

УДК 624.131

А. Н. Богомолов, А. В. Прокопенко**ВЛИЯНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ОСНОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ,
ОПРЕДЕЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ
ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТА**

Приведены примеры сопоставления численных значений результатов экспериментов по определению несущей способности оснований и определению формы и размеров областей пластических деформаций с результатами, получаемыми на основе аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта для условий экспериментов. Отмечено удовлетворительное их соответствие. Изучено влияние переменных расчетных параметров на величину предельно допустимой нагрузки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: несущая способность основания, области пластических деформаций, фазы деформирования основания, смешанная задача теории упругости и теории пластичности грунта, деформации сдвига и их интенсивность, предельно допустимая нагрузка.

The article provides the examples of comparison of numerical values of the results of experiments on determination of bearing capacity of foundations and determination of the form and the sizes of areas of plastic deformations with the results obtained on the basis of the analytical solution of the mixed task of elasticity theory and soil plasticity theory for the conditions of the experiments. Their satisfactory compliance is noted. The authors study the influence of variable calculated parameters on the size of maximum load capacity.

К e y w o r d s: bearing capacity of the foundation, areas of plastic deformations, phases of deformation of the foundation, mixed task of elasticity theory and soil plasticity theory, shift deformations and their intensity, maximum load capacity.

При решении задачи о несущей способности грунтового основания необходимо определять размеры областей пластических деформаций, возникающих под краями фундамента, так как они, в свою очередь, определяют величину расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки.

Практически всегда для этих целей используется условие прочности Кулона [1], которое может быть записано следующим образом:

$$(\sigma_x - \sigma_z)2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2\sigma_{св})^2 \sin^2 \varphi, \quad (1)$$

где σ_x , σ_z и τ_{xz} — компоненты полного напряжения в рассматриваемой точке; $\sigma_{св} = C \operatorname{ctg} \varphi$ — давление связности; C , φ — соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта.

Области, границами которых являются кривые, проходящие через точки, в которых выполняются условия (1), считаются областями пластических деформаций (ОПД). Однако построенные таким образом пластические области не являются истинными. Причина заключается в том, что в точках, расположенных внутри этих областей, напряжения не могут отыскиваться методами теории упругости, т. к. здесь они не только являются функциями главного вектора нагрузок, но и зависят от физико-механических свойств грунта. Поэтому области пластических деформаций, положение и форма которых в большей степени соответствуют действительности, должны отыскиваться путем решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта.

Физическая модель этой задачи подразумевает, что между упругими и пластическими областями имеется четкая граница; грунт, находящийся в упругой области, подчиняется законам линейной теории упругости, а в пластических — законам теории пластичности; в обеих областях выполняются уравнения равновесия.

В работах [2—6] показано, что напряжения в точках пластической области (помечены штрихом) вычисляются по формулам (2)

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_z &= \sigma_z; \\ \sigma'_x &= \frac{\sigma_z(l - \sin \varphi) - 2\sigma_{cb} \sin \varphi}{l + \sin \varphi}; \\ \tau'_{xz} &= \frac{(\sigma_z + \sigma_{cb})b \sin \varphi}{l + \sin \varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $b = \operatorname{tg} 2\alpha^* = \operatorname{tg} 2[\alpha - (45^\circ + \varphi/2)]$; $l = (1 + b^2)^{\frac{1}{2}}$; σ_z , σ_x и τ_{xz} — компоненты напряжения в рассматриваемой точке, вычисленные при решении соответствующей задачи теории упругости.

Границы между упругими и пластическими областями определяются на основе соотношений (4—6):

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2(\tau_{zx} + \tau'_{zx})}{2\sigma_z - \sigma_x - \sigma'_x}; \quad (3)$$

$$\sin \varphi_\theta = \frac{l(\sigma_z(3 + \cos 2\theta) + \sigma_x(1 - \cos 2\theta) + 2\tau_{zx} \sin 2\theta)}{-(\sigma_z + \sigma_x) + 2\sigma_{cb} + \cos 2\theta(\sigma_x - 3\sigma_z - 2\sigma_{cb}) - 2\sin 2\theta(\tau_{zx} + b(\sigma_z + \sigma_{cb}))}. \quad (4)$$

В работе [7] авторами для изучения качественной и количественной сторон процесса деформирования грунта под штампом использовались методы фотограмметрии и фотофиксации траекторий перемещений частиц песка.

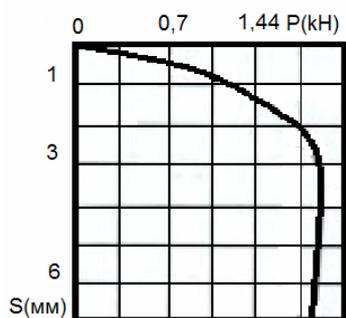


Рис. 1. График вида $S = f(P)$, построенный авторами [7] по результатам эксперимента

На рис. 1 приведен график зависимости осадки штампа от величины внешнего усилия P , передаваемого на модель фундамента.

Учитывая масштаб графика, величина P , соответствующая предельно допустимой нагрузке, определена равной $P_{пд} = 1,96$ кН. Отметим, что, согласно представлениям авторов [7], величина предельно допустимой нагрузки соответствует моменту времени, когда лавинно прогрессирующие осадки происходят без увеличения внешнего усилия.

Испытания проводились в лотке размерами 600×600×145 мм; в качестве штампа использована стальная полоса длиной 145 мм и шириной 50 мм. Материалом основания служил кварцевый песок средней крупности с удельным весом $\gamma = 2,66 \text{ МН/м}^3$, коэффициентом пористости $e_0 = 0,58$ и углом внутреннего трения $\varphi = 35^\circ$. Данных о величине удельного сцепления не приводится, однако, согласно [8], его величина $C = 1,7 \text{ кПа}$. Учитывая, что размеры штампа составляют $0,05 \times 0,145 \text{ м}$, величина интенсивности эквивалентной равномерно распределенной нагрузки $q_{\text{пл}}^{\text{экс}} = 0,27 \text{ МПа}$.

На рис. 2 (правая часть) приведены изолинии деформаций сдвига при осадке штампа, соответствующей моменту наступления предельной нагрузки. Изолиния со значением деформации сдвига 0,01 отождествляется авторами работы [7] с границей области пластических деформаций (справа). В левой части этого рисунка, в том же масштабе, изображена область пластических деформаций, построенная на основе «смешанного» решения [2] при помощи компьютерной программы [9] для нагрузки, соответствующей смыканию ОПД, образовавшихся под краями штампа. Эта нагрузка, в нашем понимании, является предельно допустимой. При этом величина расчетного значения интенсивности равномерно распределенной нагрузки, соответствующей предельно допустимому значению, $q_{\text{пл}}^{\text{расчет}} = 0,254 \text{ МПа}$. Нетрудно видеть, что эти два значения отличаются друг от друга на 6,3 %.

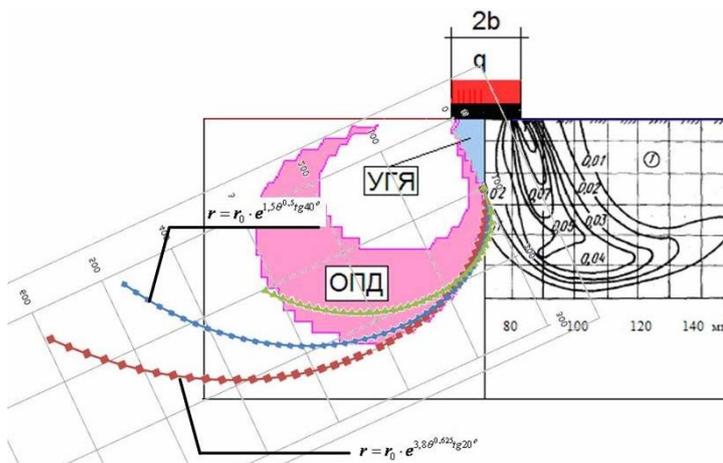


Рис. 2. Изолинии деформаций сдвига при осадке штампа, соответствующей моменту наступления предельной нагрузки (справа) (цит. по [7]); область пластических деформаций, построенная по решению [2] для условий работы [7] (слева)

Затем, сравнивая изображения, приведенные на рис. 2, отметим, что пластические области имеют подобные формы и примерно одинаковые размеры. Выше пластических областей в обоих случаях имеются зоны грунта, находящиеся в «допредельном» состоянии; упругое грунтовое ядро имеет форму равнобедренного треугольника с вогнутыми боковыми сторонами, а часть границы пластической области, построенной на основе «смешанного» решения, точно совпадает с дугой логарифмической спирали (отрезки зеленой, синей и красной кривых).

Учитывая, что полученный при помощи расчетов результат практически совпадает с результатом, полученным при проведении эксперимента, рассмотрим на данном примере, как повлияет на величину предельно допустимой нагрузки изменение переменных расчетных параметров: угла внутреннего трения φ , приведенного давления связности $\sigma_{св}$ и коэффициента бокового давления ξ_0 .

Отметим, что все вычисления проведены при помощи компьютерной программы [9], а параметры расчетной схемы и физико-механических свойств грунта основания в точности соответствуют данным, приведенным в [7].

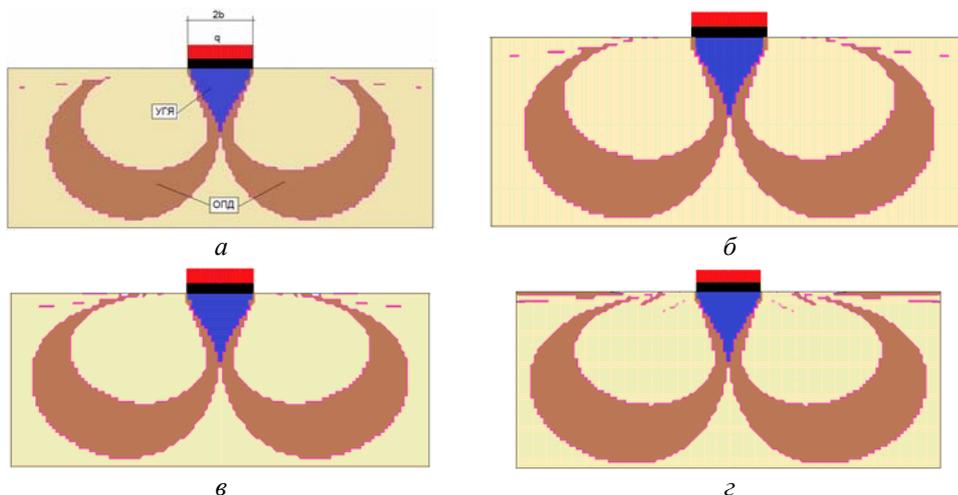


Рис. 3. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузки предельно допустимого значения при $\xi_0 = 0,42$; $\varphi = 35^\circ$ и $\sigma_{св} = 0$ (а); $\sigma_{св} = 1,0$ (б); $\sigma_{св} = 2,0$ (в); $\sigma_{св} = 5,0$ (г)

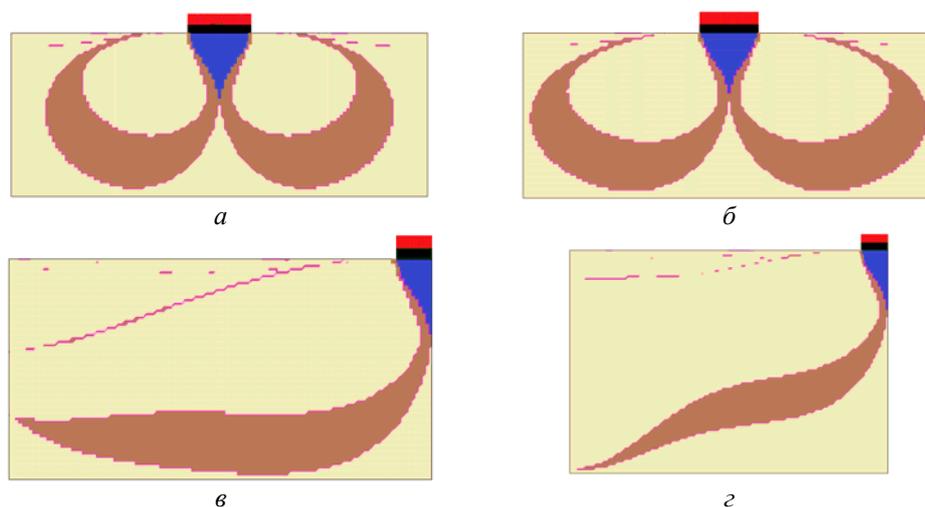


Рис. 4. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузки предельно допустимого значения при $\sigma_{св} = 1,861$; $\varphi = 35^\circ$ и $\xi_0 = 0,4$ (а); $\xi_0 = 0,5$ (б); $\xi_0 = 0,6$ (в); $\xi_0 = 0,65$ (г)

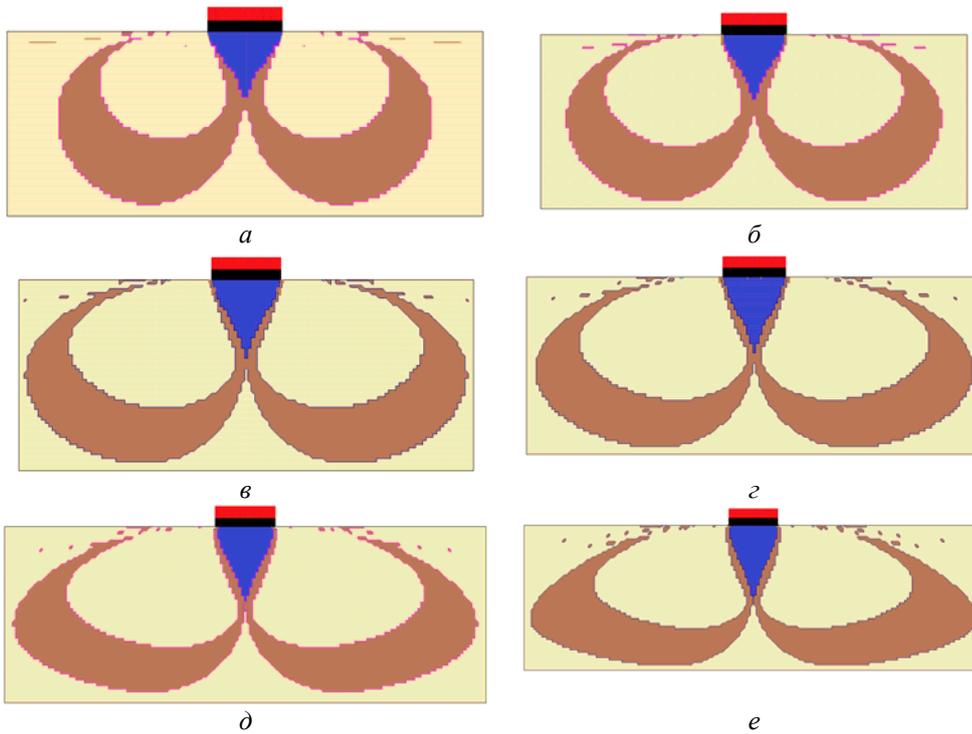
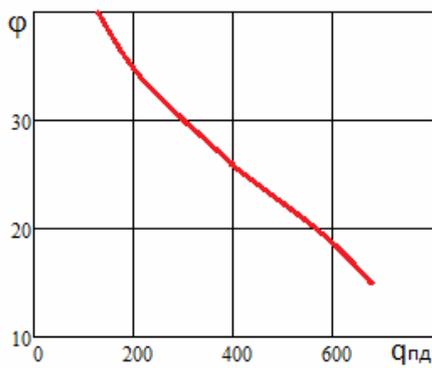


Рис. 5. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузки предельно допустимого значения при $\sigma_{св} = 1,861$; $\xi_0 = 0,42$ и $\varphi = 40^\circ$ (а); $\varphi = 35^\circ$ (б); $\varphi = 30^\circ$ (в); $\varphi = 25^\circ$ (г); $\varphi = 20^\circ$ (д); $\varphi = 15^\circ$ (е)

На рис. 3—5 приведены изображения областей пластических деформаций в момент смыкания их под подошвой фундамента, что по существующим в механике грунтов представлениям соответствует величине предельно допустимой нагрузки на основание.



φ	$q_{пд}$, МПа
15	0,87
20	0,632
25	0,442
30	0,292
35	0,174

Рис. 6. Графическая зависимость вида $q_{пд} = f(\varphi)$

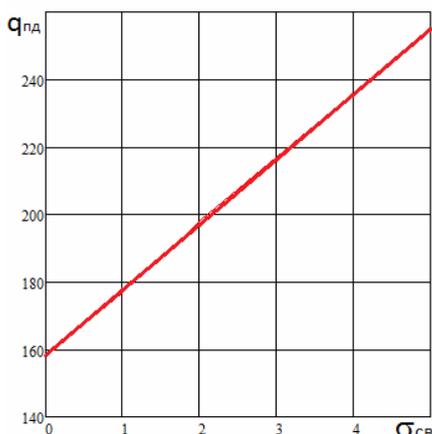


Рис. 7. Графическая зависимость вида $q_{пд} = f(\sigma_{св})$

$\sigma_{св}$	$q_{пд}$, МПа
0	0,158
1,0	0,177
1,54	0,195
2,0	0,198
5,0	0,255

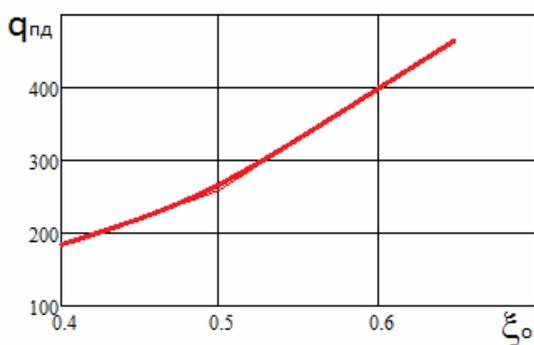


Рис. 8. Графическая зависимость вида $q_{пд} = f(\xi_0)$

ξ_0	$q_{пд}$, МПа
0,40	0,185
0,42	0,195
0,50	0,260
0,60	0,401
0,65	0,468

На рис. 6—8 приведены графические интерпретации результатов вычислений в виде кривых вида $q_{пд} = f(\varphi)$, $q_{пд} = f(\sigma_{св})$ и $q_{пд} = f(\xi_0)$, а в сопряженных с ними таблицах — численные значения предельно допустимой интенсивности равномерно распределенной нагрузки $q_{пд}$ при соответствующих значениях рассматриваемых переменных расчетных параметров.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что изменение угла внутреннего трения φ с 35° до 15° при всех прочих равных условиях влечет за собой изменение величины предельно допустимой нагрузки ровно в 3 раза; увеличение значения приведенного давления связности $\sigma_{св}$ от 0 до 5 вызывает рост предельной нагрузки на 63 %, а изменение величины коэффициента бокового давления ξ_0 от 0,4 до 0,65 повышает предельную величину интенсивности равномерно распределенной нагрузки на 153 %. При этом из рис. 6—8 видно, что все три зависимости близки к линейным.

Рассмотрим результаты еще одного эксперимента. В работе [10] приведены результаты экспериментального определения областей пластических деформаций в основании квадратного штампа. В основу эксперимента положена методика определения границ зон предельного состояния грунта, которая предложена в работах [11, 12]. При этом в качестве параметра упрочнения модели грунта принята интенсивность деформаций сдвига ε_i , которая позволяет однозначно сравнивать деформированное состояние в различных точках среды по величине деформации формы. С помощью параметра $\eta = \varepsilon_i^0 / \varepsilon_i^j$, где ε_i^0 — интенсивность сдвиговых деформаций грунта в основании, а ε_i^j — интенсивность деформаций сдвига при пиковой прочности грунта, производится оценка напряженного состояния грунта. В областях основания, где $\eta < 1$, грунт находится в допредельном состоянии, а в зонах, где $\eta \geq 1$, он переходит в предельное состояние.

По результатам эксперимента построена графическая зависимость «нагрузка — осадка штампа», приведенная на рис. 9, которой мы воспользовались для определения величины предельно допустимого значения нагрузки на основание.

Используя данные, приведенные в [10], нами выполнены расчеты при помощи компьютерной программы [9], в результате которых определено расчетное значение $q_{\text{пд}}$. Оказалось, что это значение равно $q_{\text{пд}}^{\text{расчет}} = 0,193$ МПа, в то время как $q_{\text{пд}}^{\text{экспер}} = 0,18$ МПа. Легко видеть, что эти значения отличаются друг от друга на 7,2%. Отметим, что, как и в первом случае, при расчете значения переменных расчетных параметров приняты по данным, приведенным в [10].

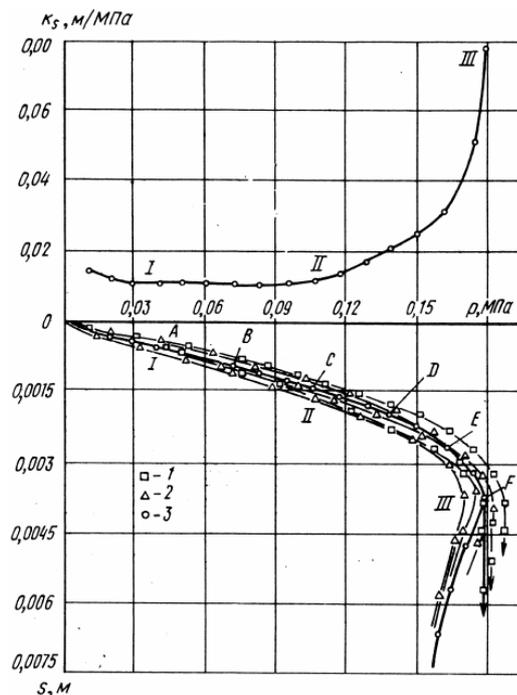


Рис. 9. Экспериментальный график «нагрузка — осадка» по данным работы [10]

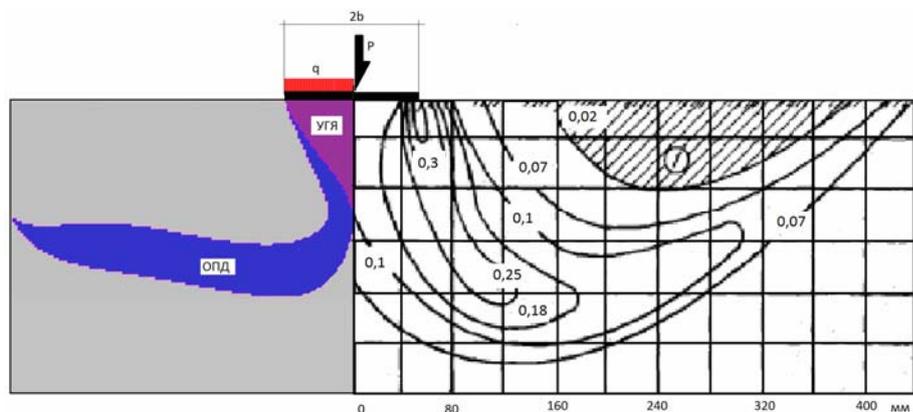


Рис. 10. Сопоставление экспериментальных (по данным работы [10]) и расчетных данных

На рис. 10 приведены области пластических деформаций в момент достижения нагрузкой предельно допустимого значения, полученные при помощи расчета (слева) и авторами работы [10] (справа). Хорошо видно, что формы ОПД в обоих случаях очень похожи, однако область, приведенная в работе [10] (она ограничена заштрихованной зоной «1» и изолинией сдвиговых деформаций 0,07), несколько больше, чем размеры расчетной пластической области.

Для данного случая выполнены расчеты, аналогичные тем, что описаны выше, в результате которых построены графические зависимости величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки, соответствующей предельному состоянию основания.

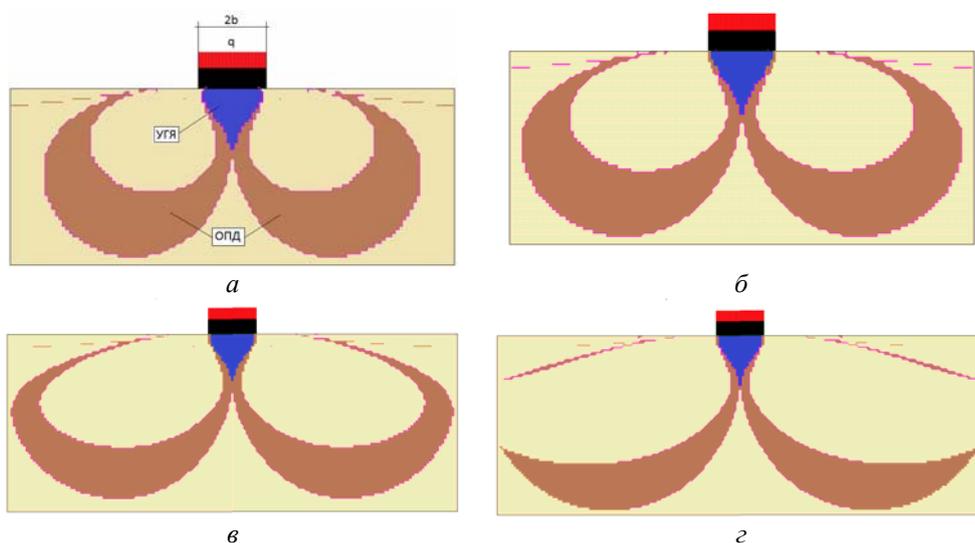


Рис. 11. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузкой предельно допустимого значения при $\sigma_{св} = 1,54$; $\varphi = 40^\circ$ и $\xi_0 = 0,42$ (а); $\xi_0 = 0,5$ (б); $\xi_0 = 0,6$ (в); $\xi_0 = 0,65$ (г) (пример № 2)

На рис. 11—13 изображены области пластических деформаций, построенные на основе приближенного решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта.

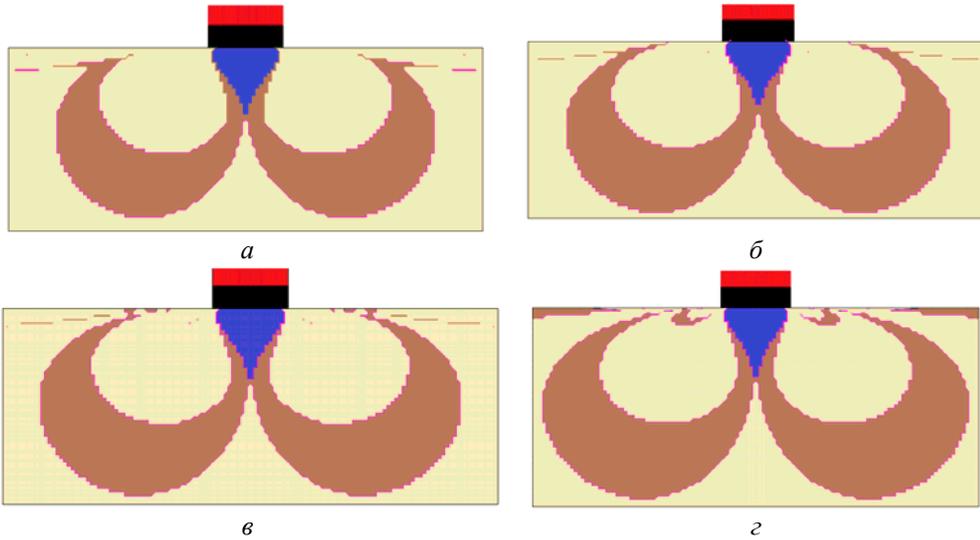


Рис. 12. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузки предельно допустимого значения при $\xi_0 = 0,42$; $\varphi = 40^\circ$ и $\sigma_{св} = 0$ (а); $\sigma_{св} = 1,0$ (б); $\sigma_{св} = 2,0$ (в); $\sigma_{св} = 5,0$ (г) (пример № 2)

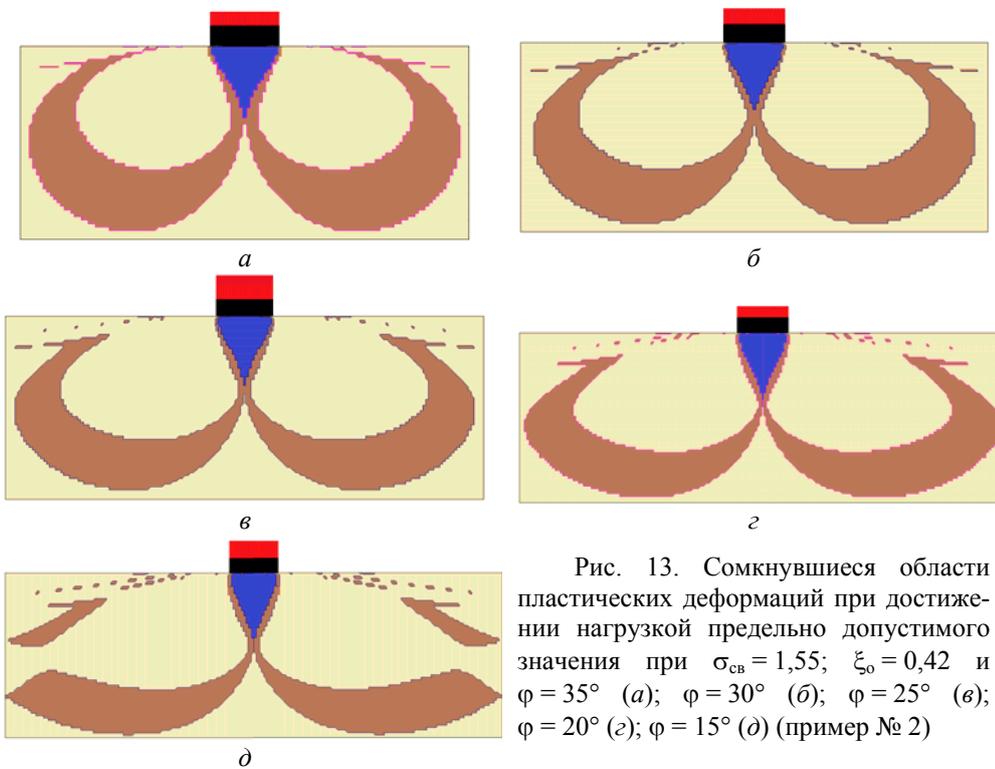


Рис. 13. Сомкнувшиеся области пластических деформаций при достижении нагрузки предельно допустимого значения при $\sigma_{св} = 1,55$; $\xi_0 = 0,42$ и $\varphi = 35^\circ$ (а); $\varphi = 30^\circ$ (б); $\varphi = 25^\circ$ (в); $\varphi = 20^\circ$ (г); $\varphi = 15^\circ$ (д) (пример № 2)

На рис. 14—16 приведены графические зависимости вида $q_{\text{пд}} = f(\varphi)$, $q_{\text{пд}} = f(\sigma_{\text{св}})$ и $q_{\text{пд}} = f(\xi_0)$, а в сопряженных с ними таблицах — численные значения предельно допустимой интенсивности равномерно распределенной нагрузки $q_{\text{пд}}$ при соответствующих значениях рассматриваемых переменных расчетных параметров.

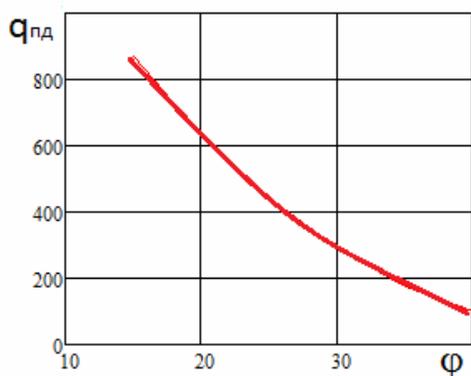


Рис. 14. Графическая зависимость вида $q_{\text{пд}} = f(\varphi)$ (пример № 2)

φ	$q_{\text{пд}}$, МПа
15	0,870
20	0,632
25	0,442
30	0,292
35	0,174
40	0,099

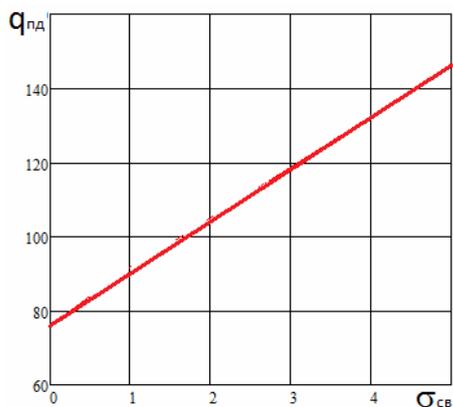
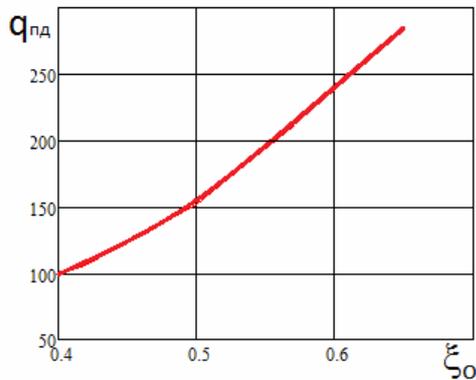


Рис. 15. Графическая зависимость вида $q_{\text{пд}} = f(\sigma_{\text{св}})$ (пример № 2)

$\sigma_{\text{св}}$	$q_{\text{пд}}$, МПа
0,00	0,076
1,00	0,092
1,55	0,099
2,00	0,105
5,00	0,146

Легко видеть, что полученные кривые аналогичны приведенным на рис. 6—8. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что изменение угла внутреннего трения φ с 35 до 15° при всех прочих равных условиях влечет за собой изменение величины предельно допустимой нагрузки в 8,78 раза; увеличение значения приведенного давления связности $\sigma_{\text{св}}$ от 0 до 5 вызывает рост предельной нагрузки на 92 %, а изменение величины коэффициента бокового давления ξ_0 от 0,4 до 0,65 повышает предельную величину интенсивности равномерно распределенной нагрузки в 2,9 раза. При этом из рис. 14—16 видно, что все три зависимости близки к линейным, как и для ранее рассмотренного примера.



ξ	$q_{пл}$
0,40	0,099
0,42	0,106
0,50	0,152
0,60	0,236
0,65	0,287

Рис. 16. Графическая зависимость вида $q_{пл} = f(\xi_0)$ (пример № 2)

Основываясь на приведенные выше данные, можно сделать следующие *выводы*:

1. Численные значения предельно допустимых нагрузок, полученные в результате решения смешанной задачи о несущей способности оснований, выполненного для условий описанных в работе экспериментов, совпадают с экспериментальными данными с точностью 6,3 % и 7,2 %.

2. Изменение численных значений переменных расчетных параметров сказывается на размерах и форме областей пластических деформаций, соответствующих предельному состоянию основания, весьма незначительно: глубина их развития практически не изменяется, основное увеличение размеров наблюдается в горизонтальном направлении. При определенных значениях физико-механических свойств грунта основания происходит «раскрытие» или «расслоение» пластических областей.

3. Установлено, что величина предельно допустимой нагрузки для условий обоих рассмотренных примеров зависит от численных значений переменных расчетных параметров — угла внутреннего трения, приведенного давления связности и коэффициента бокового давления грунта. Причем в обоих случаях эти зависимости близки к линейным.

4. Для условий первого примера изменение угла внутреннего трения φ с 35° до 15° при всех прочих равных условиях влечет за собой изменение величины предельно допустимой нагрузки ровно в 3 раза; увеличение значения приведенного давления связности $\sigma_{св}$ от 0 до 5 вызывает рост предельной нагрузки на 63 %, а изменение величины коэффициента бокового давления ξ_0 от 0,4 до 0,65 повышает предельную величину интенсивности равномерно распределенной нагрузки на 153 %. Для условий второго примера эти значения составляют 8,78 раз, 92 % и 190 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Coulomb C.* Application des règles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture. Memoires de savants etrangers de L'Academie des sciences de Paris, 1773.
2. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь: ПГТУ, 1996. 150 с.

3. Развитие областей пластических деформаций в однородном основании гибкого ленточного фундамента в рамках модели смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, В. В. Подтелков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Ст. 7. URL: <http://vestnik.vgasu.ru/>

4. Напряженное состояние и области пластических деформаций в однородном основании ленточного фундамента в условиях смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, А. В. Прокопенко, А. В. Соловьев // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике : материалы науч.-технич. конф. 27—29 октября 2013 г. М. : НОУ ВПО «ИНЕП» : Издательство «Палеотип», 2013. С. 9—22.

5. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А.* Смешанная задача теории упругости и теории пластичности грунта для однородного основания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 33(52). С. 13—22.

6. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Mixed task of the theory of elasticity and theory of plasticity of soil for the uniform basis // Збірник наукових праць (галузево машинобудування, будівництво). Вип. 3(38). Т. 1. ПолтНТУ, 2013. С. 3—15.

7. *Болдырев Г. Г., Никитин Е. В.* Деформации песка в основании полосового штампа // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 1. С. 26—28.

8. СНиП 2.03.01—83*. Основания зданий и сооружений. М. : ФГУП ЦПП, 2006. 48 с.

9. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ : пат. Рос. Федерации № 2009613499 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков ; опубли. 18.12.2009, Бюл. № 23 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.

10. *Елизаров С. А., Малышев М. В.* Критерии несущей способности и различные фазы деформирования основания // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1993. № 4. С. 2—5.

11. Локализация деформаций и разрушение песчаного грунта в основании полосового штампа / С. А. Елизаров, В. С. Копейкин, В. М. Демкин, А. С. Саенко // Межвузовский сборник. Йошкар-Ола, 1989. С. 50—54.

12. Разрушение песчаного грунта в основании при нагружении полосовым штампом / В. С. Копейкин, В. М. Демкин, А. С. Саенков, С. А. Елизаров // Межвуз. сб. Новочеркасск, 1986. С. 121—125.

1. *Coulomb C.* Application des rigles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture. Memoires de savants etrangers de L'Academie des sciences de Paris, 1773.

2. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchei sposobnosti osnovanii sooruzhenii i ustoichivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoi postanovke. Perm': PGTU, 1996. 150 с.

3. Razvitiye oblastei plasticheskikh deformatsii v odnorodnom osnovanii gibkogo lentochного fundamenta v ramkakh modeli smeshannoi zadachi teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, A. I. Vaingol'ts, V. V. Podtelkov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. Vyp. 2(27). St. 7. URL: <http://vestnik.vgasu.ru/>

4. Napryazhennoe sostoyanie i oblasti plasticheskikh deformatsii v odnorodnom osnovanii lentochного fundamenta v usloviyakh smeshannoi zadachi teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, A. I. Vaingol'ts, A. V. Prokopenko, A. V. Solov'ev // Innovatsionnye konstruksii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike : materialy nauch.-tekhnich. konf. 27—29 oktyabrya 2013 g. M. : NOU VPO «INEP» : Izdatel'stvo «Paleotip», 2013. S. 9—22.

5. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Smeshannaya zadacha teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta dlya odnorodного osnovaniya // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvenного arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2013. Vyp. 33(52). S. 13—22.

6. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Mixed task of the theory of elasticity and theory of plasticity of soil for the uniform basis // Zbirnik naukovikh prats' (galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo). Vip. 3(38). T. 1. PoltNTU, 2013. S. 3—15.

7. *Boldyrev G. G., Nikitin E. V.* Deformatsii peska v osnovanii polosovogo shtampa // Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov. 1987. № 1. S. 26—28.

8. СНиП 2.03.01—83*. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenii. M. : FGUP TsPP, 2006. 48 s.

9. Ustoichivost' (napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svidetel'stvo o gos. registratsii programmy dlya EVM : pat. Ros. Federatsii № 2009613499 / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova,

М. Yu. Nestratov, N. N. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov ; opubl. 18.12.2009, Byul. № 23 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009. 1 s.

10. Elizarov S. A., Malyshev M. V. Kriterii nesushchei sposobnosti i razlichnye fazy deformirovaniya osnovaniya // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1993. № 4. S. 2—5.

11. Lokalizatsiya deformatsii i razrushenie peschanogo grunta v osnovanii polosovogo shtampa / S. A. Elizarov, V. S. Kopeikin, V. M. Demkin, A. S. Saenko // Mezhvuzovskii sbornik. Ioshkar-Ola, 1989. S. 50—54.

12. Razrushenie peschanogo grunta v osnovanii pri nagruzhonii polosovym shtampom / V. S. Kopeikin, V. M. Demkin, A. S. Saenkov, S. A. Elizarov // Mezhvuz. sb. Novocherkassk, 1986. S. 121—125.

© Богомолов А. Н., Прокопенко А. В., 2015

*Поступила в редакцию
в феврале 2014 г.*

Ссылка для цитирования:

Богомолов А. Н., Прокопенко А. В. Влияние численных значений физико-механических свойств основания на величину предельно допустимой нагрузки, определенной на основе решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2015. Вып. 1(37). Ст. 17. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

*Bogomolov A. N., Prokopenko A. V. [Influence of numerical values of physical and mechanical properties of the foundation on the size of maximum load capacity defined on the basis of the solution of mixed task of elasticity theory and soil plasticity theory]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 1(37), paper 17. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>*