

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УСТРОЙСТВО ОСНОВАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ АРМИРОВАННОГО ГРУНТА

Вабищевич Н. И.

(научный руководитель – Банников С. Н.)

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Армированный грунт — составной материал, включающий в себя чередующиеся слои насыпного грунта и армирующих элементов. Армированный массив грунта — естественный грунтовый массив, усиленный армирующими элементами. Армирующий элемент — составная часть армированного грунта, обеспечивающего восприятие повышенных сжимающих и растягивающих напряжений. Насыпной грунт - грунт природного происхождения с нарушенной естественной структурой. Армирование грунта является одним из методов преобразования свойств, когда в грунтовую среду вводятся элементы, обеспечивающие восприятие повышенных сжимающих и растягивающих напряжений. Его применение в основании или геомассиве должно быть обосновано технико-экономическими расчетами путем сравнения вариантов с другими традиционными решениями, применительно к конкретным инженерно-геологическим условиям.

Армирование грунта подразделяется:

- по текстурным признакам — анизотропное и изотропное;
- по виду армирующих элементов — набивными, буронабивными, забивными и грунтовыми сваями; буроинъекционными сваями; анкерами; металлическими стержнями и полосами; геотекстилем; полимерными пленками; волокнами, нитями, кордовой тканью;
- по способу производства работ — забивкой, задавливанием и вибропогружением; устройством скважин и инъецированием; завешиванием в скважины с последующей заливкой и инъекцией; растилкой и раскладкой; с применением струйной технологии; замывом и засыпкой;

— по характеру расположения армирующих элементов — вертикальное, горизонтальное, наклонное в одном, двух и более направлениях; ячеистыми структурами; объемно-дисперсное (табл. 1).

Таблица 1. – Классификация способов армирования оснований

Классификация способов армирования оснований по характеру расположения армирующих элементов	Область применения способа
Вертикальное	Упрочнение оснований, повышение устойчивости оснований и склонов. Укрепление откосов котлованов. Отсечные конструкции
Горизонтальное	Для исключения выпора грунтов из-под сооружения: армирование обратных засыпок подпорных стен; повышение устойчивости насыпей
Наклонное в одном направлении	Повышение устойчивости склонов и откосов, армирование обратных засыпок и подпорных стен
Наклонное в двух и более направлениях	Повышение устойчивости склонов, повышение несущей способности оснований при геотехнических реконструкциях
Ячеистые структуры	Упрочнение оснований, повышение их устойчивости, укрепление откосов насыпей и подпорных стен

Армирующие материалы и технические требования к ним

В качестве армирующих элементов могут использоваться полосы шириной от 50 до 100 мм и толщиной от 3 до 5 мм из металла, полимеров или пластика, усиленного стекловолокном. Они могут быть гладкими или имеющими шероховатость, образуемую ребрами или насечками для повышения трения между арматурой и засыпкой. Стальные полосы должны быть защищены от коррозии.

Кроме полосовой арматуры можно применять бруски из древесины, железобетона, в том числе из предварительно напряженного. В качестве арматуры можно применять сетки с шагом поперечных (перпендикулярно облицовке) и продольных (параллельно облицовке) элементов в зависимости от их прочности на растяжение и внутренней устойчивости усиливаемого грунта. В качестве арматуры могут использоваться рулонные тканые или нетканые материалы

из геотекстиля и полимеров. Анкерующие устройства армирующих элементов могут изготавливаться в виде выступов или изгибов (или их сочетания с иными прикрепленными элементами). Армирующие материалы должны обладать необходимой прочностью, низкой ползучестью, долговечностью, высоким коэффициентом трения и малой сжимаемостью. Коэффициент трения или связность между арматурой и грунтом ($f_{тр}$) должен определяться с помощью испытаний на срезных приборах.

Усиление откосов, склонов и стен котлованов с помощью нагелей.

При устройстве глубоких котлованов в естественных грунтовых массивах в случае отсутствия или дренирования подземных вод для обеспечения устойчивости вертикальных бортов или крутых откосов может использоваться их армирование при помощи заливных нагелей. В качестве арматурных элементов для нагелей целесообразно использовать стальные стержни периодического профиля или полосы.

По ходу последовательной отрывки котлована скважины для армирующих грунтовый массив нагелей нужно бурить или пробивать с погружением в них арматуры и замоноличиванием ее заливаемым цементным раствором. Для крепления скважин следует использовать металлические или пластмассовые трубы, как правило извлекаемые после нагнетания по ним раствора с В/Ц = 0,35—0,40 на основе цемента марки не менее М300. В связных грунтах трубы могут не применяться.

Работы по устройству нагельного армирования естественного грунтового массива ведут в следующей последовательности:

— выемка по захваткам грунта бульдозером на глубину первого яруса (от 0,5 до 1,0 м) с устойчивыми бортами вертикальных откосных стенок;

— укладка на поверхность откоса металлической сетки и ее замоноличивание посредством бетонирования или торкретирования. В сборном варианте на поверхность откоса укладывается стеновой элемент в виде железобетонной плиты с отверстиями для бурения и устройства нагелей;

— бурение или пробивка (продавливание) горизонтальных скважин (шпуров) с креплением стенок трубами и последующим по-

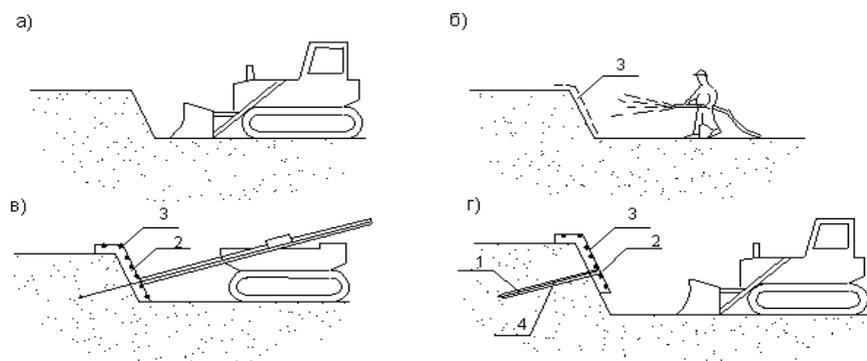
гружением в них армирующих нагелей в виде стальных стержней или полос;

— нагнетание или заливка в скважины цементного раствора через извлекаемые последовательно трубы (при их использовании);

— заделка концов нагелей на защитной стенке путем приварки шайб или натяжения гаек с последующим их замоноличиванием или иным способом защиты от коррозии;

— выемка грунта бульдозером при дальнейшем заглублении и креплении каждого последующего яруса откоса по захваткам в том же порядке до полной отрывки котлована.

Как правило, нагели должны иметь уклон не менее 5° для возможности заполнения скважин раствором путем заливки без избыточного давления.



1 - стержневая арматура; 2 - защитная стенка из торкретбетона (сборных плит);
3 - металлическая сетка для армирования стенки; 4 - заполнение скважин со стержнями цементным раствором; а, б, в, г - последовательность работ

Рисунок 1. – Технологическая последовательность нагельного способа горизонтального армирования естественного грунтового массива:

Принципы расчета сооружений и оснований из армированного грунта

Сооружения из армированного грунта с вертикальной стенкой проектируются в соответствии с принципами геотехники, исходя из внутренней и внешней устойчивости. Оценка внутренней устойчивости армоконструкций связана с количеством, размещением, дли-

ной и сечением армирующих элементов, а также с величиной активного давления армогрунта, воздействующего на облицовку.

Расчет производится в следующей последовательности:

— конструктивно устанавливаются, 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:

$$bdR_s \frac{1}{\gamma_{gc}} \geq \gamma_1 (h + z) \xi_a h_v h_u ,$$

где b — ширина армирующих элементов, м;

d — толщина армирующей полосы, м;

γ_{gc} — коэффициент запаса, учитывающий возможность коррозии материала арматурной полосы ($g_{gc} = 1,5$);

R_s — расчетное сопротивление материала армирующего элемента растяжению, кПа, (см. приложение В);

γ_1 — расчетный удельный вес грунта засыпки для I группы предельных состояний, кН/м³;

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

h — высота слоя грунта, заменяющая действие сплошной нагрузки, м;

$$h = \frac{q}{\gamma_1} ,$$

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

ξ_a — коэффициент активного давления грунта;

$$\xi_a = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 0,5\varphi_1) ,$$

φ_1 — расчетное значение угла внутреннего трения грунта засыпки для I группы предельных состояний, 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) по формулам:

$$l = \frac{h_v h_u \xi_a}{2b \operatorname{tg} \psi_i},$$

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

$$L = a_n + l \gamma_{gs} \geq 0,7H$$

где ψ_i — расчетное значение угла сдвига грунта по армирующим элементам, град;

a_n — ширина призмы обрушения, м;

H — высота подпорной стенки, м;

φ_i — расчётное значение угла внутреннего трения грунта засыпки для I группы предельных состояний, град;

γ_{gs} — коэффициент запаса, учитывающий возможные колебания значений коэффициента сцепления арматурных полос с грунтом ($g_{gs} = 2$);

— вычисляется значение активного распорного напряжения (σ_3) на глубине (z):

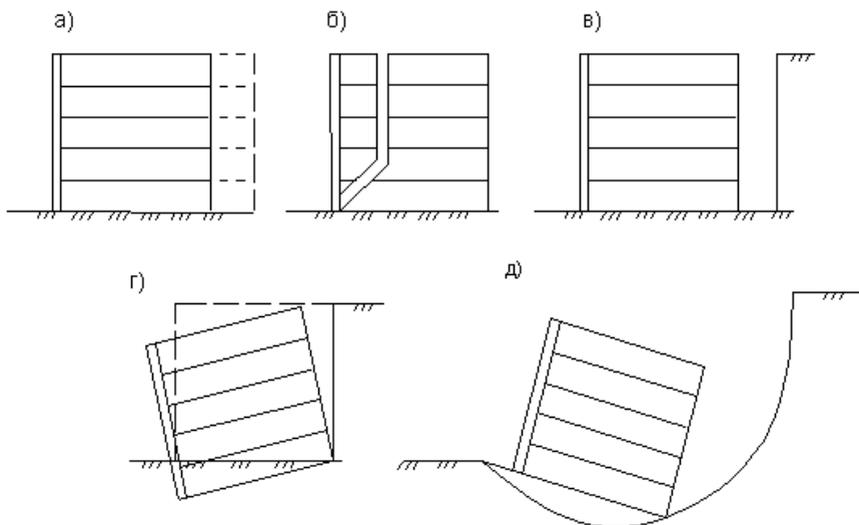
$$\sigma_3 = \gamma_i (z + h) \left(\xi_a - \frac{2ba_n \operatorname{tg} \psi_i}{h_v h_u \gamma_{gs}} \right),$$

где γ_i — расчётное значение удельного веса i -го слоя грунта обратной засыпки, кН/м³;

ψ_i — расчётное значение угла сдвига удельного веса i -го слоя грунта по армирующим элементам, град;

Железобетонные лицевые плиты, металлические и геотекстильные оболочки следует рассчитывать в соответствии с их фактическими схемами опирания на армирующие элементы и загрузки активным распорным напряжением (σ_3).

Проверку внешней устойчивости армированного сооружения на опрокидывание, плоский и глубинный сдвиг необходимо выполнять графоаналитическими методами (круглоцилиндрических или ломаных поверхностей скольжения) в соответствии с ТКП 45-5.01-254. При наличии здания или сооружения на поверхности армированного сооружения следует производить расчет по деформациям согласно ТКП 45-5.01-254.



а - адгезионное; б - разрыв армирующих элементов; в - горизонтальное смещение; г - наклон сооружения; д - обрушение скольжением

Рисунок 2. – Механизмы разрушения подпорных сооружений из армированного грунта

Также, возможно производить расчёты оснований, усиленными армированными подушками; усиления грунтовых массивов вертикальными и наклонными сваями; оснований, упрочнёнными вертикальными армирующими элементами.

Литература

1. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта
2. ТКП 45-5.01-268-2012 (02250). Основания и сооружения из армированного грунта. Правила проектирования и устройства