c = 0$ т/м²; угол внутреннего трения $\varphi = 25^\circ$; угол трения по материалу конструкции $\delta = 0^\circ$; угол отклонения внутренней поверхности ограждающей конструкции от вертикали $\theta = 0^\circ$; угол наклона поверхности засыпки к горизонту $\beta = 0^\circ$. Величина коэффициента бокового давления вычислена по формуле В. А. Флорина [9, 10]:

$$\xi_0 = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,406.$$

¹ СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. М.: Минрегионразвития РФ, 2011. 155 с.

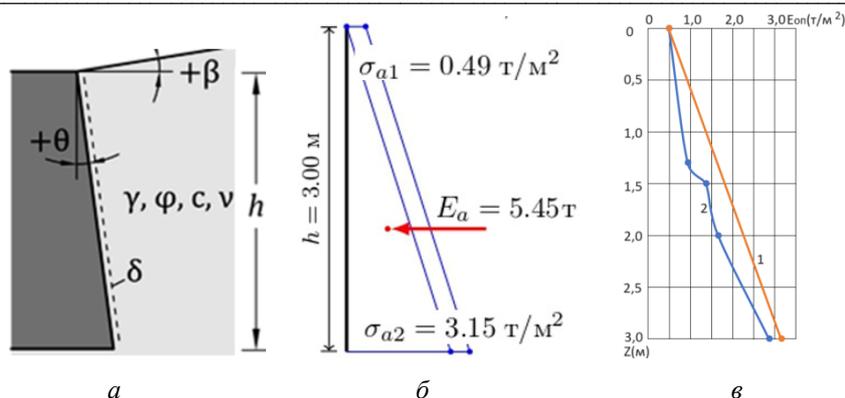


Рис. 4. Гравитационная подпорная стенка: *a* — расчетная схема; *б* — эпюра бокового давления, построенная по методике²; *в* — наложение расчетных эпюр горизонтального давления, построенных по методикам³ [2]

На рисунке 4 представлены расчетная схема подпорной стенки и эпюры бокового давления, построенные по методике, изложенной в СП 22.13330.2011, с использованием метода, предложенного авторами [2—4], который основан на анализе НДС грунтового массива. Все вычисления и графические построения, связанные с использованием этого метода, проводятся при помощи компьютерной программы [11].

Анализируя результаты вычислений, графическая интерпретация части которых представлена на рис. 4, *в*, можно сказать, что ординаты эпюр бокового давления в верхней, средней и нижней точках отличаются на 0; 44 и 9 %, причем значения, посчитанные по методике СП, больше. Равнодействующая сил оползневое давления, определенная согласно СП, равна $E_a^{СП} = 5,45 \text{ т}$, а вычисленная на основе наших предложения — $E_a = 4,08 \text{ т}$, т. е. на 25,1 % меньше.

Опыты З. В. Цигарели

В работе [6] приведены результаты серии опытов по определению давления сыпучей среды на стены с вертикальной задней гранью при горизонтальной поверхности засыпки. Эксперименты проведены в крупноразмерных установках высотой $h = 4 \text{ м}$ и размерами в плане $1,2 \times 5$ и $3,6 \times 3 \text{ м}$. Засыпкой служит морской песок с зернами крупности $0,1 \dots 2 \text{ мм}$, удельным сцеплением $c = 0$ и углом внутреннего трения $\varphi = 37^\circ$ [6], что определяет величину коэффициента бокового давления равной $\xi_0 = 0,37$.

Проведено сравнение формы и размеров следов поверхностей скольжения, полученных экспериментально и при помощи компьютерной программы [11]. На рисунке 5, *в* приведены следы поверхностей скольжения, построенных по результатам экспериментов [6], а на рис. 5, *а*, *б* в качестве примеров — следы поверхностей скольжения, построенные при помощи компьютерной программы [11] при величинах коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,37$ и $\xi_0 = 0,75$.

² СП 22.13330.2011.

³ Там же.

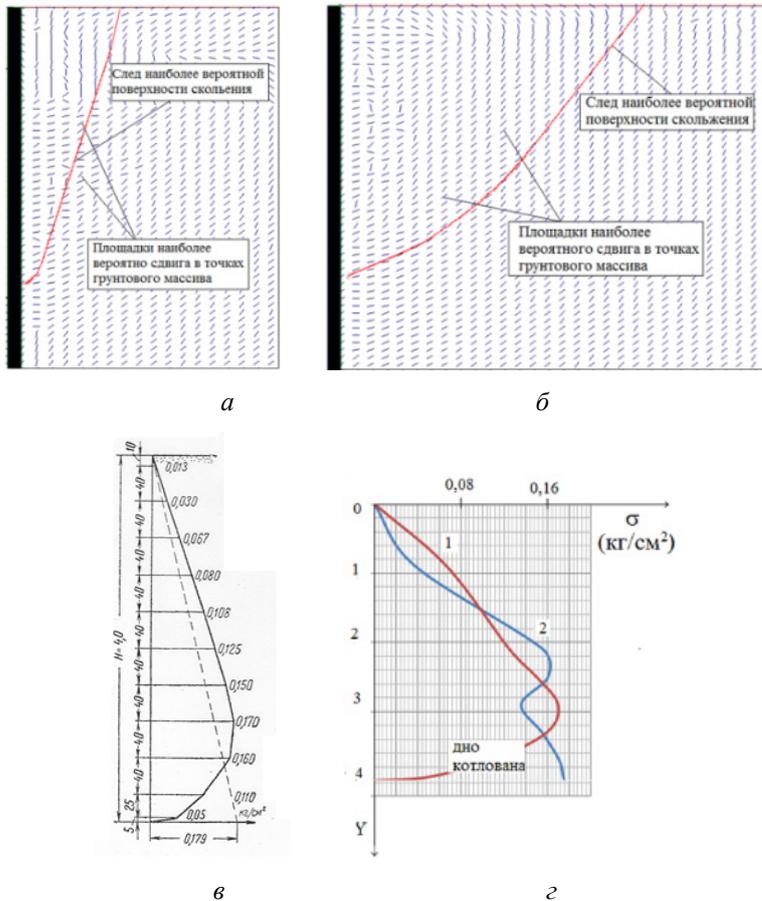


Рис. 5. Следы наиболее вероятных поверхностей скольжения:
 а — $\xi_0 = 0,37$; б — $\xi_0 = 0,75$, построенных при помощи компьютерной программы [11];
 в — эпюра бокового давления грунта на модель подпорной стенки по данным [6]:
 з — сплайн-аппроксимация: 1 — эпюры в; 2 — эпюры бокового давления,
 построенной при помощи компьютерной программы [11]

Сравнивая приведенные на рис. 5, в и 5, а, б изображения следов НВПС, делаем вывод, что они практически совпадают при $\xi_0 = 0,37$.

Установлено, что площади эпюр горизонтального давления, приведенных на рис. 5, з, отличаются всего на 16,78 %, а вертикальные координаты их центров тяжести (точек приложения равнодействующих бокового давления), отличаются примерно на 4 %.

Экспериментальные данные В. Ф. Раюка

Эксперименты проведены (НИИОСП, 1957) в лотке с сухим песком средней крупности, $\varphi = 36^\circ$, $c = 0$, $\gamma = 1,7 \text{ т/м}^3$ (рис. 6). Данные о величине коэффициента бокового давления засыпки отсутствуют, однако, на основе рисунка, приведенного в работе [12], можно утверждать, что автором этой работы принято значение $\xi_0 = 0,4$ (рис. 7, а).

В качестве модели подпорной стенки использована плексигласовая пластинка толщиной 6 мм, защемленная по трем сторонам и опертая по верхнему краю. Ее жесткость, определенная опытным путем, равна $D = 530 \text{ кгсм}$ [12].

На рисунке 6 показаны этапы построения локальных восходящих поверхностей скольжения и эпюр удерживающих и сдвигающих сил в теле засыпки. После определения величин последних и учитывая, что величина глобального коэффициента запаса устойчивости $K = 0,67$ и предельному состоянию соответствует значение $K = 1$, строим эпюру горизонтальных составляющих сил бокового давления, которая показана на рис. 6 красным цветом.

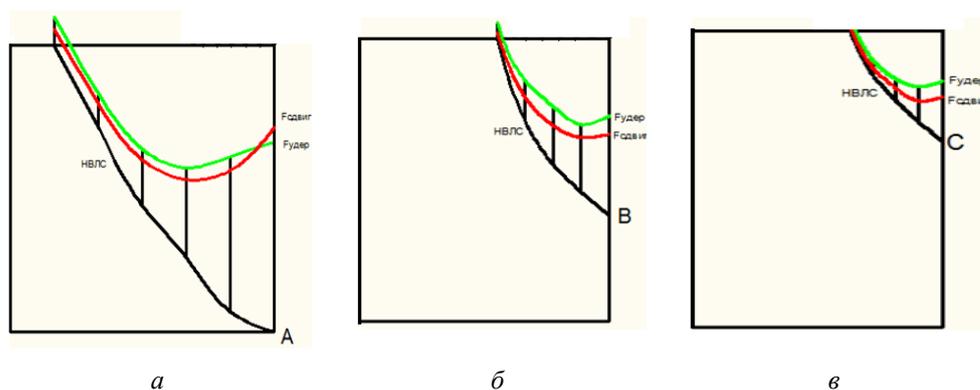


Рис. 6. Эпюры удерживающих и сдвигающих сил, построенные на следах наиболее вероятных локальных восходящих поверхностей скольжения, исходящих из точек: а — А; б — В; в — С

Продолжая следовать изложенному выше алгоритму, строим эпюры бокового давления.

На рисунке 7, а приведены эпюры бокового давления, полученные на основе эксперимента (1), методом Кулона (2), и эпюра горизонтальных напряжений σ_x , как эквивалент эпюры бокового давления, при $\xi_0 = 0,4$ (3).

На рисунках 7, б и 7, в приведены эпюры бокового давления, полученные экспериментальным путем (2) и предлагаем методом (1), а на рис. 7, г — наложение этих эпюр.

Сопоставление численных значений ординат соответствующих точек этих эпюр показывает, что их значения отличаются друг от друга примерно на 20...22 %. При этом сами формы эпюр бокового давления засыпки, полученной экспериментально [12] и на основе предлагаемого подхода, конгруэнтны.

Равнодействующие эпюр горизонтального давления численно равны соответствующим площадям: $P_{\text{Раюк}} = 0,75$ кг и $P_{\text{расч}} = 0,57$ кг, т. е. отличаются по величине на 24 %, причем значение, полученное В. Ф. Раюком, больше.

В результате дополнительных вычислений установлено, если при проведении вычислений при помощи компьютерной программы [5] численное значение коэффициента бокового давления принять равным $\xi_0 = 0,32$, то получим эпюру бокового давления, практически полностью совпадающую с полученной В. Ф. Раюком в результате проведения эксперимента.

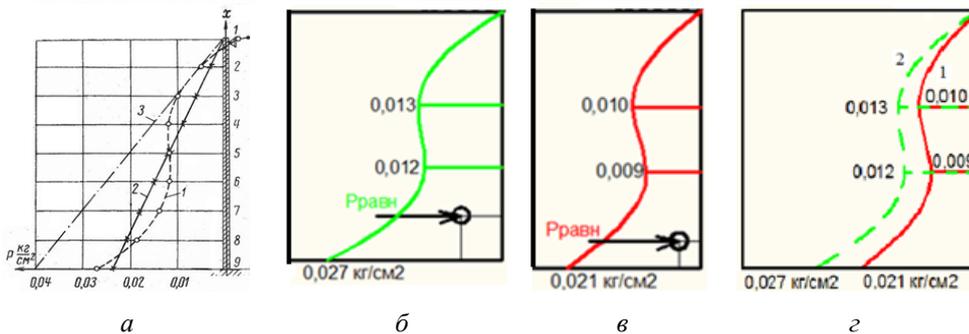


Рис. 7. Эпюры бокового давления: полученные: *a* — в результате эксперимента (1), расчетная по Кулону (2), как эквивалент эпюры горизонтальных напряжений при $\xi_0 = 0,4$ (3); *б* — экспериментальная эпюра бокового давления; *в* — полученная авторами; *г* — наложение эпюр бокового давления, полученных экспериментальным путем (2) и предлагаемым методом (1)

Экспериментально-теоретические данные И. Я. Лучковского [5, 7, 13, 14]

В работе [5] приведено приближенное аналитическое решение задачи о вычислении величины бокового давления грунта на подпорные стены при наличии на горизонтальной поверхности грунтового массива равномерно распределенной нагрузки различной ширины и интенсивности. Теоретические построения автора основаны на положениях о том, что:

- внешняя нагрузка ведет к образованию нескольких зон в грунтовом массиве, где распределение горизонтальных нормальных напряжений происходит по-разному;
- горизонтальное давление следует определять при одновременном учете собственного веса, удельного сцепления, угла внутреннего трения и самой внешней нагрузки;
- поверхности скольжения представляют собой плоскости.

В работе [13] рассмотрен пример построения эпюры горизонтального давления грунта на ограждающую конструкции при следующих условиях: $a = 2$ м; $b = 4$ м; $H = 20$ м; $\gamma = 15$ кН/м³; $C = 15$ кПа; $\varphi = 26,5^\circ$; $\text{tg}\varphi = 0,5$; $q = 50$ кПа, все геометрические размеры приведены на рис. 8, цитируемом по [12].

На рисунке 8, *б* приведены эпюры бокового давления, построенные автором работы [13] различными методами, эпюра давления, соответствующая методу И. Я. Лучковского, выделена цветом.

Проведем сопоставление величины бокового давления, полученного автором работы, и вычисленного по предлагаемой методике для условий рассматриваемого примера.

Если выполнить расчеты величины оползневого давления предлагаемым методом [2], то получим эпюру бокового давления, приведенную на рис. 9, *а*. Сравнивая ее с эпюрой, приведенной в работе [13] (рис. 9, *б*) видим, что соответствующие ординаты этих эпюр отличаются друг от друга не более, чем на 10 %. Численные значения их равнодействующих отличаются друг от друга приблизительно на 8 % и равны соответственно $P_{\text{Лук}} = 987,83$ кН/м и $P_{\text{расч}} = 909,1$ кН/м.

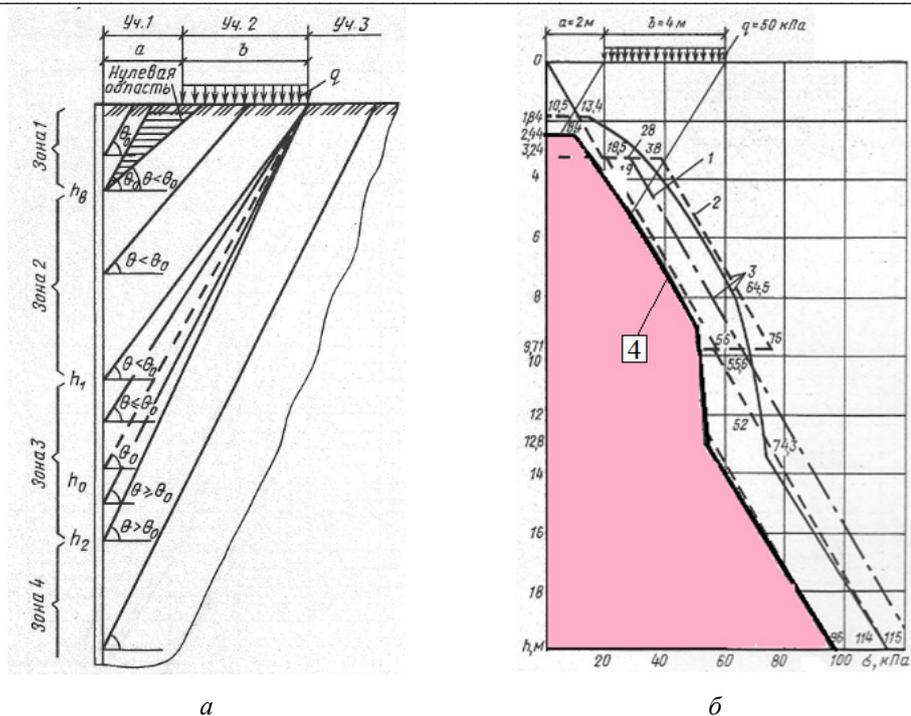


Рис. 8. Схема: *а* — расположения наиболее невыгодных (наиболее вероятных) плоскостей скольжения в грунтовой засыпке при наличии местной нагрузки на поверхности; *б* — распределения давления грунта на ограждающую конструкцию при широкой площадке загрузки местной нагрузкой: 1 — по СП 43.13330.2012⁴; 2 — по Г. К. Клейну [14]; 3 — без учета удельного сцепления; 4 — по методу И. Я. Лучковского [13, 15] (цитируется по работе [14])

На рисунке 9, *в* приведена графическая зависимость вида $P = f(\xi_0)$ для условий рассматриваемого примера. Из графика видно, что величина бокового давления, полученная методом [13], может быть получена на основании метода [2], если при использовании компьютерной программы [11] численное значение коэффициента бокового давления будет принято равным $\xi_0 = 0,6$.

Рассмотрим еще один пример, приведенный в той же работе И. Я. Лучковского. Требуется определить распределение горизонтального давления на ограждающую конструкцию котлована при условии, что $H = 20$ м; $\gamma = 15$ кН/м³; $c = 0$; $\varphi = 30^\circ$; $\bar{q} = 10$; $\bar{b} = 0,5$ (все геометрические параметры приведены на рис. 10, *а*).

Используя предлагаемый метод построения эпюры бокового давления грунта [2], получили эпюру бокового давления грунта для условий рассматриваемого примера, которая приведена на рис. 10, *а*. Так же приведена эпюра горизонтального давления, полученная И. Я. Лучковским (рис. 10, *б*), а на рис. 10, *в* — изображение наложенных друг на друга этих эпюр. Величина коэффициента бокового давления при расчете принята равной $\xi_0 = 0,35$.

⁴ СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03—85. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092709?ysclid=m37libf29716075697>.

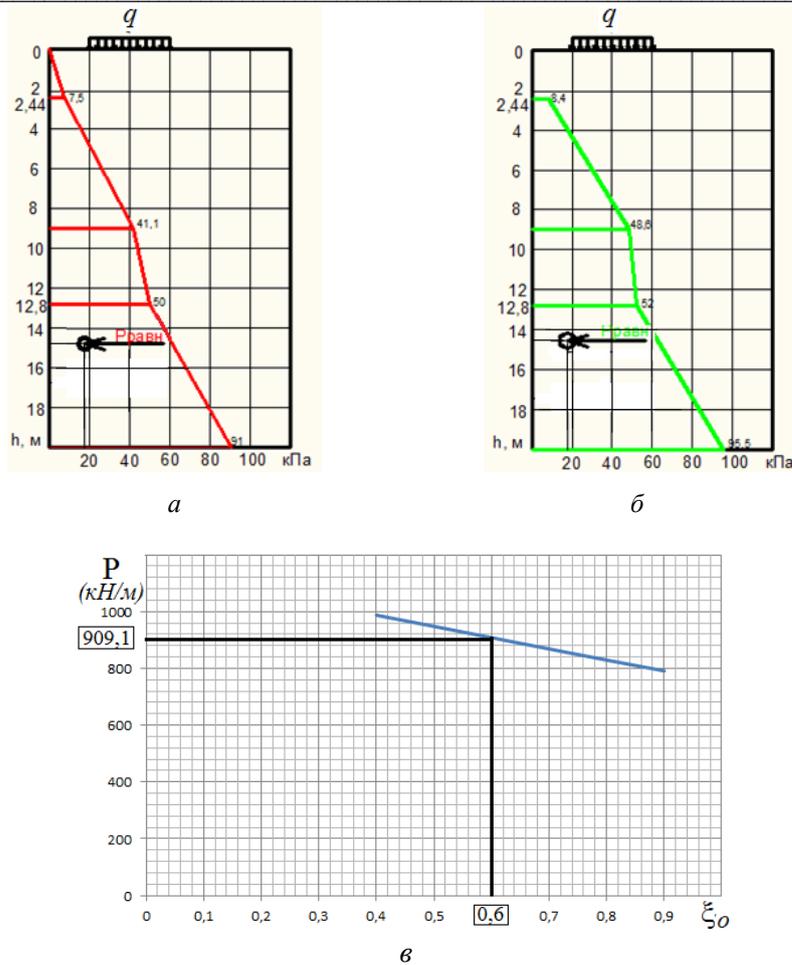


Рис. 9. Эпюры бокового давления и их равнодействующие:
 а — построенные по предлагаемому методу; б — по методу И. Я. Лучковского;
 в — графическая зависимость вида $P = f(\xi_0)$ для условий рассматриваемого примера

Сопоставив формы и площади этих эпюру, видим, что их формы, как и прежде, подобны, а площади отличаются на 16,29 %, причем эпюра, полученная И. Я. Лучковским [13], имеет большую площадь. При этом равнодействующие сил оползневое давления, выраженные в безразмерных единицах, как это сделано в анализируемой работе, соответственно равны $P_{расч}^{луч} = 1,9243$ и $P_{расч}^{пред} = 1,6108$.

Если в качестве расчетного значения коэффициента бокового давления грунта принять величину $\xi_0 = 0,33$, то рассматриваемые эпюры бокового давления практически совпадут, их равнодействующие будут отличаться всего на 1,78 %.

Здесь уместно сделать следующее замечание. Одним из возможных объяснений расхождения получаемых авторами результатов с результатами, приведенными в [13], может служить то обстоятельство, что в нашем случае поверхность скольжения не принимается плоской, как в анализируемой работе.

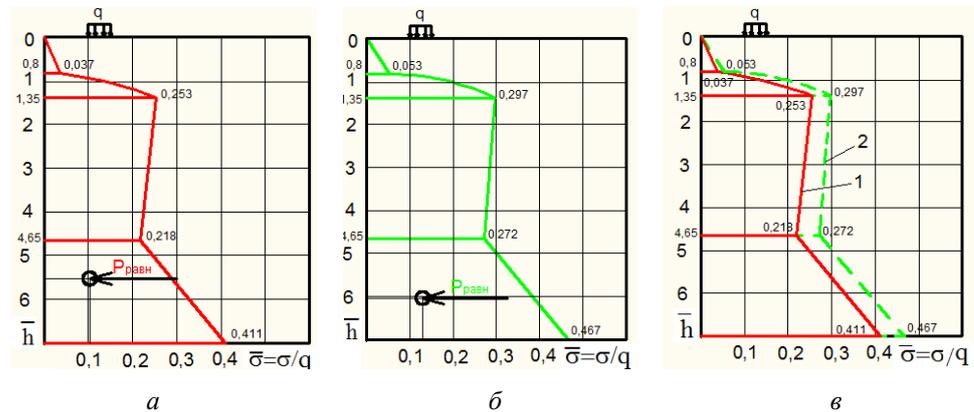


Рис. 10. Эпюры сил бокового давления грунта и их равнодействующие:
а — построенная по предлагаемой методике, для рассматриваемого примера;
б — приведенная в [13]; в — наложение этих эпюр

Кстати, на фотографиях, приводимых И. Я. Лучковским и Д. А. Чепурным в публикации [5], которые получены при фотофиксации результатов экспериментов, видно, что след поверхности скольжения явно криволинеен (см. рис. 3).

Данные натуральных испытаний Г. Е. Лабезника [16]

Подпорная стенка, по поверхности которой измерялось боковое давление, — это часть конструкции здания насосной станции, является жесткой и практически несмещаемой (рис. 11, а). Грунтовое основание — мелкозернистый песок с углом внутреннего трения $\varphi = 33...34^\circ$, нулевым сцеплением, удельным весом $\gamma = 16,6...17 \text{ кН/м}^3$ и модулем деформации $E = 43...45 \text{ МПа}$. Средние характеристики песчаной засыпки: $\varphi = 32^\circ$; $\gamma = 16 \text{ кН/м}^3$, модули деформации верхней и нижней частей засыпки $E_3^B = 20 \text{ МПа}$ и $E_3^H = 30 \text{ МПа}$. Горизонтальное давление измерялось грунтовыми динамометрами типа СДКС-7УКПЗ, установленными в стенку на 8 уровнях по высоте в 3 параллельных створах. Протокол проведения эксперимента и его результаты подробно описаны в [16].

На рисунке 11 приведены изображения подпорной стенки (стены насосной станции) и экспериментальной эпюры бокового давления (обозначена цифрой 4), построенной через 10 месяцев после полной засыпки стенки (декабрь 1990 г., рис. 11, а), той же эпюры (обозначена 1) и эпюры горизонтального давления, построенной при помощи методики [2] (обозначена 2, рис. 11, б), и эпюры горизонтальных напряжений, действующих вдоль внутренней вертикальной поверхности подпорной стенки (обозначена 3, рис. 11, б). Последняя фигура построена по результатам расчета МКЭ с использованием компьютерной программы [12].

Расчетная схема МКЭ состоит из 24368 одинаковых треугольных конечных элементов, сопряженных в 12427 узлах (рис. 12). Физико-механические свойства грунта засыпки и основания, а также материала подпорной стенки находятся в соответствии с данными, приведенными в работе [16].

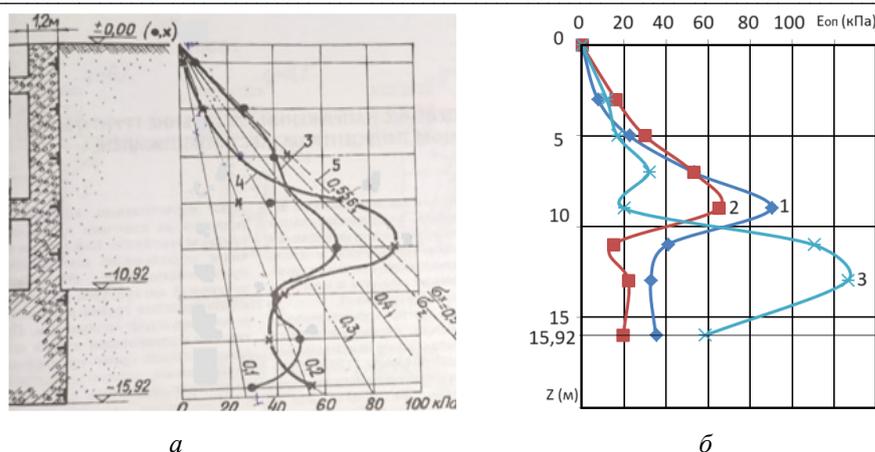


Рис. 11. Данные натуральных испытаний: *a* — подпорная стенка (стена насосной станции) и экспериментальная эпюра бокового давления (цифра 4), построенная через 10 месяцев после полной засыпки стенки (декабрь 1990 г., цитируется по [18]); *б* — та же эпюра (обозначена 1) и эпюра горизонтального давления, построенная при помощи методики [2] (обозначена 2)

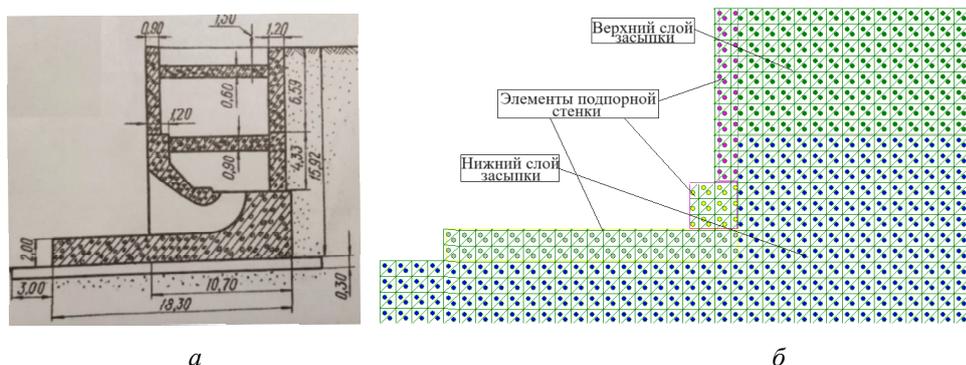


Рис. 12. Схематическое изображение: *a* — стены насосной станции — подпорной стенки; *б* — фрагмента расчетной схемы МКЭ

Анализ рис. 11, *б* показывает, что кривые, описывающие закономерности распределения бокового давления по высоте подпорной стенки, построенные на основе экспериментальных данных (1) и по результатам вычислений, выполненных по методике [2] при помощи компьютерной программы [11], имеют подобные очертания, а площадь экспериментальной эпюры примерно на 27 % больше площади эпюры, построенной по результатам вычислений авторов статьи. Эпюра контактных горизонтальных напряжений имеет площадь примерно на 30 % большую, чем экспериментальная эпюра бокового давления.

Выводы

Анализируя приведенные выше результаты, можно отметить следующее:

1) во всех рассмотренных примерах величина горизонтального давления, вычисленная на основании предложений [2] при использовании компьютерной программы [11], оказалась 25...40 % меньше, чем аналогичные результаты, полученные другими способами;

2) установлено, что формы соответствующих эпюр бокового давления, построенные при рассмотрении каждого из примеров, конгруэнтны. Подобными являются также эпюры бокового давления, полученные расчетом и в результате экспериментов;

3) отличие численных значений бокового давления, полученных авторами цитируемых работ, от соответствующих значений, полученных в данном исследовании, можно частично объяснить тем, что в данном исследовании не используется гипотеза о плоских поверхностях скольжения;

4) установлено, что результаты, получаемые при помощи предложенного метода, качественно совпадают с результатами аналогичных расчетов, приведенных в работах [17—20];

5) вопрос о границах применения предложенного метода должен быть решен путем проведения дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kuntsche K.* Construction of deep pits and slopes in urban development // Urban development and geotechnical construction. 2010. No. 2. Pp. 2—17.
2. *Bogomolov A. N., Vikhareva O. A., Ushakov A. N., Shiyan S. I.* Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction : Proceedings of the International Geotechnical Symposium. 2007. Pp. 281—285.
3. *Богомолов А. Н., Иванов А. С., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Два новых подхода к вопросу об определении горизонтального давления грунта на ограждающие конструкции котлована // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 29(48). С. 26—35.
4. Длительная устойчивость вертикальных стенок траншей / О. А. Богомолова, А. И. Иванов, В. С. Иванов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 47—53.
5. *Лучковский И. Я., Чепурной Д. А.* Распределение горизонтального давления грунта на подпорные стены при многослойном основании // Науковий вісник будівництва : Зб. Наук. праць. Вип. 54-Х. Київ, 2009. С. 281—285.
6. *Цигарели З. В.* Экспериментальное исследование давления сыпучей среды на подпорные стены с вертикальной задней гранью и горизонтальной поверхностью засыпки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1965. № 4. С. 1—3.
7. *Лучковский И. Я., Данько А. М., Данько Н. М.* Экспериментальное исследование положения плоскостей скольжения в засыпке, удерживаемой подпорной стенкой, при наличии местной нагрузки на поверхности // Науковий вісник будівництва : Зб. Наук. праць. Вип. 52. Київ, 2009. С. 90—95.
8. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
9. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. Т. 2. М. : Госстройиздат, 1961. 543 с.
10. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Шиян С. И.* К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. Вып. 7(26). С. 6—10.
11. *Богомолов А. Н.* Устойчивость (напряженно-деформированное состояние): свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499; заявл. 19.05.2009; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.
12. *Раюк В. Ф.* Метод экспериментального определения давления грунта на гибкие подпорные стенки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 2. С. 8—10.
13. *Лучковский И. Я.* Влияние местных нагрузок на характер распределения давления грунта на ограждающие конструкции // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 4. 1991. С. 24—27.
14. *Клейн Г. К.* Расчет подпорных стен. М. : Высшая школа, 1964. 196 с.

15. Лучковский И. Я., Данько А. М. Распределение давления грунта на подпорные стены при «узких» площадках нагружения поверхности полосовой нагрузкой // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. № 93. Харьков, 2010. С. 471—479.
16. Лазебник Г. Е. Давление грунта на сооружения. Киев : ПНВП, 2005. 243 с.
17. Tsinker G. P. Anchored sheet pile bulkheads // Desing Practice Journal of Geotechnical Engineering. 1983. Vol. 109. Iss. 8. P. 18165.
18. Lazebnik G. E., Berdichevski J. A., Smirnov A. A. Full-scale investigation of the basement and the cellular foundation of the nuclear reactor section // Prof. of the 12-th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 1989. Vol. 1. P. 259.
19. Cooke M. N., Bryden-Smiht D. W., Gooch M. N., Sillet D. F. Some Observation of the Foundation Loading and Settlement of a Multi-Storey Building on a Piled Raft Foundation in London Clay // Proc. Jf the Institution of Civil Engineers. 1981. Vol. 70. Iss. 1. Pp. 433—460.
20. Wang F. D., Sun M. C., Ropchan D. M. Computer Program for Pit Slope Stability Analysis bei the Finite Element Stress Analysis and Limiting Equilibrium Method // RJ 7685. Burin of Mints, 1972.

© Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Богомолов С. А., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Богомолов С. А. Способ отыскания величины горизонтального давления на ограждение котлована // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 6—20. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_6.

Об авторах:

Богомолов Александр Николаевич — д-р техн. наук, проф., ОАО «НПЭК ОиФ». Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Телевизионная, 15; banzaritcyn@mail.ru

Богомолова Оксана Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Богомолов Сергей Александрович — канд. техн. наук, старший преподаватель каф. сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева. Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; bsargau@mail.ru

Alexander N. Bogomolov^a, Oksana A. Bogomolova^b, Sergey A. Bogomolov^c

^a «НПЭК ОиФ» Open Joint Stock Company

^b Volgograd State Technical University

^c Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy

METHOD OF FINDING THE VALUE OF HORIZONTAL PRESSURE ON THE PIT ENCLOSURE

A method for determining the horizontal pressure on the enclosing structures of the excavation is proposed. It is based on the results of the analysis of the stress state of the held bulk, when it is implemented, the hypothesis of flat surfaces of the slide is not accepted, and the position and shape of the slip surface trace are determined by stresses taking into account the physico-mechanical properties of soils, including the coefficient of lateral pressure of the soil. The method can be used for both disconnected and connected soils, with a homogeneous or layered structure of the retained soil mass, both in the presence of any loads on the surface of the soil, and without loads. The congruence of the high-pressure plots obtained by third-party authors in theoretical and experimental studies has been established, corresponding to the plots constructed by the authors of the article for the corresponding example, moreover, the resultant plots in the latter case are always smaller.

К е у w o r d s: retaining structure, lateral pressure diagram, stress state of the held array.

For citation:

Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Bogomolov S. A. [Method of finding the value of horizontal pressure on the pit enclosure]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 6—20. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_6.

About authors:

Alexander N. Bogomolov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, JSC “NPEK Oif”. 15, Televizionnaya st., Novosibirsk, Russian Federation; banzaritcyn@mail.ru

Oksana A. Bogomolova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Sergey A. Bogomolov — Candidate of Engineering Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; bsargau@mail.ru