

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ АРМИРОВАННОГО ГРУНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЦИОНАЛЬНЫХ НОРМ

**Банников С.Н.**, канд. техн. наук, доцент (БНТУ)

**Аннотация.** В предлагаемом докладе описывается методика расчета оснований и сооружений из армированного грунта. Рассматривается расчет подпорных и ограждающих конструкций, оснований упрочненных вертикальными армирующими элементами, оснований усиленных армированными подушками.

В настоящее время часто возникают проблемы, связанные с усилением основания сооружения при строительстве на слабых грунтах или при реконструкции. Наиболее эффективно эти задачи решаются с помощью армирования грунтов различными видами свай, нагелями, геотекстилем и т.д.

### Подпорные и ограждающие конструкции

Сооружения из армированного грунта с вертикальной стенкой проектируются в соответствии с принципами геотехники, исходя из внутренней и внешней устойчивости.

Оценка внутренней устойчивости (см. рисунок 1, а,б) связана с количеством, размещением, длиной и сечением армирующих элементов, а также с величиной активного давления армогрунта, действующего на облицовку.

Расчет производится в следующей последовательности:

- конструктивно устанавливается, исходя из технических требований толщина, ширина и шаг расположения армирующих элементов как по высоте ( $h_v$ ), так и по горизонтали ( $h_u$ );

- производится проверка армирующего элемента на разрыв по формуле:

$$b \cdot \delta \cdot R_s \cdot \frac{1}{\gamma_{\gamma c}} \geq \gamma_i \cdot (h + z) \cdot \xi_a \cdot h_v \cdot h_u, \quad (1)$$

где  $b$  - ширина армирующих элементов, м;

$\delta$  - толщина армирующей полосы, м;

$\gamma_{\gamma c}$  - коэффициент запаса, учитывающий возможность коррозии материала арматурной полосы ( $\gamma_{\gamma c} = 1,5$ );

$R_s$  - расчетное сопротивление материала армирующего элемента на растяжение, кПа, (см. приложение В);

$\gamma_i$  - расчетный удельный вес грунта засыпки, кН/м<sup>3</sup>;

$$h = \frac{q}{\gamma_i}, \quad \text{м};$$

(2)

$q$  - интенсивность равномерно-распределенной сплошной нагрузки, приложенной к горизонтальной поверхности подпорной стенки, кПа;

$z$  - расстояние от поверхности подпорной стенки до рассматриваемого уровня армирующих элементов, м;

$$\xi_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - 0,5 \cdot \varphi_i \right) , \quad (3)$$

$\varphi_i$  - расчетное значение угла внутреннего трения грунта засыпки, град;

$h_v, h_u$  - шаг армирования соответственно по вертикали и горизонтали, м;

- определяется для каждого уровня длина заделки (l) и полная длина армирующих элементов (L) (см. рисунок 1) по формулам:

$$l = \frac{h_v \cdot h_u \cdot \xi_a}{2 \cdot b \cdot \operatorname{tg} \psi_i} , \quad (4)$$

$$a_n = (H - z) \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) , \quad (5)$$

$$L = a_n + l \cdot \gamma_{gs} . \quad (6)$$

Полученное значение (L) должно быть не меньше  $0,7 \cdot H$ ,

где  $H$  - высота подпорной стенки, м;

$\psi_i$  - расчетное значение угла сдвига грунта по армирующим элементам, град;

$\gamma_{gs}$  - коэффициент запаса, учитывающий возможные колебания значений коэффициента сцепления арматурных полос с грунтом ( $\gamma_{gs}=2$ );

- вычисляется значение активного распорного напряжения  $\sigma_3$  на глубине  $z$  (см. рисунок 1).

Железобетонные лицевые плиты, металлические и геотекстильные оболочки следует рассчитывать в соответствии с их фактическими схемами опирания на армирующие элементы и загрузки активным распорным напряжением  $\sigma_3$ .

### Основания упрочненные вертикальными армирующими элементами

При упрочнении грунтового массива вертикальными армирующими элементами, способными воспринимать повышенные сжимающие напряжения, следует использовать железобетонные, бетонные, цементогрунтовые сваи, а также колонны из песчаных грунтов и щебня (см. рисунок 2), длины которых должны назначаться в пределах сжимаемой толщи грунта.

Упрочненное основание следует рассматривать как трансверсально-изотропную среду и рассчитывать по двум группам предельных состояний: деформациям и несущей способности.

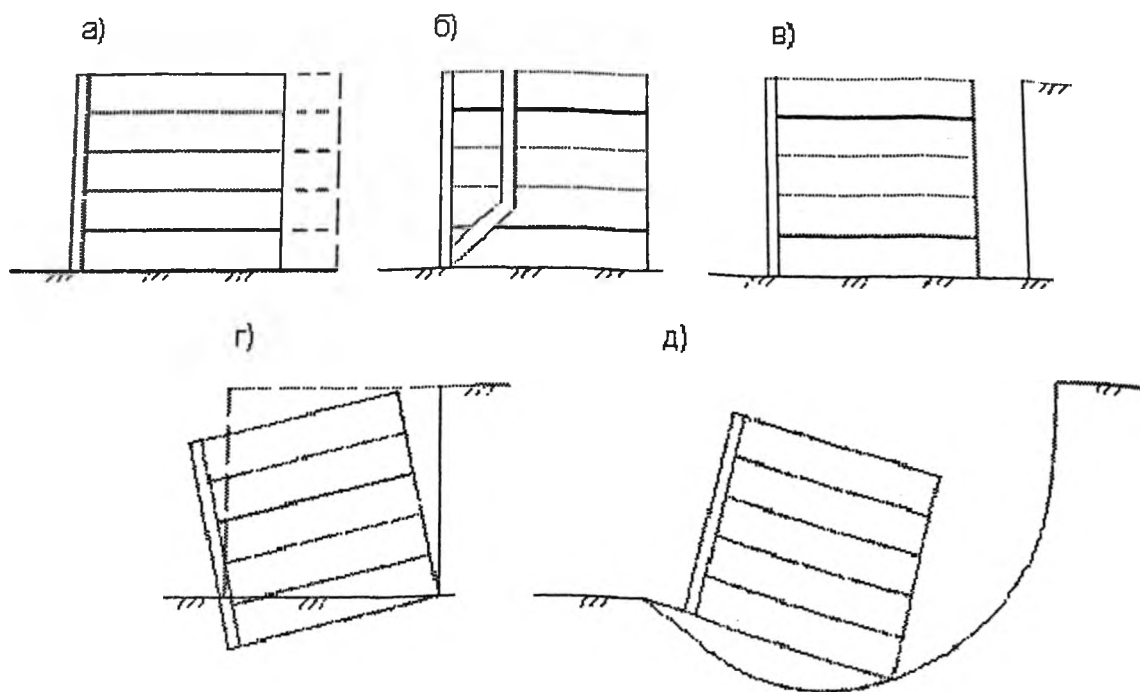


Рисунок 1 – Механизмы разрушения подпорных сооружений из армированного грунта  
 а – адгезионное; б – разрыв армирующих элементов; в – горизонтальное смещение; г – наклон сооружения; д – обрушение скольжением

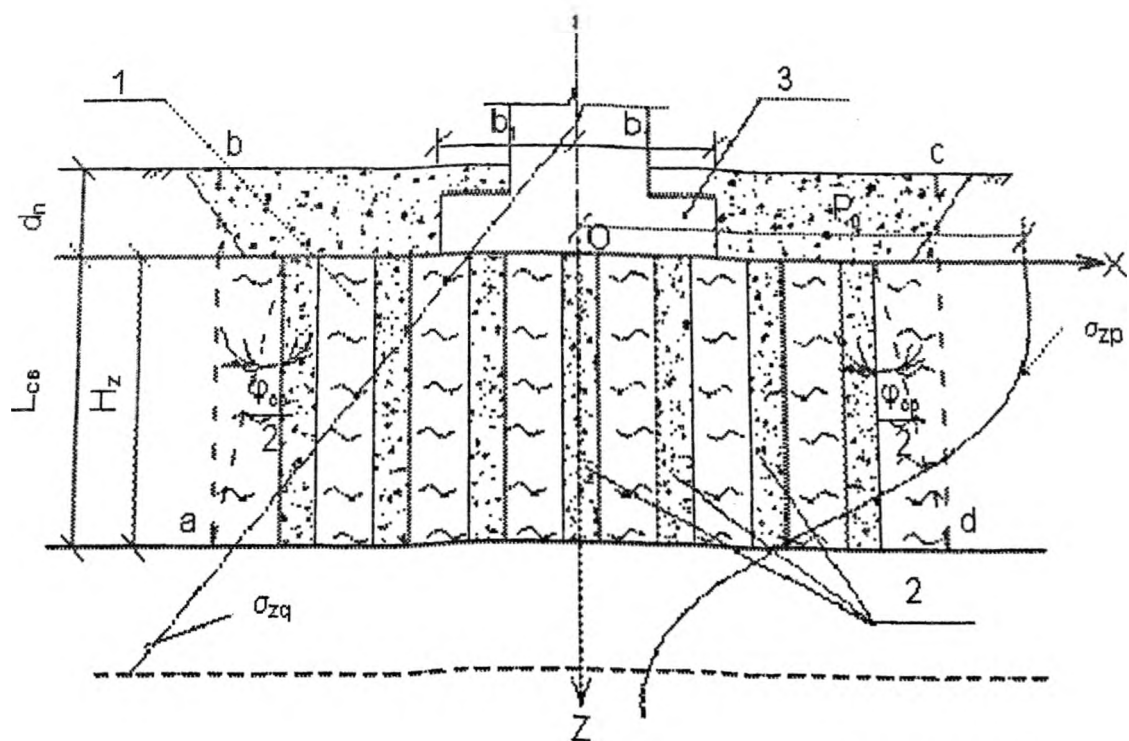


Рисунок 2 – Схема к расчету основания армированного вертикальными элементами

1 – слабый грунт;  
 2 – армирующие элементы

Предварительное количество армирующих элементов и их длину следует определять по формуле

$$\frac{N_d}{n} \leq \frac{F_d}{\gamma_d} \quad (7)$$

где  $N_d$  - расчетная сжимающая сила, кН;  $n$  - число армирующих элементов (свай);

$\gamma_d$  - коэффициент надежности ;

$F_d$  - несущая способность армирующих элементов (свай) по грунту (материалу), кН.

Несущую способность буронабивных и буронабивных свай с инъекционным упрочнением грунта под нижним концом следует определять согласно П18-2004 к СНБ 5.01.01, а для иных, включая грунтовые и цементогрунтовые - по данным их статических испытаний с учетом требований [1].

Проверка условия  $P \leq R$  на уровне нижних концов армирующих элементов производится по методике, изложенной в [1] (где  $P$  - удельная нагрузка по подошве условного фундамента;  $R$  - расчетное сопротивление под подошвой условного фундамента).

Расчет оснований по деформациям производится исходя из условий

$$\alpha \cdot R_2 + (1 - \alpha) \cdot R_1 \geq P, \quad (8)$$

$$S_{ap} \leq S_u, \quad (9)$$

где  $R_1$  - расчетное сопротивление неармированного грунта под подошвой фундамента, кПа;

$R_2$  - расчетное сопротивление материала элементов усиления при условии замены естественного грунта армирующим, кПа;

$\alpha = V_{ap} / V_{гр}$  - коэффициент, характеризующий долю армирующих элементов в объеме усиливаемого грунта ( $V_{ap}$ -объем армирующих элементов,  $V_{гр}$ -объем грунта);

$p$  - среднее давление под подошвой фундамента, кПа;

$S_{ap}$  - осадка армированной части основания;

$S_u$  - предельное значение совместной деформации основания и сооружения.

Параметры  $R_1$ ,  $R_2$  и  $S_u$  определяются по формулам [1].

Осадку основания ( $S_{ap}$ ) вычисляется методом послойного суммирования по формуле

$$S_{ap} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_3}, \quad (10)$$

где  $h_i$  - расчетная толщина  $i$ -го слоя грунта в пределах зоны армирования, принимается из условия  $h_i = 0,2b$  (где  $b$  - ширина фундамента), м;

$n$  - число слоев на которое разбивается сжимаемая толща армированного грунта;

$\sigma_{zp,i}$  - среднее значение дополнительного вертикального напряжения в  $i$ -ом армированном слое, равное полусумме указанных напряжений на верхней  $Z_{i-1}$  и нижней  $Z_i$  границах слоя по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа;

$E_3$  - модуль деформации армогрунта в направлении перпендикулярном поверхности грунта, кПа.

Деформативные характеристики ( $E$ ,  $E_3$ ) следует определять экспериментально, а при отсутствии опытных данных по приближенным формулам [2].

### Основания усиленные армированными подушками

При передаче нагрузки от фундамента на грунт основания наибольшие нормальные напряжения в нем возникают непосредственно под подошвой фундамента. С глубиной и в стороны от площади загрузки напряжения быстро уменьшаются вследствие их рассеивания в окружающем грунте. Наибольшие касательные напряжения, приводящие к образованию зон пластических деформаций (зон сдвигов), возникают под краями фундаментов. Эти зоны распространяются на некоторую глубину и частично в стороны. Если в пределах области распространения значительных нормальных и касательных напряжений заменить слабый грунт на более прочный и малосжимаемый с относительно высоким сопротивлением сдвигу, то работа основания существенно улучшится. Примером такого решения является устройство под фундаментами армированных подушек (рис.3).

Армированные подушки являются простейшим видом искусственно улучшенных оснований [2]. При их устройстве слабый грунт заменяют крупным или средней крупности песком, укладываемым с заданной плотностью сложения и усиленным армирующими элементами. Такие подушки используют для передачи давления через подошву фундамента на более прочный грунт по сравнению с несущим слоем естественного основания. Это способствует уменьшению объема и глубины заложения фундаментов, выравниванию осадок сооружения и более быстрому их затуханию.

Расчет армированных песчаных подушек сводится к определению их размеров и осадок возводимых на них фундаментов [2]. Высота песчаной подушки  $h_{cs}$  выбирается таким образом, чтобы давление, передаваемое на подстилающий слой, не превышало его расчетного сопротивления  $R_z$ , а осадка не превосходила предельно допустимую, т. е. должны удовлетворяться следующие условия

$$\sigma_{zq} + \sigma_{zp} \leq R_z \quad (11)$$

$$S \leq S_u \quad (12)$$

где  $\sigma_{zp}$  – вертикальное напряжение на слабый слой грунта от внешней нагрузки по подошве песчаной подушки в кПа;

$\sigma_{zq}$  – вертикальное напряжение от собственного веса песчаной подушки, передаваемое на слабый слой грунта в уровне ее подошвы, кПа;

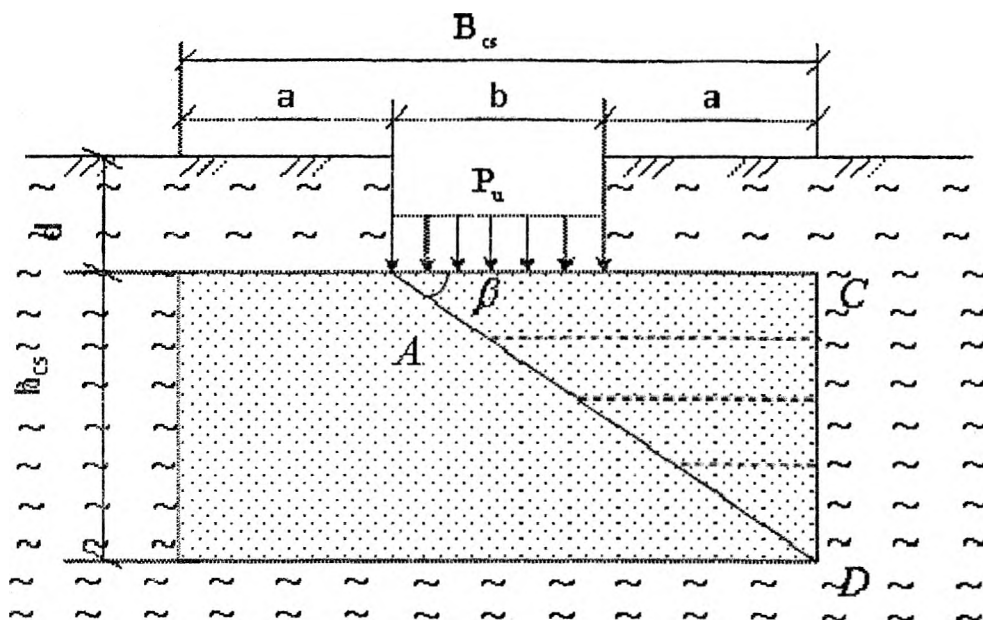


Рисунок 3 – Схема к расчету армированной грунтовой подушки

$S$  – совместная деформация основания и сооружения [1];

$S_u$  - предельное значение совместной деформации основания здания и сооружения согласно [1];

$R_z$  - расчетное сопротивление грунта пониженной прочности на глубине  $z$ , кПа, вычисленное по [1].

Если это условия не удовлетворяется, то увеличивается высота подушки, а иногда и площадь подошвы фундамента. Подушка должна иметь также достаточную ширину для обеспечения устойчивости основания. При малой ширине подушки слабый грунт, находящийся по ее периметру, будет заметно уплотняться, причем в нем могут возникнуть пластические деформации с выдавливанием самой подушки в стороны.

**Выводы.** 1. Армирование грунтов является эффективным способом улучшения их прочностных и деформативных свойств. 2. Армирование грунтов с помощью горизонтальных и вертикальных элементов позволяет снизить осадки оснований и повысить их несущую способность в 2 и более раз.

**Литература.** 1. ТКП 45-5.01-254-2012 (02250) Основания и фундаменты зданий сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования / Минстройархитектуры Республики Беларусь – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. - 164 с. 2. ТКП 45-5.01-268-2012 (02250) Основания и сооружения из армированного грунта. Правила проектирования и устройства / Минстройархитектуры Республики Беларусь – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2013.-46 с.