

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Сеськов В.Е., Кравцов В.Н., Якуненко С.А.

Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по
строительству «Институт БелНИИС»
г. Минск, Беларусь

АНОТАЦІЯ: В статі наведено результати розробки та досліджень вертикально армованих основ плитних фундаментів.

АННОТАЦИЯ: В статье приведены результаты разработки и исследования вертикально армированных оснований плитных фундаментов.

ABSTRACT: Results of development and research of vertically reinforced ground bases of the slabby foundation are given in this article.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Плитный фундамент, слабый (малопрочный) грунт, вертикальное армирование грунта сваями, геомассив, расчет.

ВВЕДЕНИЕ

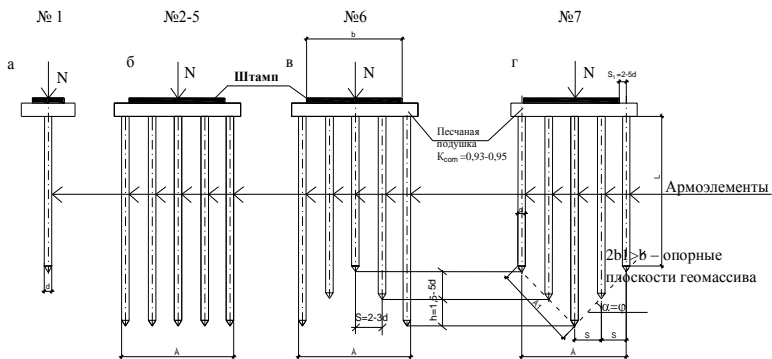
Исходя из высокой эффективности способа вертикального армирования грунта для упрочнения оснований плитных фундаментов (далее геомассив ВА) [1 - 3 и др.] и отсутствием в нормативной базе Беларуси [4 - 6] достоверных обоснованных методов для их расчета и конструирования, РУП «Институт БелНИИС», в рамках программы Минстройархитектуры РБ по энерго-ресурсо-сбережению, выполнил комплекс работ по разработке эффективных конструкций геомассивов ВА, изучению их несущей способности и деформативности, способов расчета и устройства.

Целью выполненных исследований и настоящей статьи является повышение эффективности проектирования и возведения вертикально армированных оснований плитных фундаментов (геомассивов ВА), в т.ч. методов расчета по двум группам предельных состояний, на 20...30% по

сравнению с традиционными геомассивами и ударно-вибрационными методами (укатка, трамбовка и т.п.).

В процессе исследования опытных геомассивов ВА из вертикально армированных песчаных и глинистых грунтов [1, 2, 7 и др.] экспериментально-теоретическими методами решены следующие задачи:

- изучены физико-механические свойства грунтов после устройства в них различными способами (бурение, бурораздвижка, прокол, виброударные методы) армоэлементов;
- изучен характер сжимаемости, деформирования и устойчивости оснований из вертикально армированных грунтов под нагрузкой при различных типах свай, их диаметре, шаге и длине [2 и др.];
- разработаны и оптимизированы характеристики армоэлементов - шаг, диаметр, длина (рис. 1) и методики их расчета и конструирования;
- определены оптимальные составы грунтобетона для устройства армоэлементов на основе распространенных в Беларуси грунтов [1, 7 и др.].



h – расстояние между смежными концами армоэлементов;

N – нагрузка на фундамент (штамп); L – длина армоэлемента

Рис. 1. Наиболее эффективные типы исследованных и оптимизированных геомассивов ВА и их параметры: а, б – контрольные типы геомассивов ВА; в, г – то же, оптимизированные варианты

МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ

Методика основана на следующих экспериментально установленных принципах:

1. Сжимаемость армоэлементов геомассива ВА, в отличие от свай в свайном фундаменте, незначительно отличается от сжимаемости уплот-

ненного (упрочненного) окружающего природного грунта. Геомассив ВА работает, не как свайное, а упрочненное армэлементами (уплотненное) грунтовое основание с эквивалентными характеристиками (ρ , φ , c , E) в 2...3 раза превышающими их значения в неармированном грунте, и обладает по отношению к природному грунту ярко выраженной прочностной и деформационной анизотропией.

2. Разрушение геомассива ВА из природных грунтов с $E \geq 7$ МПа от предельной нагрузки происходит по следующим схемам:

а – от выпора из-под фундамента грунта буферной подушки, если ее мощность больше предельной толщины ($h_{гб} > 0,75b$, где b – ширина фундамента);

б – от проскальзывания (задавливания) армэлементов относительно естественного грунта – для железобетонных, металлических армэлементов с повышенной прочностью материала (при отсутствии буферной подушки и чрезмерных нагрузках на основание $\geq 0,8p_{\max}$);

в – от потери устойчивости геомассива по явно выраженным условно прямолинейным поверхностям скольжения, которые образуют углы α и β (рис. 2).

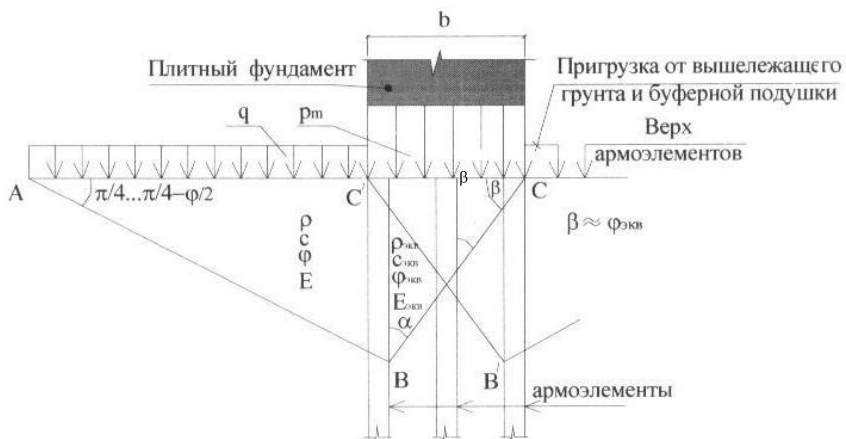


Рис. 2. Расчетная схема и поверхности скольжения геомассива ВА для осесимметричной задачи по результатам экспериментальных данных

Таким образом, для оценки степени устойчивости и исследования условий возникновения сдвигов в основании плитного фундамента, возможно применение общей теории механики грунтов, в частности равновесия горных пород, рассмотренных в работах К. Терцаги, Б.В. Бахолдина, В.Г. Березанцева, В.А. Флорина и др. [8-10 и др.].

Исходя из вышеизложенного, суть разработанной методики расчета и конструирования геомассивов ВА для плитных фундаментов с нагрузкой на основание до 0,4 МПа заключается в следующем:

1) по ТКП 45-5.01-254 [4] назначается допустимая величина осадки плитных фундаментов s_u , см, для проектируемого сооружения, и «обратным расчетом» по формуле (1) устанавливается величина минимального эквивалентного модуля деформации, $E_{\text{экв. min}}$, геомассива ВА, обеспечивающего осадки сооружения меньше допусковых.

$$E_{\text{экв. min}} = \beta \frac{p_{\text{max}} \cdot H_c}{s_u}, \quad (1)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный: при p_{max} до 0,2 МПа – $\beta=1$; при p_{max} от 0,2 до 0,3 МПа – $\beta=0,8$; при p_{max} более 0,3 МПа – $\beta=0,7$;

p_{max} – максимальное давление плитного фундамента на основание, МПа;

s_u – допустимая конечная осадка основания плитного фундамента, регламентируемая проектом или нормами ТНПА, м (рекомендуется $s_u \leq 8$ см, а для жилых зданий $s_u \leq 5$ см);

$H_c = \beta \cdot p_{\text{max}} / \gamma_m$ – условная минимальная глубина сжимаемой зоны, м, здесь β – см. формулу 1; γ_m – средний удельный вес грунта ниже подошвы фундамента на глубину не менее двух его ширин, МН/м³.

2) используя зависимость между модулем общей деформации E_0 (или коэффициентом сжимаемости a_0) и коэффициентом пористости e (компрессионная зависимость или результаты испытания опытных полевых штампов), для $E_{\text{экв. min}}$ определяется требуемый коэффициент пористости $e_{\text{экв. расч.}}$ грунта геомассива ВА после упрочнения основания армоэлементами из свай, который является основным показателем для разработки проекта геомассива ВА;

3) используя известные зависимости изменения прочностных характеристик от плотности-влажности, по формулам (2) – для песчаных и (3) – глинистых грунтов, устанавливается необходимая минимальная плотность грунта (коэффициент пористости $e_{(п, гл.) min}$)

$$e_{п. min} = e_{\text{max}} - I_D (e_{\text{max}} - e_0), \quad \text{- для песка;} \quad (2)$$

$$e_{гл. min} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w \cdot 100} w_p + 0,5 I_p, \quad \text{- для глинистого грунта,} \quad (3)$$

где e_0 , e_{max} — коэффициенты пористости песка соответственно в исходном (рыхлом) состоянии и в предельно плотном состоянии;

$I_D = 0,7 \dots 0,8$ – индекс относительной плотности;

w_p и I_p – соответственно влажность на границе раскатывания и число пластичности;

γ_s , γ_w – соответственно удельный вес частиц и воды, кН/м³.

Эффективность применения вертикального армирования проверяется из условия: $e_{\text{экр.расч}} \geq e_{(\text{п., гл.})\text{min}}$ – эффективно, $e_{\text{экр.расч}} < e_{(\text{п., гл.})\text{min}}$ – нецелесообразно.

4) при расположении армоэлементов в шахматном порядке по вершинам равностороннего треугольника шаг a , расстояние между сваями l , м, и их количество n , шт., определяются из выражения (4) и (5)

$$a_{\text{max}} = d_a \frac{\pi \gamma_0}{3,5(\gamma_{\text{экр.расч}} - \gamma_0)}, \quad a_{l \text{ max}} \leq 1,5 a_{b \text{ max}} \quad (4)$$

$$l_{\text{max}} = a_{\text{max}} / 2 \cdot \cos 45^\circ, \quad n = A \cdot \Delta A / A_a \quad (5)$$

где d_a – соответственно диаметр, шаг армоэлементов, м;

A – площадь всей или 1 м^2 подошвы плитного фундамента;

ΔA – требуемая величина уменьшения единицы объема скелета грунта природного сложения на площади A с учетом армоэлементов по (6);

A_a – площадь 1-ого армоэлемента;

$\gamma_{\text{экр.расч}}$ – удельный вес упрочняемого грунта по (7), кН/м^3 ;

γ_0 – удельный вес грунта до уплотнения, кН/м^3 ;

$$\Delta A = A \frac{e_0 - e_{\text{экр.расч}}}{1 + e_0}; \quad (6)$$

$$\gamma_{\text{экр.расч}} = \frac{1 - n A_a \cdot \gamma_a + n A_a \cdot \gamma_a}{A}, \quad (7)$$

где n – количество армоэлементов, шт., на площади A фундамента или 1 м^2 ;

γ_a – удельный вес материала армоэлемента, кН/м^3 (как правило, 20 кН/м^3).

5) длина армоэлементов L , м, геомассива BA принимается равной для грунтов с $E_0 \leq 5 \text{ МПа}$ – не менее высоты его сжимаемой толщи H_c , в остальных случаях, как правило, до отметки, где дополнительное вертикальное удельное давление на подстилающий грунт ниже подошвы геомассива BA не превышает его расчетного сопротивления R , но не менее двух ширин для столбчатых и трех-четырёх для ленточных плитных фундаментам;

б) между армирующими элементами и подошвой плитного фундамента необходимо выполнять буферную подушку из песчано-гравийной смеси, уплотненную до коэффициента плотности $K_{\text{сост}} \geq 0,98$ и модуля деформации $E_\sigma \geq 20 \text{ МПа}$. Мощность подушки $h_{t\sigma}$ рекомендуется назначать по формуле (8), но не более $1/4$ ширины плитного фундамента b и не менее $0,15 \text{ м}$.

$$h_{t\sigma} = \frac{s \cdot E_\sigma \cdot n A_a}{p_{\text{max}}}, \quad (8)$$

где p_{max} – максимальное давление на буферную подушку от плитного фундамента, МПа ; остальные обозначения указаны выше.

7) запроектированный по пп. 1-6 геомассив BA проверяется: а – по прочности применяемых материалов армоэлементов, регламентируемой

соответствующими нормами (ТНПА), по осадкам ($s < s_u$) по [4], где s по (9), и прочности подстилающего грунта ($\sigma_{zpi} < R_{подст}$).

8) конечная средняя осадка основания (s) для плитного фундамента на геомассиве ВА из свай в случае, если не выполняются условия $p_m \leq R_{экр.}$, $p_{min} \leq 0$, вычисляется методом послойного суммирования по формуле (9).

$$s = 0,8 \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} h_i}{E_{экв}}, \quad (9)$$

где s , σ_{zpi} , h_i – обозначения по [4];

$E_{экв}$ – эквивалентный модуль деформации слоев грунта, на которые разбивается сжимаемая зона основания, состоящая из буферной подушки с модулем ($E_б$), геомассива с (E_a), и подстилающего природного грунта с (E_0), МПа.

Пример.

Требуется спроектировать геомассив ВА под плитный фундамент с давлением на основание $p_{max}=0,15$ МПа и допустимой осадкой $s_u=8$ см на основании из лессовидного суглинки ($\gamma_0=19,1$ кН/м³; $\gamma_s=27,1$ кН/м³; $w_0=10\%$, $e_0=0,8$, $\phi_0=15^\circ$, $c_{0II}; 0,06$ МПа $E_0=4,5$ МПа), армируемое сваями диаметром $d_a=0,3$ м ($A_a=0,071$ м², $\gamma_a=23$ кН/м³).

Решение (расчет). Расчет выполняется на 1 м² площади фундамента в следующей последовательности.

По формуле (1) при $s_u \leq 8$ см и сжимаемой зоне грунта $H_c = \beta \cdot p_{max} / \gamma_0 = 1 \cdot 0,15 / 0,0191 = 7,85$ м.

$$E_{экв.min} = \beta \frac{p_{max} \cdot H_c}{s_u} = 1 \frac{0,15 \cdot 7,85}{0,08} \approx 15 \text{ МПа},$$

1. По формуле (1) при $s_u \leq 8$ см и сжимаемой зоне грунта $H_c = \beta \cdot p_{max} / \gamma_0 = 1 \cdot 0,15 / 0,0191 = 7,85$ м.

$$E_{экв.min} = \beta \frac{p_{max} \cdot H_c}{s_u} = 1 \frac{0,15 \cdot 7,85}{0,08} \approx 15 \text{ МПа},$$

2. На компрессионной кривой (данные лабораторных испытаний) устанавливаем для $E_{экв.расч} = 15 \text{ МПа}$ - $e_{экв.расч} = 0,65$. По формулам 5 - 9 находим оптимальное значение a , a , l , $h_{тб}$.

$$n = \frac{A \cdot \Delta A}{A_a} = \left(1 \cdot \frac{0,8 - 0,65}{1 + 0,8} \right) 0,071 \cong 2 \text{ шт/м}^2.$$

$$\gamma_{экв.расч.} = \frac{1 - n \cdot A_a \cdot \gamma_0 + n \cdot A_a \cdot \gamma_a}{A} = \frac{1 - 2 \cdot 0,071 \cdot 19,1 + 2 \cdot 0,071 \cdot 23}{1} = 19,73 \text{ кН/м}^3.$$

$$a_{b(l)max} = d_a \frac{\pi \gamma_0}{3,5(\gamma_{экв.расч} - \gamma_0)} = 0,3 \frac{3,14 \cdot 19,1}{3,5(19,73 - 19,1)} = 1,56 \cong 1,6 \text{ м};$$

$$l_{max} = \frac{a_{bmax}}{2 \cdot \cos 45^\circ} = \frac{1,6}{2 \cdot 0,71} = 1,15 \text{ м}.$$

$$h_{t,\delta,min} = \frac{s_u \cdot E_{t,\delta} \cdot A_a}{p_{max}} = \frac{0,015 \cdot 20 \cdot 0,142}{0,15} \approx 0,284 \approx 30 \text{ см}$$

ВЫВОДЫ

1. На основании ранее выполненных исследований разработана методика расчета и конструирования вертикально армированных оснований плитных фундаментов, обеспечивающая уменьшение материалоемкости и себестоимости геомассивов ВА до 30%, по сравнению с традиционными решениями, без снижения надежности.

2. Полученные результаты исследований и разработанные на их основе Рекомендации по проектированию и возведению геомассивов из вертикально армированных грунтов послужат основой для их широкого внедрения на территории Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сеськов В.Е. Упрочнение оснований методом вертикального армирования грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-т. конференции. – СПб: СПбГАСУ, 2010. - С. 295 - 299.
2. Сеськов В.Е. Несущая способность и деформативность оснований фундаментов, вертикально армированных грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. тр. XVIII межд. науч.-метод. семинара: в 2-х томах. - Т.2. - Новополоцк: ПГУ, 2012. - С. 229 - 235.
3. Мирсаяпов И.Т. Экспериментальные исследования вертикально армированного грунтового массива / И.Т. Мирсаяпов, А.О. Попов // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства наземных и подземных сооружений на сложных грунтах: Межвузовский сборник трудов. - СПб: СПбГАСУ, 2008. - С. 66 - 70.
4. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012. - Минск: Минстройархитектуры РБ, 2012. – 102 с.
5. Проектирование и устройство техногенных массивов из песчано-гравийных и щебеночных свай: Пособие П6-2000 к СНБ 5.01.01-99. - Минск: Минстройархитектуры РБ, 2000. – 33 с.
6. Проектирование и устройство оснований и сооружений из армированного грунта: пособие П10-01 к СНБ 5.01.01-99. - Минск: Минстройархитектуры РБ, 2002. – 45 с.

7. Рекомендации по проектированию и устройству грунтобетонных свай в бурораздвижных скважинах. - Минск: Минстройархитектуры РБ, 2005.– 51с.
8. Терцаги К. Теория механики грунтов / К. Терцаги: ред. проф. Н.А. Цытовича: - М.: Госстройиздат, 1961. – 450 с .
9. Флорин В.А. Основы механики грунтов / В.А. Флорин. – Л.-М.: Госстройиздат, 1959: в 2-х томах. - Т.2. – 543 с.
10. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс) / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. - 288 с.

Статья поступила в редакцию 19.09.2013 г.