

УДК 624.131

*А. Н. Богомолов, А. С. Иванов, С. И. Шиян, О. В. Ермаков*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИНЫ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЛОВАНОВ**

Приведены результаты сопоставления величин бокового давления грунта на ограждающие конструкции котлованов, получаемых при помощи разработанных в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете расчетных методов, с экспериментальными и теоретическими данными, полученными другими исследователями. Установлено, что эти данные практически полностью совпадают с приводимыми результатами при определенных значениях величины коэффициента бокового давления грунта.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** боковое давление грунта на жесткие и гибкие подпорные сооружения, эпюры бокового давления, коэффициент запаса устойчивости вертикального откоса, удерживающие и сдвигающие силы, коэффициент бокового давления грунта, горизонтальные перемещения точек его вертикальной поверхности, эпюры прогибов гибкого ограждающего элемента, экспериментальные и расчетные значения бокового давления.

The authors provide the results of comparison of values of soil lateral pressure on building envelopes of ditches received by calculation methods developed at the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering with the experimental and theoretical data obtained by other researchers. It is established that these data almost precisely coincide with the results provided by the authors of the article under certain values of soil lateral pressure coefficient.

**К e y w o r d s:** soil lateral pressure on rigid and flexible retaining structures, lateral pressure curves, vertical slope stability coefficient, restraining and shearing forces, soil lateral pressure coefficient, horizontal displacement of points of its vertical surface, flexible building envelope deflection coefficient, experimental and calculated values of lateral pressure.

В работах [1, 2] изложены методы определения величины бокового давления грунта на жесткие подпорные сооружения и метод подбора сечений элементов гибких удерживающих конструкций.

Определить степень достоверности результатов, получаемых при помощи предложенных методов, можно, проведя их сопоставление с поведением реальных объектов в натуре, результатами экспериментальных данных или результатами расчетов, выполненных при помощи апробированных и применяемых в строительной практике методов.

В настоящей статье приведены результаты сопоставления полученных нами результатов с результатами экспериментальных данных, приведенных в работах З. В. Цигарели [3—6] и В. Ф. Раюка [7], а также с результатами теоретических расчетов величины бокового давления на вертикальные подпорные стенки, приведенных в работах И. Я. Лучковского [8—12].

**Сопоставление результатов, получаемых при помощи предложенных методов, с результатами экспериментальных исследований, выполненных З. В. Цигарели [3—6].** В работе [3] приведены результаты серии опытов определения давления сыпучей среды на стены с вертикальной задней гранью при горизонтальной поверхности засыпки.

Эксперименты проведены в крупноразмерных установках размерами в плане  $1,2 \times 5$  м и  $3,6 \times 3$  м, которые имеют одинаковую высоту — 4 м. В качестве засыпки используется морской песок с зернами крупно-

сти 0,1...2 мм и углом внутреннего трения  $\varphi = 37^\circ$  [3]. Данные о величинах удельного сцепления  $C$  и коэффициента бокового давления  $\xi_0$  морского песка отсутствуют. Поэтому в наших расчетах принято, что  $C = 0$ , а величине коэффициента бокового давления при проведении расчетов поочередно присваивались семь значений  $\xi_0 = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,85$ .

На первом этапе нами проведено сопоставление формы и размеров следов экспериментально полученных поверхностей скольжения с результатами, полученными при построении наиболее вероятной поверхности скольжения (НВПС) методами [13—15], которые приняты в качестве инструмента исследования.

На рис. 1, *a* приведены следы поверхностей скольжения, построенных по результатам экспериментов, описанных в работах [3—6], а на рис. 1, *б*, *в* в качестве примеров изображены следы поверхностей скольжения, построенные при помощи компьютерной программы [16] при  $\xi_0 = 0,3$  и  $\xi_0 = 0,75$  на основе результатов анализа напряженного состояния грунтового массива.

Сравнивая приведенные на рис. 1, *б* и 1, *в* изображения следов НВПС, делаем вывод, что след наиболее вероятной экспериментально полученной поверхности скольжения (на рис. 1, *a* она отмечена цифрой *б*) практически совпадает со следом поверхности скольжения, приведенной на рис. 1, *б*, которая построена нами для условий эксперимента при  $\xi_0 = 0,3$ . Как известно, данное значение коэффициента бокового давления соответствует песчаным грунтам [17—21].

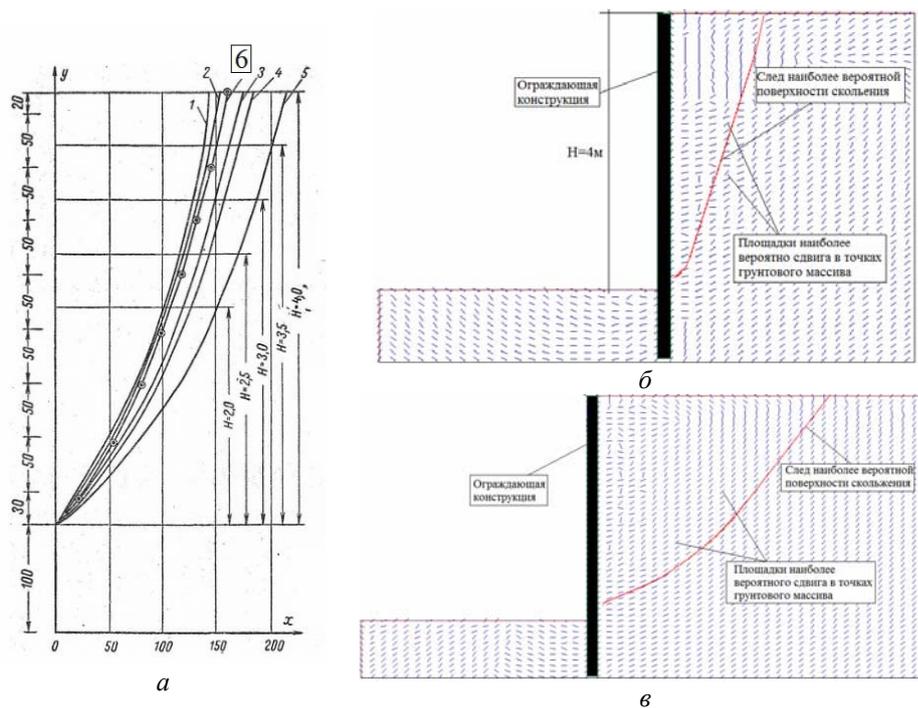


Рис. 1. Следы экспериментальных поверхностей скольжения, построенных при помощи компьютерной программы [16] (цитируется по работе [1]): *a* — наиболее вероятных поверхностей скольжения; *б* — при  $K = 1,01$ ,  $\xi_0 = 0,3$ ; *в* — при  $K = 1,11$ ,  $\xi_0 = 0,75$

Отметим, что величина коэффициента запаса устойчивости, вычисленная для поверхности скольжения, след которой изображен на рис. 1, б, равен  $K_{0,3} = 1,032$ , а для поверхности скольжения, след которой изображен на рис. 1, в —  $K_{0,75} = 1,11$ .

В работе [3] отмечено, что выявлено образование линий скольжения в сыпучей среде при вращении модели стены вокруг нижнего ребра, при параллельном перемещении модели и при вращении модели вокруг верхнего ребра», т. е. в момент потери грунтовым массивом устойчивости или в предельном состоянии, для которого  $K = 1$ .

В работе [3] также приведены эпюры бокового давления засыпки (как отмечено выше, в этом качестве использован морской песок) на модели подпорных стенок различной высоты.

Рассмотрим в качестве примера эпюру бокового давления для модели подпорной стенки высотой  $H = 4$  м, которая приведена нами на рис. 2. При помощи компьютерной программы [16] построена эпюра бокового давления для условий, описанного в работе [3], эксперимента. Для удобства сопоставления результатов мы совместили сплайн-аппроксимации эпюр и поместили их на рис. 3.

В результате проведенных вычислений установлено, что площади этих эпюр отличаются друг от друга на 6,78 %, а вертикальные координаты их центров тяжести, т. е. точек приложения равнодействующих бокового давления, — примерно на 4 %.

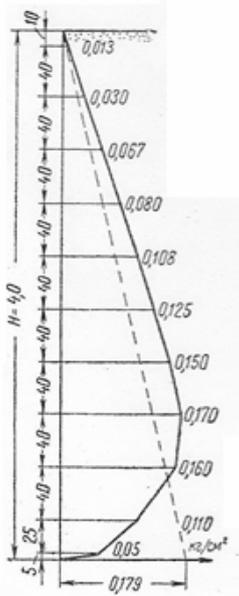


Рис. 2. Эпюра бокового давления грунта на модель подпорной стенки по данным работы [1]

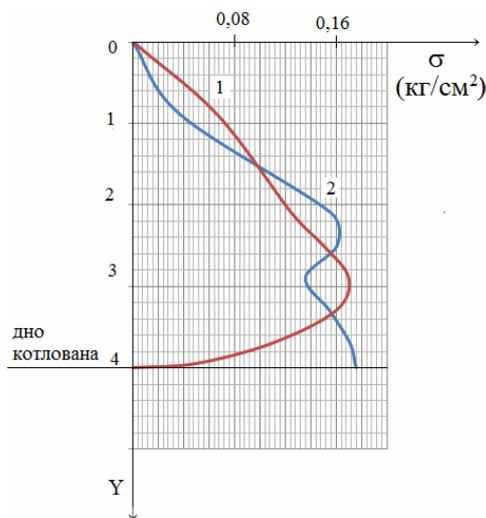


Рис. 3. Сплайн-аппроксимация эпюры: 1 — представленной на рис. 2; 2 — эпюры бокового давления, построенной для условий эксперимента, на основе сделанных нами предложений

**Сопоставление результатов вычислений с экспериментально-теоретическими данными В. Ф. Раюка [7].** В. Ф. Раюком предложен метод экспериментального определения давления грунта на подпорные стенки, который сводится к замерам деформаций (прогибов) подпорных стен [7]. Определив прогибы в ряде точек, можно аналитическим путем установить не только давление на стенку, но и изгибающие и крутящие моменты в любой точке стенки. Этот метод исключает возникновение погрешностей, связанных с непосредственным измерением давления с помощью мембранных датчиков, так как их показания в большой степени зависят от прогиба самой мембраны.

Давление грунта на стенку и изгибающие моменты определяются путем решения обратной задачи расчета тонких упругих плит, каким-либо образом закрепленных на неподвижных опорах. Эта задача может быть решена с помощью вариационного способа Канторовича [22] или с применением энергетического метода [23].

В. Ф. Раюком приводится решение для подпорной стенки, жестко защемленной по двум сторонам  $y = \pm b_0$  и при любом возможном способе закрепления по сторонам  $x = \pm a$  (рис. 4, 5) при помощи вариационного метода Л. В. Канторовича [22], который применительно к расчету тонких плит сводится к следующему.

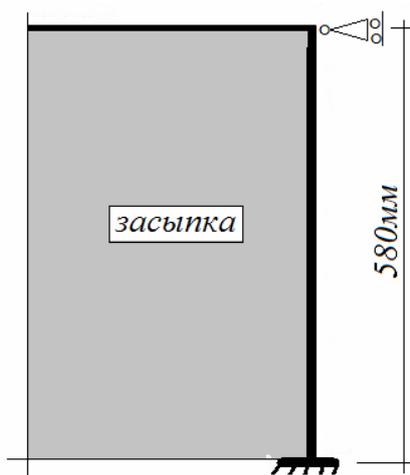


Рис. 4. Схематическое изображение модели подпорной стенки

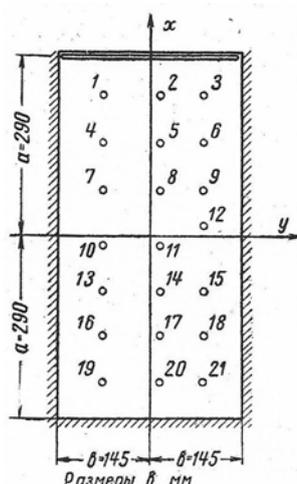


Рис. 5. Схема расположения индикаторов прогибов на модели подпорной стены [6]

Сначала находят решение бигармонического уравнения изогнутой срединной поверхности плиты, имеющее вид

$$f_0(x) = \frac{1}{24D} \left[ A_0 + A_1 x + A_2 \left( x^2 + \frac{8b^2}{21} \right) + A_3 \left( x_3 + \frac{24b^2}{21} x \right) \right]. \quad (1)$$

Коэффициенты  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  могут быть определены способом наименьших квадратов из условия закрепления стенки на краях  $x = \pm a$ .

Изгибающие моменты по оси  $x$  определяются формулами

$$M_x = -D \left[ \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right];$$

$$M_y = -D \left[ \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right],$$
(2)

где  $\mu$  — коэффициент Пуассона материала стенки.

Ниже кратко описаны условия проведения и результаты опытов В. Ф. Раюка, осуществленных им в НИИОСПе в 1957 г.

Сухой песок средней крупности находится в лотке. Угол внутреннего трения песка  $\varphi = 36^\circ$ , его объемный вес  $\gamma = 1,7 \text{ т/м}^3$ . Данные о величине коэффициента бокового давления засыпки отсутствуют, поэтому при расчетах принимается значение  $\xi_0 = 0,4$  [17—21].

В качестве модели подпорной стенки служила плексигласовая пластинка толщиной 6 мм, защемленная по трем сторонам и опертая по верхнему краю. Ее жесткость, определенная опытным путем, составляла 530 кг/см.

Прогибы модели подпорной стенки высотой в 580 мм замерялись с помощью индикаторов в 21 точке стены (см. рис. 5) с точностью до 0,01 мм.

На рис. 6, *a* и *б* изображены эпюры прогибов модели подпорной стенки, приведенные в работе [7], а на рис. 6, *в* — соответствующая эпюра, построенная по результатам наших вычислений, выполненных при помощи компьютерной программы [16].

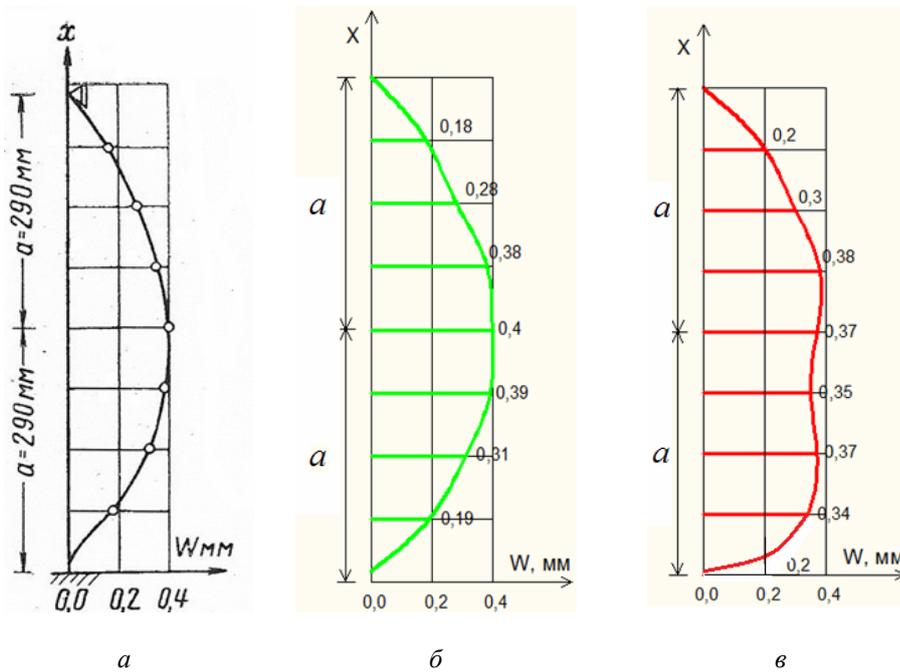


Рис. 6. Эпюры прогибов: *a* — приведенная в работе [7]; *б* — перестроенная нами по данным работы [7]; *в* — построенная по результатам наших вычислений при  $\xi_0 = 0,4$

Сравнивая эпюры прогибов модели гибкой подпорной стенки, приведенные на рис. 6, б и в, которые построены специально для этой цели в одном и том же масштабе, видим, что их ординаты в соответствующих точках отличаются по величине на 3...9%. Исключение составляет вторая снизу точка, в которой разница значений прогибов составляет 48%.

Таким образом, можно констатировать вполне удовлетворительное совпадение экспериментальных и теоретических данных, полученных независимо друг от друга.

Определим теперь величину бокового давления грунта для условий рассматриваемого примера, сделав допущение о том, что ограждение является жестким.

На рис. 7 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  $K = 0,67$ , строим эпюру горизонтальных составляющих сил бокового давления, которая показана на рис. 7, б красным цветом.

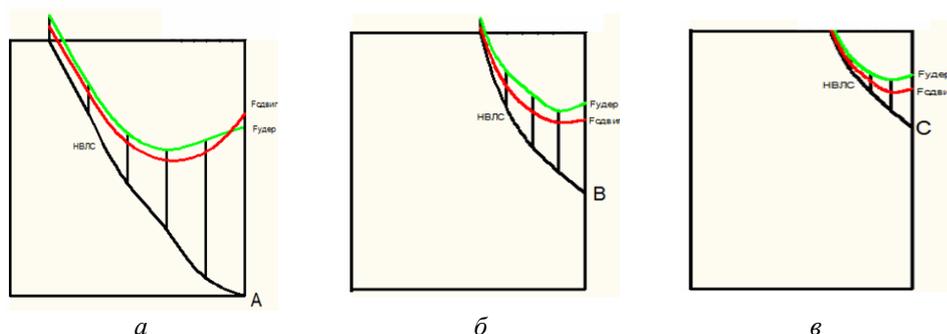


Рис. 7. Эпюры удерживающих и сдвигающих сил, построенные на следах наиболее вероятных локальных восходящих поверхностей скольжения, исходящих: а — из точки А; б — из точки В; в — и из точки С

На рис. 8, а приведена эпюра бокового давления, полученная на основе экспериментального определения прогибов модели подпорной стенки, которая обозначена цифрой 1. Здесь же показаны эпюра бокового давления, построенная методом Кулона 2, и эпюра горизонтальных напряжений  $\sigma_x$  как эквивалент эпюры бокового давления при  $\xi_0 = 0,43$ .

На рис. 8, б приведены эпюры бокового давления, полученные экспериментальным путем (2) и предлагаем методом (1).

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 [7] и на основе предлагаемого подхода [1—2], абсолютно подобны.

Равнодействующие сил бокового давления (они численно равны площадям соответствующих эпюр)  $P_p = 0,75$  кг и  $P = 0,57$  кг отличаются друг от друга на 24%, причем значение, полученное В. Ф. Раюком экспериментальным путем, больше.

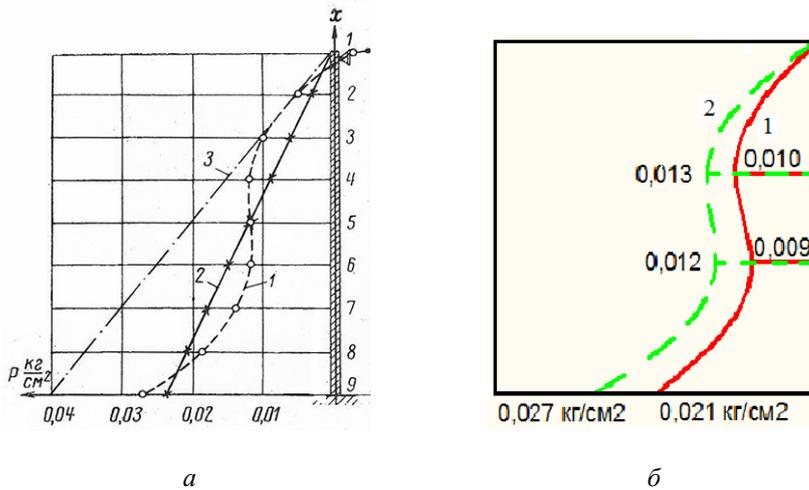


Рис. 8. Эпюры бокового давления: *a* — эпюра: 1 — полученная в результате эксперимента; 2 — расчетная по Кулону; 3 — как эквивалент эпюры горизонтальных напряжений при  $\xi_0 = 0,4$ ; *б* — наложение эпюр бокового давления: 2 — полученных экспериментальным путем; 1 — предлагаем методом

В результате дополнительных вычислений установлено, что если значение коэффициента бокового давления грунта принять равным  $\xi_0 = 0,32$ , то получим эпюру бокового давления, практически полностью совпадающую с полученной В. Ф. Раюком при проведении эксперимента.

**Сопоставление результатов вычислений с экспериментально-теоретическими данными И. Я. Лучковского [8—12; 24].** В работе И. Я. Лучковского [12] приводится 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:

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

В работе [12] 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/м<sup>3</sup>;  $C = 15$  кПа;  $\varphi = 26,5^\circ$ ;  $\text{tg } \varphi = 0,5$ ;  $q = 50$  кПа (все геометрические размеры приведены на рис. 9—10 [12]).

На рис. 10 приведены эпюры бокового давления, построенные автором работы [12] различными методами: эпюра давления, соответствующая методу И. Я. Лучковского, выделена нами цветом.

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

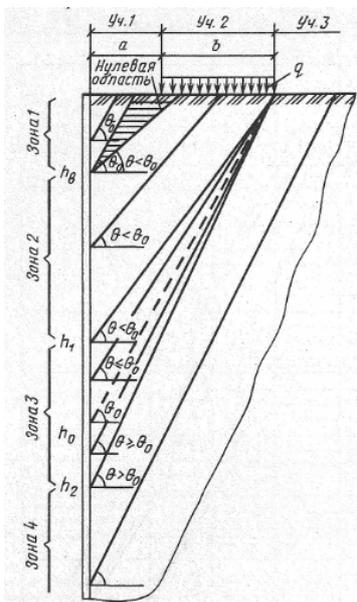


Рис. 9. Схема расположения невыгоднейших (наиболее вероятных) плоскостей скольжения в грунтовом массиве, удерживающем ограждающую конструкцию (ОК), при наличии местной нагрузки на поверхности

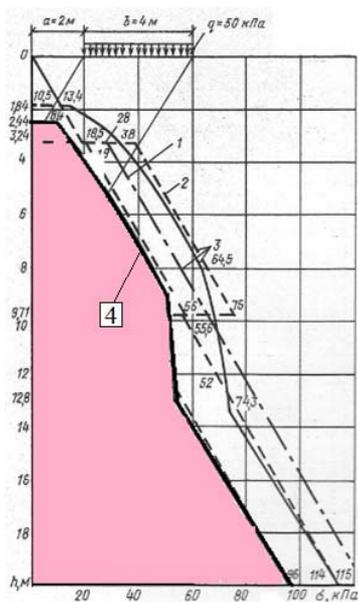


Рис. 10. Распределение давления грунта на ограждающую конструкцию при широкой площадке загрузки местной нагрузкой: 1 — по СНиП 2.09.03—85; 2 — по Г. К. Клейну; 3 — без учета удельного сцепления; 4 — по методу И. Я. Лучковского [12]

На рис. 11 изображены наиболее вероятные линии скольжения и соответствующие им эпюры удерживающих и сдвигающих сил, построенные для вертикального борта котлована, параметры которого описаны выше. Расчет устойчивости этого откоса методом, основанным на анализе напряженного состояния грунтового массива [13—15], дает величину коэффициента запаса устойчивости  $K = 0,58$ .

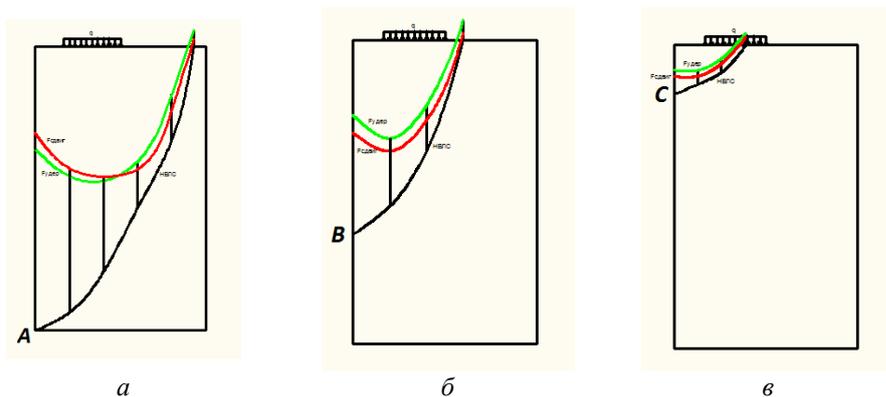


Рис. 11. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные исходящими: а — из точки А; б — из точки В; в — из точки С. Соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил

Используя известный прием повышения расчетных значений величин удельного сцепления и тангенса угла внутреннего трения в  $K / K_{пр}$  раз, определим такие значения  $C$  и  $\varphi$ , при которых расчетное значение будет равно  $K = 1,01$ . Гипотетически устойчивое состояние откоса в этих случаях будут обеспечивать «фиктивные» удерживающие силы, соответствующие увеличенным в  $K / K_{пр}$  прочностным характеристикам грунта.

Элементы ограждающих конструкций рассчитываются на величины «фиктивных» сдвигающих сил, которые равны разности величин «фиктивной» удерживающей силы и реальной удерживающей силы, вычисленных для одной и той же поверхности скольжения.

На рис. 11 изображены следы наиболее вероятных поверхностей скольжения и эпюры удерживающих и сдвигающих сил при  $K = 1,01$ , которые кладутся в основу процедуры построения эпюр бокового давления, приведенных на рис. 12. Величина коэффициента бокового давления грунта при проведении наших расчетов выбрана исходя из численных значений физико-механических свойств грунтов,  $\xi_0 = 0,4$  [17—21].

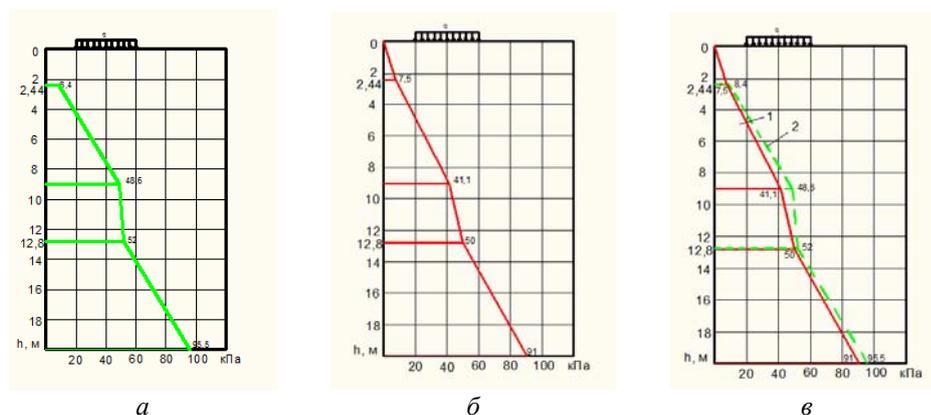


Рис. 12. Эпюры бокового давления: *a* — по И. Я. Лучковскому; *б* — построенная предлагаемым способом; *в* — наложение эпюр

Если вычислить величины равнодействующих бокового давления и поместить их в центры тяжести соответствующих эпюр, то получим картину, изображенную на рис. 13. Вычисления показывают, что значения равнодействующих бокового давления отличаются друг от друга приблизительно на 8 % и равны  $P_{пм} = 987,83$  кН/м и  $P_{луч} = 909,1$  кН/м соответственно.

Следует отметить, что размерность равнодействующей, кН/м, обозначает, что данная сила приходится на единицу ширины подпорной стенки.

На рис. 14 приведена графическая интерпретация результатов расчетов рассматриваемого примера предлагаемым авторами настоящей публикации методом при различных значениях коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0$ .

Из рис. 14 видно, что величина равнодействующей сил бокового давления, вычисленная в анализируемой работе, может быть получена предлагаемым методом при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,6$ .

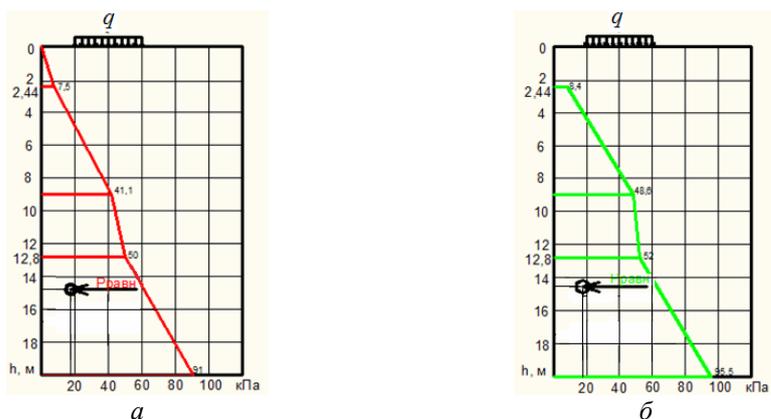


Рис. 13. Положение равнодействующих эпюр бокового давления: *a* — по предлагаемому методу; *b* — по методу И. Я. Лучковского

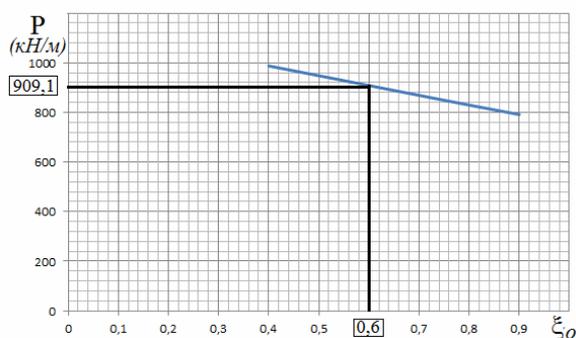


Рис. 14. Графическая зависимость вида  $P = f(\xi_0)$  для условий рассматриваемого примера

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/м<sup>3</sup>;  $c = 0$ ;  $\varphi = 30^\circ$ ;  $\bar{q} = 10$ ;  $\bar{b} = 0,5$  (все геометрические параметры приведены на рис. 15, *a*).

Эпюра бокового давления, полученная автором анализируемой статьи, также приведена на рис. 15 *a*, на рис. 15, *b* она приведена в цвете для удобства сопоставления.

Используя метод построения эпюры бокового давления грунта на ограждающие конструкции котлованов, мы получили эпюру бокового давления грунта для условий рассматриваемого примера при  $\xi_0 = 0,35$ . Наложение этой эпюры и эпюры, полученной И. Я. Лучковским, приведено на рис. 15, *в*.

Сопоставив формы и площади этих эпюр, видим, что формы, как и в первом случае, подобны, а площади отличаются на 16,29 %, причем площадь эпюры, полученной И. Я. Лучковским [12], больше. При этом равнодействующие сил оползневого давления, выраженные в долях ( $\gamma H^2$ ), соответственно равны:  $P_{\text{Луч}} = 1,9243$  и  $P = 1,6108$ .

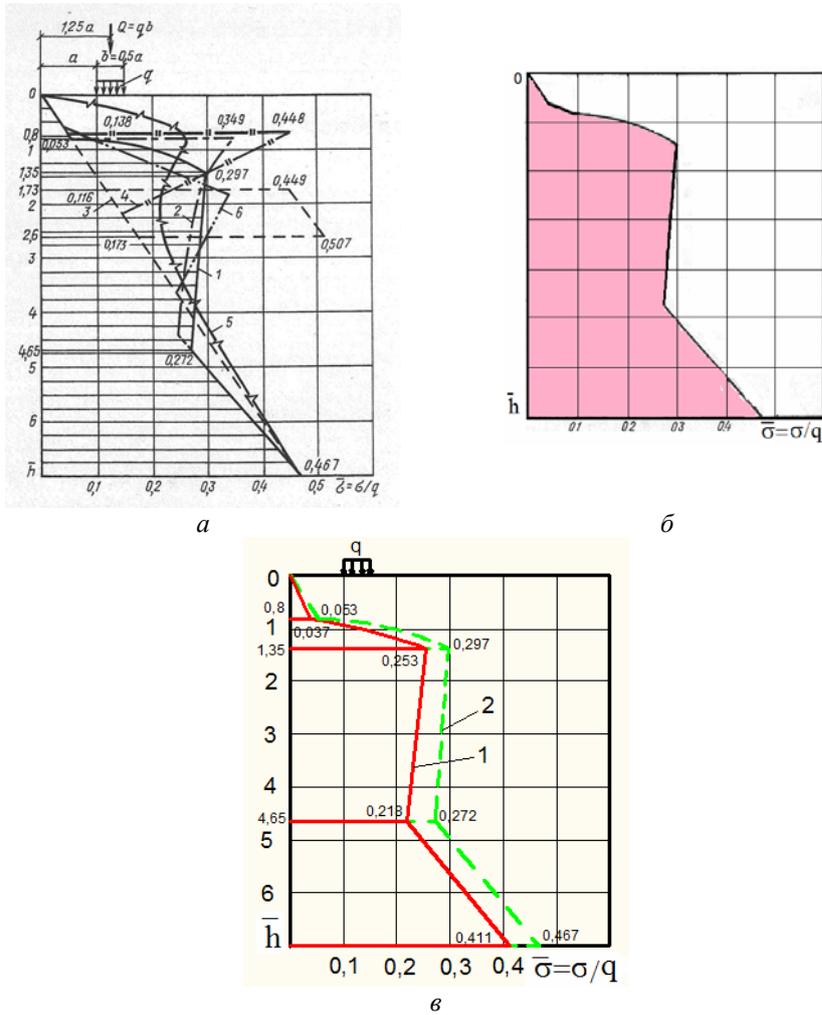


Рис. 15. Эпюры бокового давления грунта: *a* — приведенная в работе И. Я. Лучковского [12]; *б* — выделенная нами для сравнения; *в* — наложение эпюр сил бокового давления грунта: *1* — построенной по предлагаемой методике; *2* — для рассматриваемого примера и приведенной в работе [12]

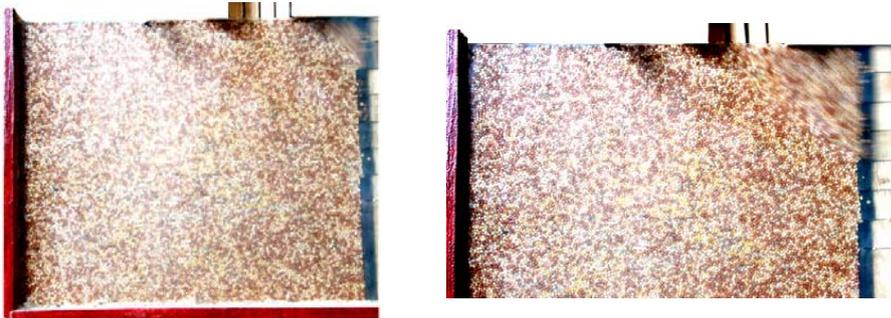


Рис. 16. Фотографии экспериментальных поверхностей скольжения в однородной засыпке [12]

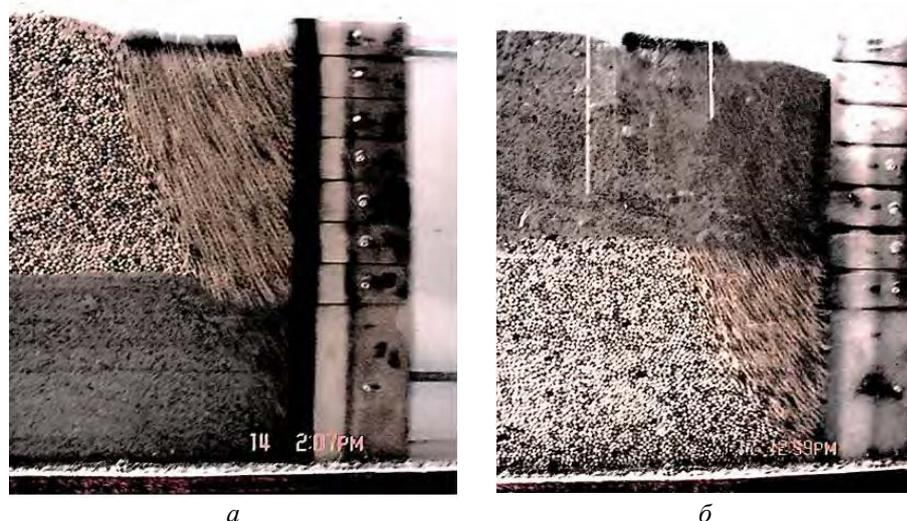


Рис. 17. Фотографии образования плоскости обрушения в двухслойной засыпке с полосовой нагрузкой при горизонтальном смещении всей подпорной стенки: *a* — просо-песок, *б* — песок-просо [24]

При помощи проведения дополнительных расчетов установлено, что если в качестве расчетного значения коэффициента бокового давления грунта принять величину  $\xi_0 = 0,3$ , то рассматриваемые эпюры бокового давления грунта на ограждение практически совпадут, их равнодействующие будут отличаться всего на 1,78 %.

Здесь уместно сделать следующее замечание. Одним из возможных объяснений расхождения получаемых нами результатов с результатами, приведенными в работе [13], может служить то обстоятельство, что в нашем случае поверхность скольжения не принимается плоской, как в анализируемой работе. Кстати, на фотографиях, приводимых И. Я. Лучковским и Д. А. Чепурным в публикациях [12, 24], которые получены ими при фотофиксации результатов экспериментов, видно, что след поверхности скольжения явно криволинеен (см. рис. 16—17).

Выводы:

1. Экспериментально полученные следы поверхностей скольжения, приведенные в работе З. В. Цигарели, практически совпадают со следом поверхности скольжения, которая построена нами для условий эксперимента при  $\xi_0 = 0,3$ . Как известно, данное значение коэффициента бокового давления соответствует песчаным грунтам, которые и использовались при проведении эксперимента. Кроме того, на фотографиях, приводимых И. Я. Лучковским и Д. А. Чепурным в публикации [24], которые получены ими при фотофиксации результатов экспериментов, видно, что следы поверхностей скольжения имеют явно криволинейную форму (см. рис. 16).

2. Эпюры бокового давления, полученные при проведении экспериментальных исследований З. В. Цигарели и В. Ф. Раюком, практически совпадают с соответствующими эпюрами, построенными для условий экспериментов при помощи разработанного в ВолгГАСУ метода, при величинах коэффициента бокового давления  $\xi_0 = 0,3$  и  $\xi_0 = 0,32$  соответственно.

3. Сравнение эпюр прогибов модели гибкой подпорной стенки, приведенные в работе В. Ф. Раюка, и эпюр прогибов, построенных нами для условий эксперимента в том же масштабе, показывает, что их ординаты в соответствующих точках отличаются по величине на 3...9 % за исключением одной нижней точки, в которой разница значений прогибов составляет 48 %.

4. Анализ примера расчета сил бокового давления на ограждение котлована, приведенного в работе И. Я. Лучковского, показывает, что величина равнодействующей сил бокового давления, вычисленная в анализируемой работе, может быть получена предлагаемым методом при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,6$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Длительная устойчивость вертикальных стенок траншей / О. А. Богомолова, А. И. Иванов, В. С. Иванов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2012. Вып. 28(47). С. 47—53.
2. Два новых подхода к определению горизонтального давления грунта на ограждающие конструкции котлована / А. Н. Богомолов, А. С. Иванов, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков, С. В. Кузнецова // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2012. Вып. 29(48). С. 26—35.
3. 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.
4. Цигарели З. В. Крупноразмерные установки для экспериментального исследования грунта на подпорные стены // Информационный бюллетень Госстроя Грузинской ССР «Строительство и архитектура». Тбилиси, 1962. № 6.
5. Цигарели З. В. Экспериментальные исследования давления грунта на подпорные стены // Техническая информация Госстроя Грузинской ССР. Тбилиси, 1964. № 7.
6. Цигарели З. В. Основные результаты экспериментально-теоретического исследования давления грунта на подпорные стены // Тр. ГПИ им. В. И. Ленина. Тбилиси, 1965.
7. Раюк В. Ф. Метод экспериментального определения давления грунта на гибкие подпорные стенки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 2. С. 8—10.
8. Лучковский И. Я. Влияние местных нагрузок на характер распределения давления грунта на ограждающие конструкции // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1991. № 4. С. 24—27.
9. 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. 2009. № 54. С. 281—285.
10. 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. Харьков, 2010. № 93. С. 471—479.
11. Лучковский И. Я. Взаимодействие конструкций с основанием // Библиотека журнала ИТЕ. Т. 3. Харьков : ХГПУ, 2000. 264 с.
12. 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, 2009. № 52. С. 90—95.
13. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
14. Цветков В. К. Расчет рациональных параметров горных выработок. М. : Недра, 1993. 253 с.
15. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижневож. кн. изд-во, 1979. 238 с.
16. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние): свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499 / А. Н. Богомолов и др. № 2009612297 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.
17. Цытович Н. А. Механика грунтов. М. : Стройиздат, 1951.
18. Геологический словарь : в 2 т. / К. Н. Паффенгольц и др. М. : Недра, 1978. Т. 2. 456 с.
19. Каган А. А. Расчетные характеристики грунтов. М. : Стройиздат, 1985. 243 с.

20. СНиП 2.03.01—83\*. Основания зданий и сооружений. М. : Стройиздат, 1985. 40 с.
21. СП 22.13330—2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83\*. М. : Минрегионразвития РФ, 2001. 155 с.
22. *Кантарович Л. В., Крылов В. И.* Приближенные методы высшего анализа. М. : Гостехиздат, 1952.
23. *Ван Цзе-де.* Прикладная теория упругости. М. : Физматгиздат, 1959.
24. *Лучковский И. Я., Чепурной Д. А.* Горизонтальное давление многослойной засыпки на подпорную стену при наличии местной нагрузки на поверхности // *Науковий вісник будівництва : зб. наук. праць.* Вип. 56-Х. 2010. № 54. С. 234—240.
1. Dlitel'naya ustoychivost' vertikal'nykh stenok transhey / O. A. Bogomolova, A. I. Ivanov, V. S. Ivanov, A. V. Solov'ev, S. I. Shiyan // *Vestn. VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh.* 2012. Vyp. 28(47). S. 47—53.
2. Dva novykh podkhoda k opredeleniyu gorizontal'nogo davleniya grunta na ograzhdayushchie konstruksii kotlovana / A. N. Bogomolov, A. C. Ivanov, O. A. Bogomolova, A. N. Ushakov, S. V. Kuznetsova // *Vestn. VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh.* 2012. Vyp. 29(48). S. 26—35.
3. *Tsigareli Z. V.* Eksperimental'noe issledovanie davleniya sypuchey sredy na podpornye steny s vertikal'noy zadney gran'yu i gorizontal'noy poverkhnost'yu zasypki // *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov.* 1965. № 4. S. 1—3.
4. *Tsigareli Z. V.* Krupnorazmernye ustanovki dlya eksperimental'nogo issledovaniya grunta na podpornye steny // *Informatsionnyy byulleten' Gosstroya Gruzinskoy SSR «Stroitel'stvo i arkhitektura».* Tbilisi, 1962. № 6.
5. *Tsigareli Z. V.* Eksperimental'nye issledovaniya davleniya grunta na podpornye steny // *Tekhnicheskaya informatsiya Gosstroya Gruzinskoy SSR.* Tbilisi, 1964. № 7.
6. *Tsigareli Z. V.* Osnovnye rezul'taty eksperimental'no-teoreticheskogo issledovaniya davleniya grunta na podpornye steny // *Tr. GPI im. V. I. Lenina.* Tbilisi, 1965.
7. *Rayuk V. F.* Metod eksperimental'nogo opredeleniya davleniya grunta na gibkie podpornye stenki // *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov.* 1961. № 2. S. 8—10.
8. *Luchkovskiy I. Ya.* Vliyanie mestnykh nagruzok na kharakter raspredeleniya davleniya grunta na ograzhdayushchie konstruksii // *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov,* 1991. № 4. S. 24—27.
9. *Luchkovskiy I. Ya., Chepurnoy D. A.* Raspredelenie gorizontal'nogo davleniya grunta na podpornye steny pri mnogosloynnom osnovanii // *Naukoviy visnik budivnitstva : zb. nauk. prats'.* Vip. 54-X. 2009. № 54. S. 281—285.
10. *Luchkovskiy I. Ya., Dan'ko A. M.* Raspredelenie davleniya grunta na podpornye steny pri «uzkikh» ploschadkakh nagruzheniya poverkhnosti polosovoy nagruzkoj // *Kommunal'noe khozyaystvo gorodov. Nauchno-teknicheskyy sbornik.* Khar'kov, 2010. № 93. S. 471—479.
11. *Luchkovskiy I. Ya.* Vzaimodeystvie konstruksiy s osnovaniem // *Biblioteka zhurnala ITE.* T. 3. Khar'kov : KhGPU, 2000. 264 s.
12. *Luchkovskiy I. Ya., Dan'ko A. M., Dan'ko N. M.* Eksperimental'noe issledovanie polozeniya ploskostey skol'zheniya v zasypke, uderzhivaemoy podpornoy stenкой, pri nalichii mestnoy nagruzki na poverkhnosti // *Naukoviy visnik budivnitstva,* 2009. № 52. S. 90—95.
13. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm' : PGU, 1996. 150 s.
14. *Tsvetkov V. K.* Raschet ratsional'nykh parametrov gornykh vyrabotok. M. : Nedra, 1993. 253 s.
15. *Tsvetkov V. K.* Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. Volgograd : Nizhnevolzh. kn. izd-vo, 1979. 238 s.
16. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie): svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM № 2009613499 / A. N. Bogomolov i dr. № 2009612297 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009. 1 s.
17. *Tsytoich N. A.* Mekhanika gruntov. M. : Stroyizdat, 1951.
18. *Geologicheskyy slovar' : v 2 t. / K. N. Paffengol'ts i dr.* M. : Nedra, 1978. T. 2. 456 s.
19. *Kagan A. A.* Raschetnye kharakteristiki gruntov. M. : Stroyizdat, 1985. 243 s.
20. SNiP 2.03.01—83\*. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. M. : Stroyizdat, 1985. 40 s.
21. СП 22.13330—2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01—83\*. M. : Minregionrazvitiya RF, 2001. 155 s.

22. *Kantarovich L. V., Krylov V. I. Priblizhennyye metody vysshego analiza.* М. : Gostekhizdat, 1952.

23. Van Tsze-de. *Prikladnaya teoriya uprugosti.* М. : Fizmatizdat, 1959.

24. *Luchkovskiy I. Ya., Chepurnoy D. A. Gorizonta'noe davlenie mnogoslounoy zasypki na podpornuyu stenu pri nalichii mestnoy nagruzki na poverkhnosti // Naukoviy visnik budivnitstva : zb. nauk. prats'. Vip. 56-Kh. 2010. № 54. S. 234—240.*

© *Богомолов А. Н., Иванов А. С., Шиян С. И., Ермаков О. В., 2013*

*Поступила в редакцию  
в сентябре 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Результаты сопоставления экспериментальных и расчетных значений величины бокового давления грунта на ограждающие конструкции котлованов / А. Н. Богомолов, А. С. Иванов, С. И. Шиян, О. В. Ермаков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovIvanovShiyanErmakov-2013\\_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovIvanovShiyanErmakov-2013_2(27).pdf)