

УДК 624.131

А. Н. Богомолов, М. А. Шубин, В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков, А. В. Прокопенко, А. В. Савинов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОРИЕНТАЦИИ ПЛОЩАДКИ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОГО СДВИГА В ТОЧКЕ ГРУНТОВОГО МАССИВА И ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ ОБЛАСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Рассмотрены два подхода к определению угла ориентации наиболее вероятной площадки сдвига в точке грунтового массива. Делается вывод о необходимости проведения этой операции на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунта. Опираясь на этот вывод, авторы провели анализ процесса образования и развития областей пластических деформаций в связном основании ленточного фундамента мелкого заложения. Установлено, что этот процесс является поэтапным и каждый его этап характеризуется одной из критических нагрузок.

К л ю ч е в ы е с л о в а: физико-механические свойства, напряженное состояние, условие прочности, площадка наиболее вероятного сдвига, области пластических деформаций, «скорости» и «ускорения» роста размеров ОПД, критические нагрузки на основание.

Two approaches to the determination of the orientation angle of the most probable shift area at soil mass are considered. It is concluded that there is a need in conducting of this operation based on the analysis of the stress-strain state of the soil. Based on this conclusion, the authors carried out the analysis of the formation and development of the plastic deformation areas in a coherent basis of continuous footing of subsurface. It was determined that this process is gradual and each stage is characterized by one of the critical loads.

К е у w o r d s: physical and mechanical properties, stress state, strength condition, area of most probable shift, plastic deformation areas, «speeds» and «accelerations» of PDA measurement growth, critical foundation loading.

При решении задачи об устойчивости грунтового массива (откоса, склона или основания инженерного сооружения) в плоской постановке возникает необходимость построения наиболее вероятной (опасной, экстремальной) поверхности разрушения (НВПР) (следа поверхности скольжения или выпора) грунта. Чтобы провести это построение, следует знать величину угла наклона $\alpha_{\text{экт}}$ наиболее вероятной площадки сдвига в каждой точке грунтового массива, при заданных граничных условиях.

Под наиболее вероятной площадкой сдвига (НВПС) подразумевается одна из множества возможных площадок сдвига, построенных в рассматриваемой точке, величина расчетного коэффициента запаса устойчивости для которой $K_t = K_{t \min}$. Если $K_{t \min} > 1$, то точка находится в допредельном состоянии, если $K_{t \min} = 1$, то в предельном.

С одной стороны, существуют методы расчета, основанные на предположении, что форма НВПР известна (дуга окружности, логарифмической спирали и т. д.), тогда нет необходимости нахождения значений углов $\alpha_{\text{экт}}$. В этом случае НВПР выбирается из множества возможных поверхностей на основании выполнения условия $K = K_{\min}$.

С другой стороны, существуют методы расчета, когда положение и форма НВПР находятся на основе анализа напряженного состояния грунтового массива как функции физико-механических свойств грунтов (ФМСГ), геометрии грунтового массива и главного вектора внешней нагрузки [1—4].

Существует несколько подходов к решению задачи об определении угла ориентации площадки наиболее вероятного сдвига. Рассмотрим некоторые из них.

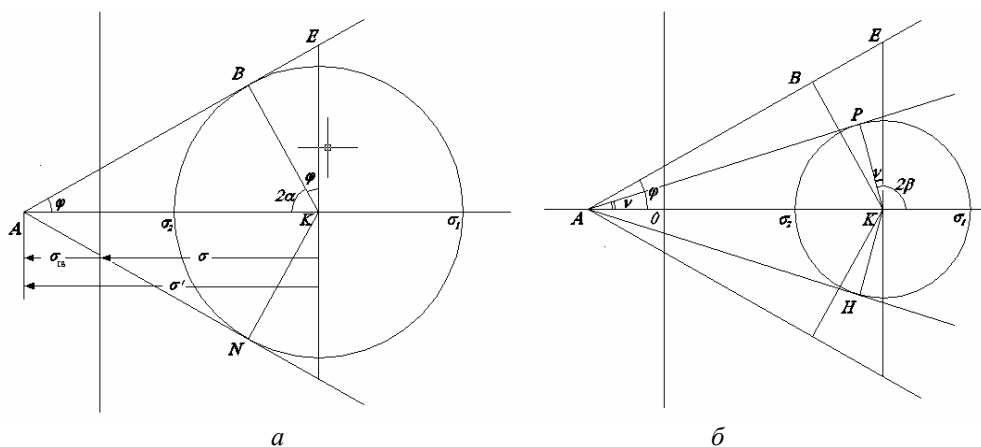


Рис. 1. Круги Мора для предельного (а) и допредельного (б) состояния в точке грунтового массива

Нормальное σ_n и касательное τ_n напряжения, действующие в направлениях главных осей в точке грунтового массива, могут быть выражены через главные напряжения следующим образом:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha, \quad \tau_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\alpha. \quad (1)$$

На рис. 1 с использованием кругов Мора представлена геометрическая интерпретация соотношений (1), с помощью которых можно записать выражение соответствующего условия прочности:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2C \operatorname{ctg} \varphi}. \quad (2)$$

Левая часть соотношения (2) $\sin \varphi = \frac{BK}{AK}$ определяется прочностью грунта, его правая часть — $\sin v = \frac{PK}{AK} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2C \operatorname{ctg} \varphi}$ определяется фактическим напряженным состоянием грунта в точке.

В допредельном состоянии $v < \varphi$, так как $PK < BK$. По мере увеличения нагрузки угол v увеличивается и в предельном напряженном состоянии (рис. 1, а), $PK = BK$ и $\sin \varphi = \sin v$, что соответствует выполнению равенства (2). Направление KB соответствует максимальному касательному напряжению в предельном напряженном состоянии.

Величина $K = \frac{\sin \varphi}{\sin v} = \frac{\varphi}{v}$ в предельном состоянии равна единице и увеличивается по мере уменьшения нагрузки. При $K \geq 1$ нагрузка меньше критической для всех углов α . Поэтому величину K можно называть коэффициентом запаса устойчивости в точке грунтового массива. Линия, в каждой точке которой выполняется равенство $K = 1$, также является границей области предельного состояния грунта.

Из рис. 1, а следует, что в предельном состоянии $\angle AKB = \angle AKN = \pm \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)$

соответственно. Тогда, обозначив через α угол между направлением $\overline{\sigma_1}$ и направлением, соответствующим максимальному касательному напряжению $\tau_{\max}$, получим $2\alpha = \pm \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right)$ или $\alpha = \pm \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$.

Угол α не зависит от того при каких значениях главных напряжений σ_1 и σ_2 наступает предельное состояние, выражение для α справедливо не только для критической, но и для любых, меньших по величине, нагрузок. Это означает, что для площадки, ориентированной под углом α , разность между удерживающей и сдвигающей силами будет меньше, чем для любой другой площадки, угол ориентации которой $\beta \neq \alpha$.

Положение оси σ_1 относительно оси x расчетной схемы определяется углом θ , который находим по формуле

$$\theta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right). \quad (3)$$

Таким образом, угол наклона вектора максимального касательного напряжения $\tau_{\max}$, а значит, и площадки наиболее вероятного сдвига относительно оси X расчетной схемы будет равен:

$$Q = \alpha + \theta = \pm \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right). \quad (4)$$

Такое значение угла Q используется, например, в работах [5, 6] для построения наиболее вероятной линии скольжения. Анализ этого выражения показывает, что величина угла ориентации площадки наиболее вероятного сдвига является функцией напряженного состояния и угла внутреннего трения.

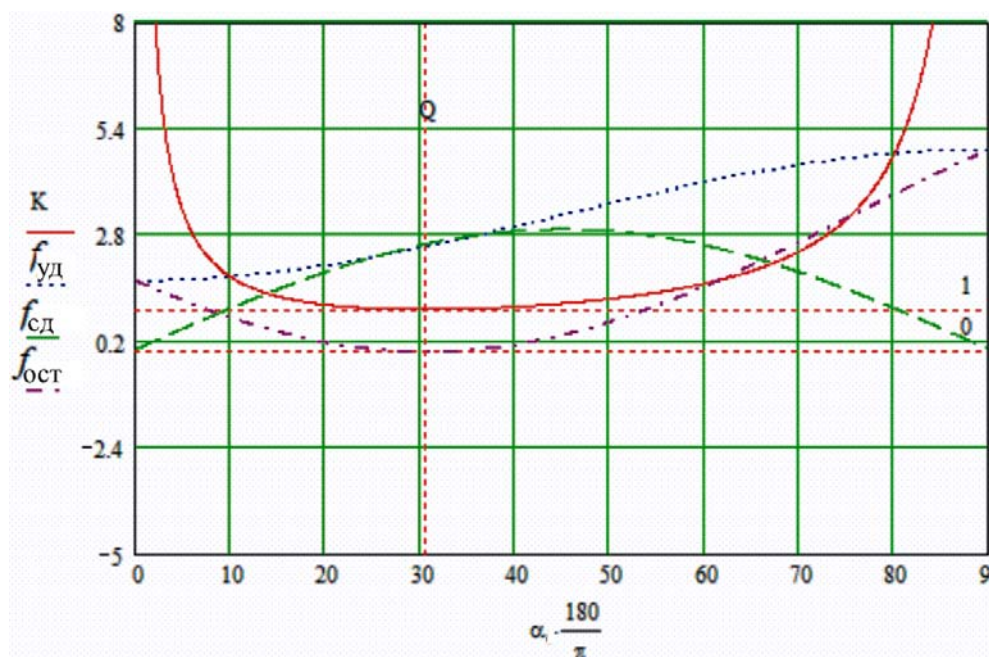
Рассмотрим еще один способ определения угла наиболее вероятного сдвига, для чего составим выражение

$$f_{\text{ост}} = C + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi - \tau_n, \quad (5)$$

где $f_{\text{ост}}$ — остаточное сопротивление сдвигу [1].

Выразив нормальное и касательное напряжения, действующие по наклонной площадке, через компоненты напряжения σ_y , σ_x ; τ_{xy} и угол ее наклона α , подставив их в выражение (5), а затем взяв производную $\frac{df_{\text{ост}}}{d\alpha}$ и при-

равняв ее к нулю, найдем величину угла наклона площадки, соответствующую минимальному значению остаточного сопротивления сдвигу. Ясно, что в полученное выражение величина удельного сцепления C входить не будет.

Рис. 2. Графики зависимостей вида $K = f(\alpha)$; $f_{\text{ост}} = f(\alpha)$; $f_{\text{уд}} = f(\alpha)$ и $f_{\text{сд}} = f(\alpha)$

На рис. 2 приведены графические зависимости величин коэффициента запаса устойчивости K , остаточного сопротивления сдвигу $f_{\text{ост}}$, удерживающих $f_{\text{уд}}$ и сдвигающих сил $f_{\text{сд}}$, действующих в точке грунтового массива по наклонной площадке, угол ориентации которой изменяется от 0 до 90°. При этом безразмерные (в долях γH , где γ и H — соответственно объемный вес грунта и генеральный размер исследуемого объекта) напряжения в рассматриваемой точке равны $\sigma_x = 1,3$; $\sigma_y = 5,6$; $\tau_{xy} = 2$, а ФМСГ таковы, что давление связности $\sigma_{\text{св}} = 1,4$ при $\varphi = 28,6^\circ$.

Из рис. 2 видно, что минимум значения остаточного сопротивления сдвигу $f_{\text{ост}}$ соответствует площадке, ориентированной к оси абсцисс под углом $Q = \alpha_{\text{экстр}}^* = 31^\circ$, величина которого определяется формулой (4). Следует отметить, что данное обстоятельство сохраняется при всех реальных (вычисленных на основе МКЭ) значениях напряжений в точках рассматриваемого грунтового массива.

Рассмотрим еще один возможный вариант нахождения угла $\alpha_{\text{экстр}}$, понятие коэффициента запаса устойчивости в точке грунтового массива K_t , определяемого выражением

$$K_t = \frac{\sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C}{\tau_n}. \quad (6)$$

Если заменить напряжения σ_n и τ_n напряжениями σ_y ; σ_x ; τ_{xy} и исследовать полученное выражение на экстремум, взяв производные $\frac{dK}{d\alpha}$ и $\frac{d^2K}{d\alpha^2}$ [1, 2], то получим выражения для определения угла $\alpha_{\text{экстр}}$, при котором величина $K = K_{\text{min}}$:

$$K_t = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{св} \right] \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}. \quad (7)$$

$$\sin 2\alpha_{1,2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (8)$$

где $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{св})$; $D = 4\tau_{xz}^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2$.

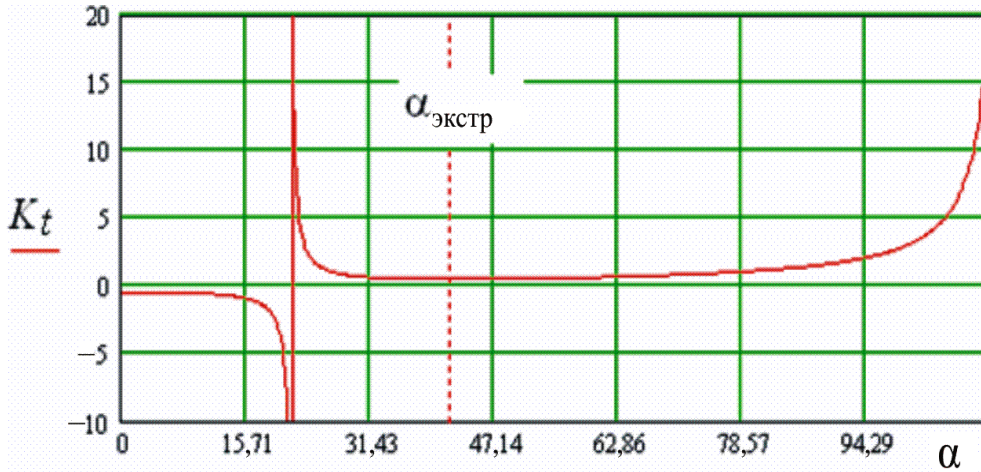


Рис. 3. Графические зависимости вида $K_t = f(\alpha)$

На рис. 3 приведены графические зависимости величины коэффициента устойчивости K_t в точке грунтового массива по наклонной площадке, угол ориентации которой изменяется от 0 до 90°. Безразмерные напряжения в точке грунтового массива и физико-механические свойства грунта для удобства сравнения результатов взяты те же, что и в предыдущем примере.

Из рис. 3 видно, что экстремальное значение K_t соответствует величине $\alpha_{\text{экстр}} = 42^\circ$, вычисленной по формуле (8), полученной в результате исследования выражения (7) на экстремум.

Сравнивая приведенные выше результаты, следует отметить, что углы ориентации НВПС отличаются друг от друга на 11° , а величины соответствующих коэффициентов запаса устойчивости лишь на 3,5 %. Это объясняется тем, что в первом случае величины Q и K являются функциями тех же параметров, что и во втором случае, но кроме сцепления. Кроме того, величина $f_{\text{ост}}$ остаточного сопротивления сдвигу имеет размерность напряжений, Па, а величина коэффициента устойчивости в точке грунтового массива K_t — величина безразмерная, физический смысл этих величин различен. Следовательно, на основе анализа результатов многочисленных вычислений установлено, что положение и форма наиболее вероятных поверхностей скольжения, построенных на основании методик, приведенных в [1, 2, 5], использующих разные подходы к определению $\alpha_{\text{экстр}}$, отличаются незначительно.

При расчете оснований фундаментов сооружений и грунтовых откосов на устойчивость (I предельное состояние) могут быть использованы, помимо прочих, следующие два подхода:

1. Нахождение таких величин переменных расчетных параметров (интенсивность, положение, протяженность, ориентация внешних силовых воздействий, геометрия объектов, ФМСГ и т. д.), при которых величина коэффициента запаса устойчивости грунтового массива, вычисленная для наиболее вероятной поверхности разрушения (выпора, скольжения), равна его нормативному значению (рис. 4, а, б).

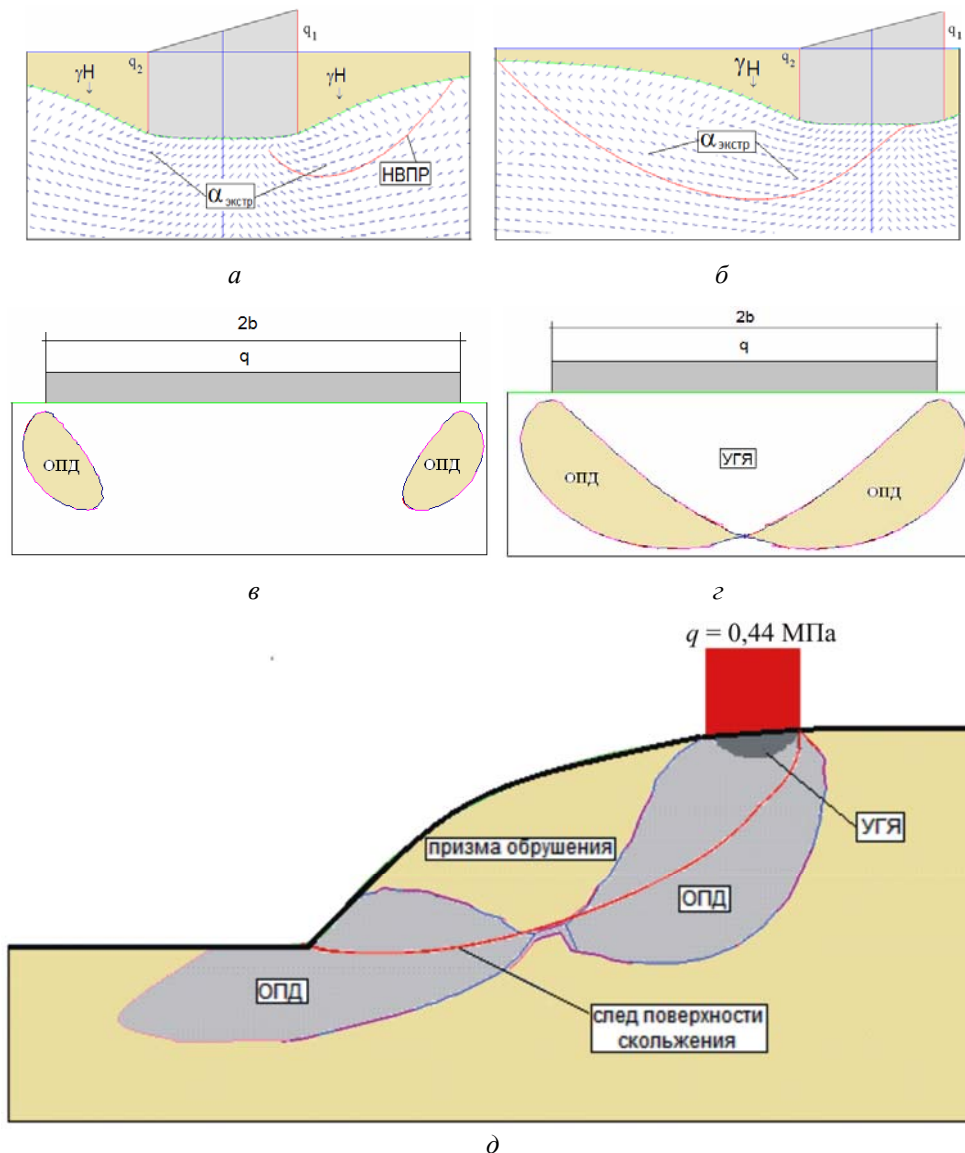


Рис. 4. Расчетная схема для определения коэффициента запаса устойчивости основания заглубленного фундамента (а; б), величины расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки на основание незаглубленного ленточного фундамента (в, г) и величины предельно допустимой нагрузки для криволинейного откоса (д)

2. Нахождение тех же величин при условии смыкания областей пластических деформаций (ОПД) под подошвой фундамента (рис. 4, в, з) или образование сплошной ОПД, вмещающей в себя наиболее вероятную поверхность разрушения (рис. 4, д).

Границы областей пластических деформаций, изображенных на рис. 3, в—д, представляют собой линии, в каждой точке которых выполняется условие $K_t = 1$ при $\alpha = \alpha_{\text{экстр}}$.

Используя это представление, нами проведен анализ процесса образования и развития областей пластических деформаций в основании ленточного фундамента мелкого заложения, который, как установлено в [7—10], протекает со следующими особенностями:

1. Каждую из кривых вида $z = f(q)$ (рис. 5), описывающих зависимость глубины развития ОПД под подошву фундамента z от величины интенсивности внешнего воздействия q , можно разбить на три участка, представляющие собой отрезки прямой линии, плавно переходящие друг в друга (см. рис. 5, а крайнюю правую кривую; верхние участки CD очень короткие). Это означает, что величина z на каждом из этих участков прямо пропорциональна величине интенсивности внешнего воздействия q , а каждый из этих участков соответствует одному из трех этапов развития ОПД.

2. Все кривые, изображенные на рис. 5, не исходят из начала координат. Это значит, что для начала процесса образования и развития ОПД необходим некоторый начальный уровень напряжений, при котором преодолевается внутреннее сопротивление грунта сдвигу в точках активной зоны фундамента, расположенных в непосредственной близости от его краев. Этот уровень напряжений при всех прочих равных условиях существенно зависит от величины угла внутреннего трения грунта φ .

3. На первом, втором и третьем этапах процесса развития ОПД соответствующие им отрезки кривых вида $z = f(q)$ практически параллельны друг другу, что означает равенство «скоростей роста» V_z областей пластических деформаций на соответствующих этапах их развития. Величины V_z при всех прочих равных условиях не зависят от угла внутреннего трения грунта φ .

«Скорость роста» ОПД $V_z = \frac{dz}{dq}$ на втором этапе больше, чем на первом (участок AB) и третьем (участок CD) этапах развития областей пластических де-

формаций. Кривые вида $A_z = f(q)$, где $A_z = \frac{d^2z}{dq^2}$ («ускорение роста ОПД»),

приведенные на рис. 5, в, имеют горизонтальные участки, совпадающие с осью абсцисс. Это означает, что первый и третий этапы процесса развития ОПД проходят с постоянными, незначительно отличающимися друг от друга по величине «скоростями».

4. В начале второго этапа (участок BC) происходит смыкание областей пластических деформаций, развивающихся под краями фундамента, после чего «скорость роста» ОПД V_z резко возрастает при ничтожно малом увеличении интенсивности внешнего воздействия q . Размер областей пластических деформаций почти мгновенно увеличивается до некоторого размера, опреде-

ляемого геометрическими параметрами фундамента и значениями физико-механических свойств грунта. После этого «скорость роста» ОПД также резко снижается и для дальнейшего увеличения их размеров требуется существенный рост интенсивности внешней нагрузки. Это, по нашему мнению, можно объяснить тем, что размеры ОПД превысили размеры активной зоны фундамента.

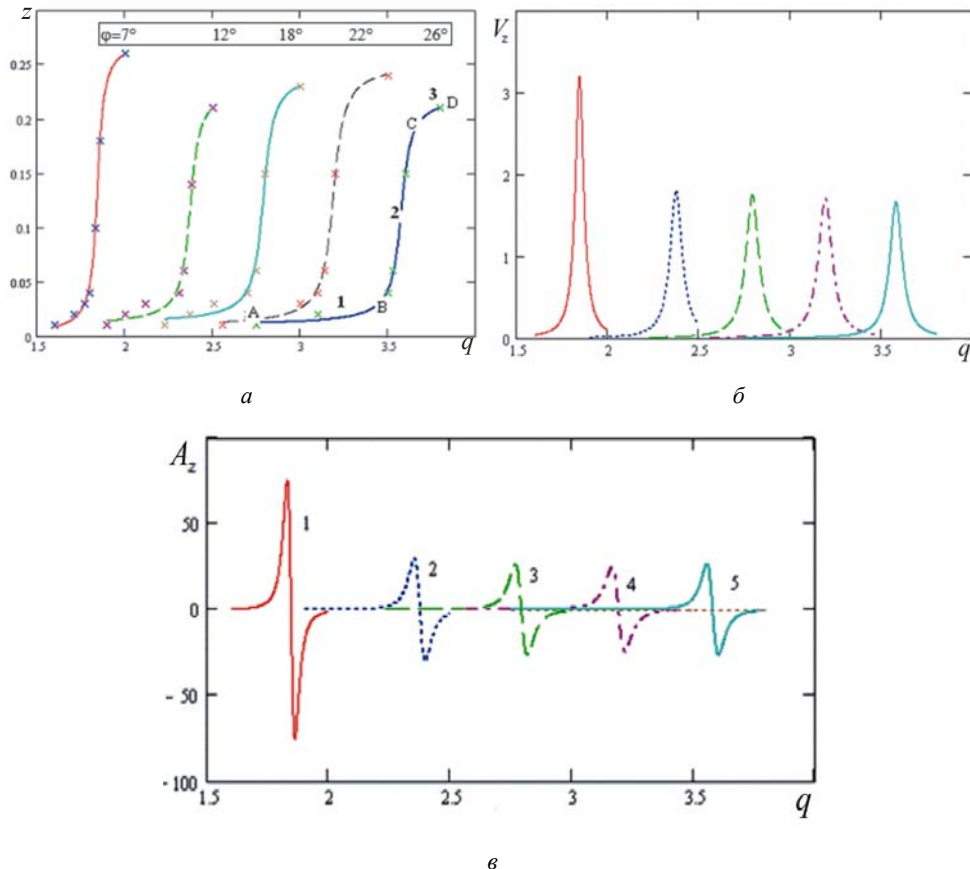


Рис. 5. Графические зависимости вида $z = f(q)$ — а; $V_z = f(q)$ — б и $A_z = f(q)$ — в

На рис. 5 в качестве примера изображены кривые зависимостей вида $z = f(q)$; $V_z = f(q)$ и $A_z = f(q)$ при условии, что $2b/h_3 = 0,3$; величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = 1$ ($2b$ — ширина, а h_3 — глубина заложения фундамента; $\sigma_{св} = C(\gamma h_3 \operatorname{tg} \varphi)^{-1}$, где C — удельное сцепление, а $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$ — объемный вес грунта); величина коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,75$, что соответствует глинистым грунтам [11—12]. Угол внутреннего трения поочередно принимает пять значений $\varphi = 7^\circ; 12^\circ; 18^\circ; 22^\circ; 26^\circ$.

Оказалось, что все кривые вида $z = f(q)$ могут быть с точностью, достаточной для инженерных расчетов, аппроксимированы зависимостью

$$z = a \cdot \arctg(q \cdot b - c) + d, \quad (9)$$

где z — значение глубины развития ОПД; q — интенсивность внешнего равномерно распределенного воздействия; a , м; b , Па^{-1} ; d , м; c — коэффициенты.

Следует отметить, что данные положения можно считать справедливыми для всех видов глинистых грунтов и фундаментов, имеющих относительное заложение $0,1 \leq 2b/h_z \leq 0,3$, так как компьютерное моделирование процесса образования и развития ОПД проведено для таких значений физико-механических свойств, которые охватывают и объединяют все возможные в природе сочетания величин C , φ , γ при $\xi_0 = 0,75$, характерных для связных грунтов.

Основываясь на вышесказанном, процесс потери устойчивости основанием ленточного фундамента мелкого заложения, можно представить следующим образом.

Сначала происходит уплотнение грунта основания, причем, зависимость величины осадки от величины нагрузки остается линейной до тех пор, пока не реализуется внутреннее сопротивление грунта сдвигу. Этот подготовительный этап заканчивается в момент достижения интенсивностью внешней нагрузки q значения, при котором в грунтовом массиве под краями фундамента образуются отдельные площадки сдвигов. Это первая критическая нагрузка.

Дальнейшее увеличение q приводит к развитию областей сдвигов или областей пластических деформаций. В момент достижения нагрузкой некоторого критического значения, соответствующего максимальной «скорости» развития ОПД (второй этап, участок BC), происходит смыкание пластических областей, образовавшихся под противоположными краями фундамента. Это предельно допустимая нагрузка на основание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
2. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов / В. К. Цветков. Волгоград : Нижне-Волжск. кн. изд-во, 1979. 238 с.
3. Соловьев Ю. И. Устойчивость откосов из гипотетического грунта // Труды НИИЖТ, 1962. Т. XXVIII. С. 83—97.
4. Дорфман А. Г. Вариационный метод исследования устойчивости откосов // Вопросы геотехники. М. : Транспорт. № 9. С. 32—37.
5. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике М. : Недра, 1987. 221 с.
6. Никитин С. Н. Построение ожидаемой поверхности скольжения по напряжения в бортах карьеров / С. Н. Никитин // Уголь. 1962. № 1. С. 36—38.
7. Богомолов А. Н. К вопросу о форме уплотненного грунтового ядра, образующегося в основании фундамента / А. Н. Богомолов, О. А. Вихарева, Д. П. Торшин // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Вып. № 4. Одесса, 2001. С. 232—237.
8. Богомолов А. Н. Зависимость формы уплотненного грунтового ядра, образующегося под подошвой ленточного фундамента мелкого заложения, от геометрических параметров фундамента / А. Н. Богомолов, О. А. Вихарева, С. И. Шиян // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях : тр. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию БашНИИСтроя. Т. 3. Уфа, 2006. С. 119—125.
9. Богомолов А. Н. Исследование процесса образования и развития областей пластических деформаций в однородном основании фундамента глубокого заложения / А. Н. Богомолов, М. Ю. Нестратов // Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. «Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов». Ч. 3. Волгоград, 2005. С. 33—37.
10. Богомолов А. Н. Некоторые особенности процесса развития областей пластических деформаций в однородном основании заглубленного фундамента / А. Н. Богомолов, И. И. Никитин // Сборник трудов Междунар. науч.-техн. конф. по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. Пермь : ПГТУ, 2004. С. 34—37.

11. Месчан С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М. : Недра, 1985. 342 с.
12. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М. : Высшая школа, 1978. 447 с.

1. Bogomolov A. N. Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm' : PGU, 1996. 150 s.
2. Tsvetkov V. K. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov / V. K. Tsvetkov. Volgograd : Nizhne-Volzhsk. kn. izd-vo, 1979. 238 s.
3. Solov'ev Yu. I. Ustoychivost' otkosov iz gipoteticheskogo grunta // Trudy NIIZhT, 1962. T. XXVIII. S. 83—97.
4. Dorfman A. G. Variatsionnyy metod issledovaniya ustoychivosti otkosov // Voprosy geotekhniki. M. : Transport. № 9. S. 32—37.
5. Fadeev A. B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike M. : Nedra, 1987. 221 s.
6. Nikitin S. N. Postroenie ozhidaemoy poverkhnosti skol'zheniya po napryazheniya v bortakh kar'erov / S. N. Nikitin // Ugol'. 1962. № 1. S. 36—38.
7. Bogomolov A. N. K voprosu o forme uplotnennogo gruntovogo yadra, obrazuyushchegosya v osnovanii fundamenta / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, D. P. Torshin // Vestnik Odesskoy gosudarstvennoy akademii stroitel'stva i arkhitektury. Vyp. № 4. Odessa, 2001. S. 232—237.
8. Bogomolov A. N. Zavisimost' formy uplotnennogo gruntovogo yadra, obrazuyushchegosya pod podshvoy lentochного fundamenta melkogo zalozheniya, ot geometricheskikh parametrov fundamenta / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, S. I. Shiyan // Problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniya v slozhnykh gruntovykh usloviyakh : tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 50-letiyu BashNIIsroya. T. 3. Ufa, 2006. S. 119—125.
9. Bogomolov A. N. Issledovanie protsessa obrazovaniya i razvitiya oblastey plasticheskikh deformatsiy v odnorodnom osnovanii fundamenta glubokogo zalozheniya / A. N. Bogomolov, M. Yu. Nestratov // Materialy IV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, konstruktivnykh i osnovaniy fundamentov». Ch. 3. Volgograd, 2005. S. 33—37.
10. Bogomolov A. N. Nekotorye osobennosti protsessa razvitiya oblastey plasticheskikh deformatsiy v odnorodnom osnovanii zaglublennogo fundamenta / A. N. Bogomolov, I. I. Nikitin // Sbornik trudov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. po problemam mekhaniki gruntov, fundamentostroeniya i transportnomu stroitel'stvu. Perm' : PGU, 2004. S. 34—37.
11. Meschyan S. R. Eksperimental'naya reologiya glinistykh gruntov. M. : Nedra, 1985. 342 s.
12. Vylov S. S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M. : Vysshaya shkola, 1978. 447 s.

© Богомолов А. Н., Шубин М. А., Синяков В. Н., Кузнецова С. В.,
Богомолова О. А., Ушаков А. Н., Прокопенко А. В., Савинов А. В., 2012

Поступила в редакцию
в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Определение угла ориентации площадки наиболее вероятного сдвига в точке грунтового массива и процесс развития областей пластических деформаций в однородном основании ленточного фундамента мелкого заложения / А. Н. Богомолов, М. А. Шубин, В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков, А. В. Прокопенко, А. В. Савинов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8 (24). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.