

плитных фундаментов зданий и сооружений в грунтовых условиях Республики Беларусь. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2014. – 28с.

4. Фундамент здания, возведенный на искусственно упрочненном слабом или малопрочном грунте и способ его возведения : пат. 18688 Респ. Беларусь, МПК E02D27/12 / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, Н.С. Лобастов., В.П. Лебедик ; заявитель РУП «Институт «БелНИИС». – № а 20111166 ; заявл. 02.09.2011 ; опубл. 02.09.11 // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуал. собств.. – 2011.

5. ГОСТ 12248-2010 Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Минск: Госстандарт РБ, 2013. – 83 с.

6. ГОСТ 19912-2001 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – Минск: МаиС РБ, 2004. – 25 с.

7. ГОСТ 20276-99 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – Минск: МаиС РБ, 2000. – 25 с.

8. ГОСТ 5180 Грунты. Методы определения физических характеристик. – Минск: МаиС РБ, 1985. – 28 с.

УДК 624.153.524

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

КУДРЕВИЧ О.О.

Белорусский национальный технический университет

РУП «Стройтехнорм»

Минск, Беларусь

Введение

В настоящее время в Беларуси ведется активное строительство на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями, которые составляют около 30% территории республики.

Применяемые в настоящее время виброударные технологии упрочнения грунтов (укатка, трамбовка) при строительстве на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями отличаются ограниченной областью применения, повышенной затратностью, трудоемкостью и, как правило, не отвечают критерию экономической эффективности.

Учитывая это, в РУП «Институт БелНИИС» предложен и внедрен способ упрочнения оснований плитных фундаментов методом вертикального армирования грунта мелкозаглубленными сваями уплотнения: забивными и набивными в пробитых скважинах. Предложенный способ устройства упрочненного основания отличается от известных технологий универсальностью (применимостью для различных грунтовых и гидрогеологических условий), возможностью использования имеющегося в строительных организациях республики стандартного оборудования

Сущность метода заключается в массиве грунта вертикально расположенных, более прочных по сравнению с прочностью грунта, не связанных конструктивно с фундаментом армирующих элементов, воспринимающих совместно с грунтом сжимающие и растягивающие напряжения. Нагрузка на вертикально армированное грунтовое основание передается через плитный фундамент мелкого заложениями

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.

Способ вертикального армирования целесообразно применять в следующих случаях:

- недостаточная прочность грунта основания под подошвой плитного фундамента;
- с целью уменьшения осадки основания плитного фундамента;
- при наличии в пределах сжимаемой толщи основания прослоек малопрочных и слабых грунтов;
- усиления и реконструкции фундаментов;
- снижения себестоимости нулевого цикла и фундаментов.

В качестве армоэлементов могут использоваться сваи любых типов. Наиболее экономически эффективны для этих целей сваи ма-

лого сечения (диаметр или меньшая сторона прямоугольника свай до 200 мм). В качестве материала для геомассивов ВА по 4.2 применяются бетон, грунтобетон, песчано-гравийные и щебеночные смеси.

Вертикально армированное основание в зависимости от его типа по рисункам 1-4 следует проектировать в виде:

а - армированной ленты - для ленточных фундаментов;

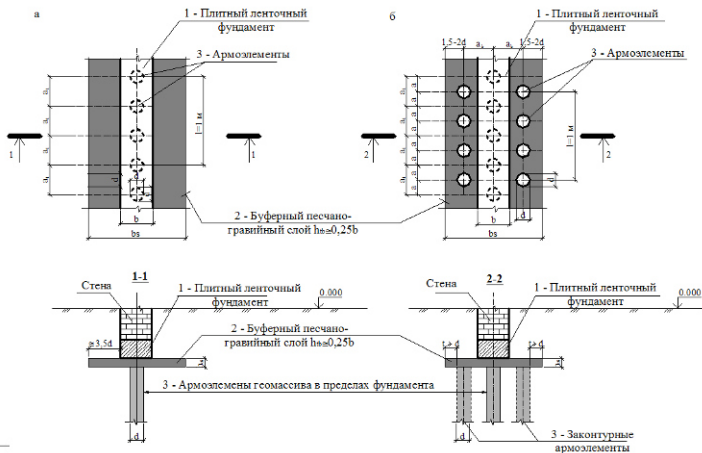
б - куста армоэлементов - для отдельно стоящих (столбчатых) фундаментов;

в - сплошного армированного поля под весь массивный плитный фундамент или его часть в местах значительных сосредоточенных нагрузок или грунтов с пониженными характеристиками.

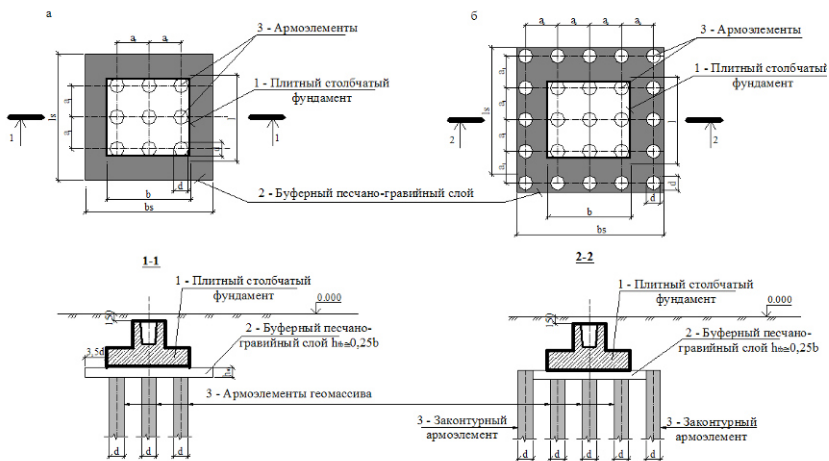
Таблица 1

Условия применения геомассивов ВА

Тип геомассива ВА	Область применения	
	по видам природных грунтов	по нагрузке
Геомассив ВА по рисункам 1-4	Талые и сезонно промерзаемые песчаные и глинистые грунты Беларуси по СТБ 943, в т.ч. искусственные, малопрочные и слабые, кроме глинистых с $I_L > 0,75$, илов, биогенных (торфяных) с $I_{om} > 0,15$, содержащих камни диаметром больше 200 мм, а также прочных и скальных	Устанавливается расчетом по прочности материала армоэлементов, а также по несущей способности грунта или испытанием геомассива ВА. Рекомендуется $p_{max} \leq 0,4$ МПа (где p_{max} - максимальное давление от плитного фундамента на грунт).



а - вариант геомассивов с армоэлементами в пределах контура подошвы фундамента; б - то же, с законтурными армоэлементами
 Рис. 1. Схема вертикального армирования (геомассива) плитного ленточного фундамента



а - вариант геомассивов с армоэлементами в пределах контура подошвы фундамента; б - то же, с законтурными армоэлементами
 Рис. 2. Схема вертикального армирования (геомассива) плитного столбчатого фундамента

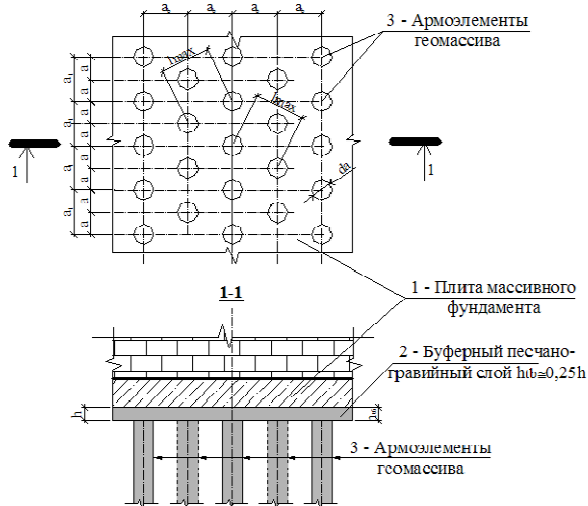
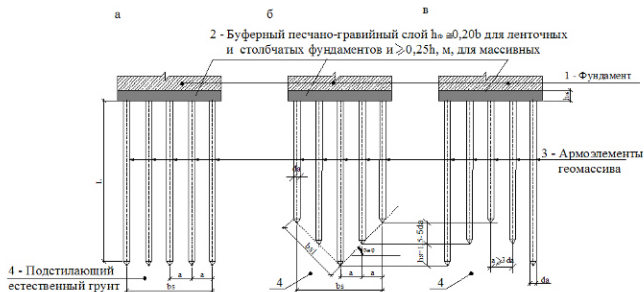


Рис. 3. Схема вертикального армирования (геомассива) плитного массивного фундамента



- а - геомассив типа 1 с расположением концов армозлементов в одном уровне;
- б - геомассив типа 2 с конусным расположением нижних концов армозлементов , отметки которых убывают от центра к краям плитного фундамента;
- в - то же, типа 3 - с убыванием нижних концов от краев к центру плитного фундамента

Рисунок 4- Варианты расположения армозлементов по глубине геомассива

Методика конструирования и расчета вертикально армированных оснований

Методика основана на следующих экспериментально установленных принципах

1 – Сваи в геомассиве ВА воспринимают нагрузку совместно с окружающим их уплотненным (упрочненным) грунтом, т.е. геомассив ВА работает, не как свайное, а упрочненное армоэлементами (уплотненное) грунтовое основание с эквивалентными характеристиками (ρ , φ , c , E) в 2-3 раза, превышающими их значения в неармированном грунте.

2 – Разрушение геомассива ВА из природных грунтов от предельной нагрузки происходит по следующим схемам:

а – от выпора из под фундамента грунта буферной подушки, если ее мощность больше предельной толщины ($h_{т6} > 0.75b$, где b – ширина фундамента);

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

в – от потери устойчивости геомассива по явно выраженным условно прямолинейным поверхностям скольжения, которые образуют углы α и β (рис. 5);

г – от потери устойчивости грунтов, подстилающих геомассив в случае неполной прорезки сжимаемой зоны армоэлементами

Таким образом, для оценки степени устойчивости и исследования условий возникновения сдвигов в пределах вертикально армированной части геомассива, возможно применение общей теории механики грунтов.

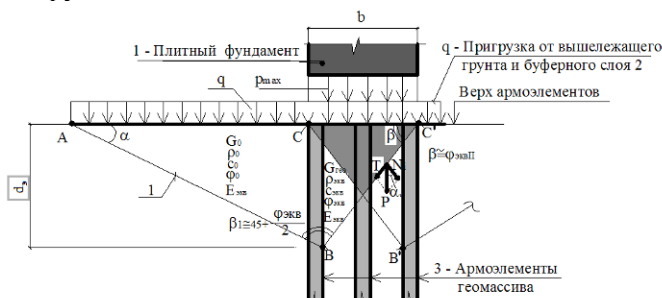


Рис. 5 – Расчетная схема и поверхности скольжения геомассива ВА для осесимметричной задачи по результатам экспериментальных данных. Исходя из вышеизложенного, суть разработанной методики расчета и конструирования геомассивов ВА для плитных фундаментов с нагрузкой на основание до 0,4 МПа заключается в 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 допускаемых.

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

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 $e_{(п,г л.) min}$)

$$e_{n. min} = e_{\text{макс}} - I_D (e_{\text{макс}} - e_0), \quad \text{- для песка} \quad (2)$$

$$e_{г л. min} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s \cdot 100} (w_p + 0.5 I_p), \quad \text{- для глинистого грунта} \quad (3)$$

где e_0 , e_{\max} — коэффициенты пористости песка соответственно в исходном (рыхлом) состоянии и в предельно плотном состоянии; $I_p=0.7-0.8$ — 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/м^3 .

Эффективность применения вертикального армирования проверяется из условия:

$$\begin{aligned} e_{\text{экр.расч}} &\geq e_{(\text{п., гл.})\text{min}} - \text{эффективно,} \\ e_{\text{экр.расч}} &< e_{(\text{п., гл.})\text{min}} - \text{нецелесообразно.} \end{aligned}$$

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

$$a_{\max} = d_a \sqrt{\frac{\pi \gamma_0}{3.5(\gamma_{\text{экр.расч}} - \gamma_0)}}, \quad a_{l \max} \leq 1.5 a_{b \max} \quad (4)$$

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

$$n = A_{\Delta} \cdot A / A_a \quad (6)$$

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 (7); A_a — площадь 1-ого армоэлемента;

$\gamma_{\text{экр.расч}}$ — удельный вес упрочняемого грунта по (8), кН/м^3 ; γ_0 — удельный вес грунта до уплотнения, кН/м^3 ;

$$\Delta A = A \left(\frac{e_0 - e_{\text{экр.расч}}}{1 + e_0} \right) \quad (7)$$

$$\gamma_{\text{экр.расч}} = \frac{(1 - n A_a) \cdot \gamma_s + n A_a \cdot \gamma_a}{A}, \quad (8)$$

здесь 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 дополни-

тельное вертикальное удельное давление на подстилающий грунт ниже подошвы геомассива ВА не превышает его расчетного сопротивления R , но не менее двух ширин для столбчатых и трех-четырех для ленточных плитных фундаментов;

6 - между армирующими элементами и подошвой плитного фундамента необходимо выполнять буферную подушку из песчано-гравийной смеси, уплотненную до коэффициента плотности $K_{com} \geq 0,98$ и модуля деформации $E_6 \geq 20 \text{ МПа}$. Мощность подушки $h_{тб}$ рекомендуется назначать по формуле (9) но не более 1/4 ширины плитного фундамента b и не менее 0,15 м.

$$h_{тб} = \frac{s \cdot E_6 \cdot n \cdot A_a}{p_{max}}, \quad (9)$$

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

7 – запроектированный по пп. 1-6 геомассив ВА проверяется: а – по прочности применяемых материалов армоэлементов, регламентируемой соответствующими нормами (ТНПА), по осадкам ($s < s_u$) по /4/, где s по (10), и прочности подстилающего грунта ($\sigma_{zpi} < R_{подст}$).

8. Конечная средняя осадка основания (s) для плитного фундамента на геомассиве ВА из свай вычисляется методом послойного суммирования по формуле (10).

$$s = 0,8 \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} h_i}{E_{экв}} \quad (10)$$

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_6), геомассива с (E_a), и подстилающего природного грунта с (E_0), МПа.

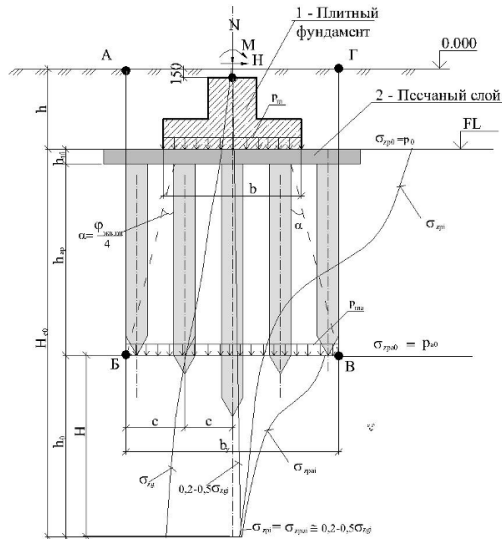


Рис. 6. Расчетная схема на примере столбчатого фундамента для расчета по второй группе предельных состояний

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.

3. При наличии в верхней зоне основания плитных фундаментов (непосредственно под буферным слоем поз. 2, рисунки 1-4) слабых, малопрочных грунтов с модулем деформации $E \leq 5$ МПа вокруг ленточных и столбчатых плитных фундаментов рекомендуется устраивать законтурный ряд армоэлементов (см. рисунки 1б, 2б).

4. Параметры армоэлементов (количество n , шт, шаг a , м, поперечное сечение d , м², длина L , м) назначаются из принципа, что они в геомассиве ВА воспринимают нагрузку совместно с окружающим

их уплотненным (упрочненным) грунтом. В результате получается не свайный фундамент, а уплотненное (упрочненное) основание с эквивалентным модулем деформации, значительно превышающим модуль деформации неупрочненного грунта в следующей последовательности по 5.2.7.1 - 5.2.7.8.

5. Длина армоэлементов L , м, геомассива ВА (для типов 2 и 3 по рисунку 4 – крайних свай) должна приниматься равной для водонасыщенных и глинистых грунтов не менее высоты его сжимаемой толщи H_c и верхнего малопрочного, слабого слоя, в остальных случаях, как правило, до отметки, где дополнительное вертикальное удельное давление на подстилающий грунт ниже подошвы геомассива ВА не превышает его расчетного сопротивления R_0 , но не менее двух ширин для столбчатых и трех-четырёх для ленточных плитных фундаментов.

6. Конструирование геомассива ВА производится в два этапа. На первом этапе предварительно, с учетом геологического строения основания и наличия оборудования для изготовления армоэлементов (свай) и мощности сжимаемой толщи, назначаются их размеры (длина, поперечное сечение). Рекомендуется их нижние концы, по возможности, опирать на более прочные подстилающие грунты. Окончательно длина армоэлементов определяется на втором этапе расчетом осадок плитного фундамента по 5.4 и должна, как правило, быть не менее глубины сжимаемой зоны его основания H_c и толщины верхнего слоя с пониженными характеристиками грунта.

УДК 624.131.37:624.131.43

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УСЛОВИЙ «СТЕСНЕНИЯ» НА УВЕЛИЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ, ЗАЩЕМЛЕННОЙ В ГРУНТЕ

УЛАСИК Т.М., СУЩИНСКИЙ В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В современных условиях повышение несущей способности фундаментов глубокого заложения по-прежнему является важной гео-