

РАСЧЁТ КОНСТРУКЦИИ ТОНКОСЛОЙНОЙ НАСЫПИ ВРЕМЕННОЙ ДОРОГИ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОБОЛОЧКИ «ГеоФРАМ»

1. При расчёте реализуется армирующий эффект прослойки из геоболочки «ГеоФРАМ», работающей на растяжение при образовании колеи. По условию движения глубина колеи ограничивается максимально допустимой величиной, составляющей 0,1 диаметра отпечатка колеса автомобиля. Колея образуется либо в результате пластических деформаций сдвига под колесом, либо вследствие компрессионного уплотнения слабого грунта в колею. Соответственно расчёт выполняют, исходя из двух условий:

- по условию возникновения колеи выдавливания, связанному с потерей несущей способности;

- по допустимой глубине колеи в результате уплотнения грунта; в качестве окончательного принимается значение большей толщины насыпного слоя h_n над геоболочкой «ГеоФРАМ», уложенной поверх слабого основания.

2. Расчёт выполняется для нагрузки от одиночного колеса P_0 с диаметром площади отпечатка D_0 на поверхности насыпного слоя толщиной h_n , подстилаемого слабым грунтом, на который уложена геотекстильная прослойка.

3. Расчёт сводится к проверке условия

$$P_z \leq P_z^{np} + \kappa * P_{mk} \quad (1)$$

где P_z - нагрузка, действующая на поверхность слабого грунта от колеса P_0 и собственного веса насыпного слоя q ;

суммарная нагрузка определяется по формуле

$$P_z = P_0 * \kappa + q; \quad (2)$$

P_z^{np} - критическая нагрузка на слабый грунт определяется по формуле

$$P_z^{np} = M_1 * D_z * \gamma_{cl} + M_2 * \gamma_n * h_n + M_3 * c; \quad (3)$$

P_{mk} - нагрузка, воспринимаемая прослойкой при допустимой величине глубины колеи; определяется из выражений (4) и (7) при условии $S=S_{дон}$;

κ - коэффициент распределения напряжений, определяемый по специальному графику;

q - собственный вес насыпного слоя над геосинтетической прослойкой;

M_1, M_2, M_3 - функции угла внутреннего трения φ_c ;

$\gamma_{св}$ c - средний удельный вес грунта слоя над прослойкой и сцепление слабого грунта под прослойкой;

D_z - диаметр загруженной площадки на уровне поверхности слабой толщи;

h_n - соответственно толщина насыпного слоя и его средний удельный вес.

(4)

где P - растягивающее усилие в прослойке из геоболочки «ГеоФРАМ» (определяется в лаборатории);

E_{mk} - условный модуль деформации геоматрицы (Н/см), определяемый в процессе испытаний образцов на растяжение, и представляет собой отношение прочности при растяжении P_p к относительному удлинению ε , т.е.

(5)

l_0 - первоначальная длина образца;

l_p - длина при растяжении;

f_n - коэффициент трения нижней поверхности геоболочки «ГеоФРАМ» по подстилающему слабому грунту;

f_{cp} - средний коэффициент трения геоболочки «ГеоФРАМ» по грунту сверху и снизу.

(6)

здесь $\varphi_0, <\varphi_n$ - углы внутреннего трения соответственно грунта слабого основания и насыпного слоя (в данном случае для торфяных грунтов).

Зависимость, связывающая P_{mk} с величиной осадки S (глубиной колеи):

(7)

D_o - диаметр отпечатка колеса на поверхности насыпного слоя.

Соблюдение условия (7) должно гарантировать от образования колеи выдавливания глубиной более $S_{дон}$, т.е. от потери несущей способности.

4. Расчёт по допустимой глубине колеи в результате уплотнения грунта (по второму условию) сводится к проверке условия

$$S_{расч} \leq S_{дон} \quad (8)$$

где $S_{расч}$ - расчётная глубина колеи, определяемая по формуле (9);

$S_{дон}$ - допустимая глубина колеи, принимаемая равной 0,1 от диаметра колеса D_k .

(9)

где $E_{сл}$ - штамповый модуль деформации слабого грунта; допускается принимать по табл.1;

D_z - диаметр загруженной площадки на уровне поверхности слабой толщи;

P_z - расчётная величина действующих напряжений

$$P_z = (P_0 - P_{mk}) * k \quad (10)$$

где k — коэффициент распределения напряжений;

u_k — коэффициент, меньший 1, учитывающий реальную степень консолидации слабого грунта от воздействия подвижной нагрузки, которая может быть достигнута за срок службы конструкции (для болот I-II типа u_k может быть принят равным 0,6).

Таблица 1

Тип слабого грунта (торф)	Модуль деформации Ea кгс/см ²
I	
А	4,2
Б	2,1
II	1,4

Примечание. Тип слабого грунта в данном случае соответствует типу болот согласно СНиП 2.05.02-85.

5. Общий порядок расчёта сводится к следующему.

- Задавшись h_n в пределах $D_o - 2D_o$ определяем величину k ;

- вычисляем $P_z = P_z * k$;

- используя зависимости (4 - 7), определяем величины S и по принятой величине h_n значение P_{mk} ;

- проверяем условие (1) и в случае его неудовлетворения задаёмся другим значением h_n и повторяем расчёт.

Расчёт по условию (см. п.4) осуществляется в такой последовательности:

- задавшись h_n в пределах $D_0 - 2D_0$, определяем величину k ;
- задаваясь допустимой осадкой и используя зависимости (4 - 7), определяем для принятой величины h_n значение $P_{тк}$;
- по формуле (10) определяем значение расчётных напряжений P_z ;
- по формуле (9) определяем расчётную осадку $S_{расч}$ и проверяем условие (8). В случае его неудовлетворения задаёмся другим значением h_n и повторяем расчёт.

6. В качестве окончательного значения требуемой толщины насыпного слоя следует принять наибольшее значение из расчётов по несущей способности и уплотнения грунта.

7. Для ускорения определения толщины насыпного слоя, обеспечивающего проезд, можно использовать полученные в результате данной методики готовые зависимости, связывающие толщину насыпного слоя с одним из параметров слабого грунта, определение которого было бы достаточно простым.

Для торфяных грунтов, залегающих в основании, толщина насыпного слоя, обеспечивающего проезд, может быть определена в зависимости от сопротивляемости этих грунтов сдвигу по крыльчатке.

Для глинистых грунтов, кроме того, в качестве характеристики механических свойств может использоваться коэффициент консистенции, связанный с расчётными показателями φ и C .

ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ

1. Пример расчёта требуемой толщины тонкослойной насыпи с геооболочкой «ГеоФРАМ» на торфяном основании для обеспечения проезда

Исходные данные:

- среднее удельное давление от колеса $P = 0,6$ МПа;
- диаметр отпечатка колеса $D_0 = 36$ см;
- грунт насыпного слоя — песок среднезернистый $\varphi=30^\circ$; $\gamma_0=1,8$ т/м³;
- грунт основания — торф, тип I-A, $C=0,015$ МПа; $E_{cl}=0,27$ МПа;
- жесткость геоматрицы — $E_{mk} = 100$ Н/см;
- допустимая глубина колеи $S_{дон} = 11$ см.

Задаём значение $h_n=0,6$ м и проверяем условие $P_z \leq P_z^{np} + k * P_{mk}$, где P_z - нагрузка, действующая на поверхность слабого грунта от колеса P_0 и собственного веса насыпного слоя q ;

$$P_z = P_0 * k + q;$$

P_z^{np} - критическая нагрузка на слабый грунт определяется по формуле

$$P_z^{np} = M_1 * D_z * \gamma_{cl} + M_2 * \gamma_n * h_n + M_3 * c;$$

P_{mk} - нагрузка, воспринимаемая прослойкой при допустимой величине глубины колеи; определяется из выражений (4) и (7) при условии $S=S_{дон}$;

k - коэффициент распределения напряжений, определяемый по специальному графику;

q - собственный вес насыпного слоя над геосинтетической прослойкой;

M_1, M_2, M_3 - функции угла внутреннего трения φ ;

γ_{cl}, c - средний удельный вес грунта слоя над прослойкой и сцепление слабого грунта под прослойкой;

D_z - диаметр загруженной площадки на уровне поверхности слабой толщи;

h_n - соответственно толщина насыпного слоя и его средний удельный вес.

суммарная нагрузка определяется по формуле:

$$q = h_n * \gamma_0 = 0,6 * 1,8 = 0,0108 \text{ МПа};$$

$$2 * h_n / D_0 = 2 * 60 / 36 = 3,33$$

$$k = 0,12; D_z = 98 \text{ см};$$

по номограмме для $h_n = 0,6$ м определяем $P_{mk} = 0,095$ МПа;

по графику для $\varphi = 0^\circ$ определяем $M_1 = 6,8$; $M_2 = 2,6$; $M_3 = 0$;

$$P_z^{np} = 6,8 * 0,15 + 2,6 * 0,6 * 1,8 = 0,13 \text{ МПа};$$

$$P_z^{np} + P_{mk} * k = 0,13 + 0,095 * 0,12 = 0,14 \text{ МПа};$$

$$P_z = 0,6 * 0,12 + 0,0108 = 0,077 \text{ МПа}.$$

Условие (1) выполнено.

Проверяем условие (8).

$$S_{расч} = (P_z * D_z * u_k) / E_{cl} = (k * D_z * u_k * (P_0 - P_{mk})) / E_{cl} = (0,12 * 98 * 0,6 * (0,6 - 0,095)) / 0,27 = 1320 \text{ см}$$

Так как $S_{расч} > S_{дон}$, расчёт необходимо повторить для $h_n = 0,7$ м.

$$S_{расч} = (114 * 0,088 * 0,6 * (0,6 - 0,12)) / 0,27 = 1320 \text{ см}$$

Условие (8) выполнено. Вместе с тем можно, не изменяя высоту насыпи, подобрать геосинтетический материал геоболочки «ГеоФРАМ» с более высоким модулем деформации для обеспечения условия $S_{расч} \leq S_{дон}$

Задавшись модулем материала, равным 350 Н/см, определяем P_{mk} по формуле

$$P_{mk} = Ah_{нас} = 0,35 * 0,6 = 0,21 \text{ МПа.}$$

$$S_{расч} = 10,19 \text{ см} < S_{дон} = 11 \text{ см.}$$

Таким образом, не изменяя (не увеличивая) высоту насыпи, обеспечиваем соблюдение условия (8).

2. Пример расчёта насыпи на слабом основании с использованием армоэлемента из геоболочки «ГеоФРАМ»

Исходные данные:

- насыпь высотой 0,6 м ($H=0,6$ м); ширина земляного полотна 4,5 м; крутизна откосов $m=1:1,5$; нагрузка на поверхности насыпи $q=30$ кН/пог.м;
- слабое основание мощностью 4 м представлено лёгкими суглинками с показателем текучести $> 0,5$ (текучепластичная консистенция); слабые грунты подстилаются моренными суглинками твёрдой консистенции;
- насыпь отсыпается из мелкозернистого песка с $M_{кр}=1,85$; $\varphi=25^\circ$; $C=1$ т/м²; $\gamma_{вл}=1,75$ т/м³;
- грунты слабого основания до глубины 4 м имеют следующие показатели физико-механических свойств: $\varphi=6^\circ$; $C=1$ т/м²; $\gamma_{вл}=1,85$ т/м³;
- подстилающие моренные суглинки твёрдой консистенции характеризуются следующими показателями: $\varphi=15^\circ$; $C=3,5$ т/м²; $\gamma_{вл}=1,8$ т/м³;

Порядок расчёта

• выполняют оценку устойчивости насыпи на слабом основании. Расчёт осуществляется на основе метода кругло-цилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС) в интерпретации К. Терцаги, например, с использованием графика Н. Ямбу.

После анализа результатов оценки при значении $K_y < K_{mp}$ (при $K_{mp} \geq 1,3$) повторно производят расчёт устойчивости насыпи на слабом основании по методу КЦПС с учётом армоэлемента из геоболочки «ГеоФРАМ» на поверхности основания и определяют требуемые значения дефицита удерживающих сил на армоэлементе и расчётной прочности материала геоболочки (кН/пог.м).

Результаты расчёта

На основе выполненных расчётов получено:

• в исходном состоянии устойчивость насыпи на слабом основании не обеспечена: $K_y=0,84 < K_{mp}=1,3$;

• дефицит удерживающих сил на уровне предполагаемой укладки армоэлемента из геоболочки составляет 11,7 т (117 кН/пог.м);

• расчётная величина прочности материала (ГМ):

$$R \geq 120 * 1,2 * (0,8 * 0,95 * 0,9 * 0,9) = 226 \text{ кН/пог.м;}$$

• для указанных целей может быть рекомендован тканый материал с прочностью 230 кН/пог.м;

• в случае использования материала в качестве временного армоэлемента расчётное значение прочности может быть принято равным 117 кН/пог.м.

3. Пример расчёта устойчивости против бокового плоского скольжения

Исходные данные:

• насыпь высотой 0,6 м ($H=0,6$ м); грунт - мелкий песок, $\varphi = 30^\circ$; $\gamma = 1,75$ т/м³; внешняя распределённая нагрузка $W_s=30$ кН/м;

• армоэлемент – геоболочка «ГеоФРАМ» из материала с расчётной прочностью 50 кН/м;

• коэффициент удельного веса грунта (табл.3.2 приложения 8) - $f_{fs}=10$;

• коэффициент корректировки величины распределённой внешней нагрузки (табл.3.2) - $f_q=1,5$;

• коэффициент активного бокового давления от грунта насыпи $K_a - \text{tg}(45^\circ - \varphi/2) = 0,57$.

Определяем максимальную нагрузку на геоболочку на уровне бордюрной кромки насыпи:

$$T_{ds} = 0,5 K_a H (f_{fs} \gamma H - 2 f_q W_s) = 1,48 \text{ т/пог.м.}$$

В связи с этим целесообразно в целях экономии принять расчётную прочность геоболочки, равную 20 кН/пог.м.

К указанному варианту расчёта следует выполнить проверку на контактное взаимодействие синтетического материала геоболочки «ГеоФРАМ» на проскальзывание. Поверхности взаимодействия (контактирования) на контактах геоболочки - грунт насыпи, геоболочки — грунт слабого основания (поверхность) представляют собой потенциальные поверхности скольжения. Проскальзывание исключается, если выполнены условия уравнения

$$T_o - E_h > 0; T_o' + F - E_h > 0; T_o' = C * n * H;$$

здесь T_o - сила трения между грунтом насыпи и геоболочкой «ГеоФРАМ»;

E_h — величина горизонтальной составляющей активного давления;

T_o' — сила трения между геоболочкой «ГеоФРАМ» и грунтом основания;

F — прочность материала геоболочки «ГеоФРАМ» ;

C — условное сцепление грунта.

Расчёт силы трения по поверхности геоболочки «ГеоФРАМ» (контакт с грунтом насыпи)

$$T_o = 0,5 * \gamma * n * H^2 * f_3 = 0,5 * 1,75 * 2 * 0,36 * 0,8 = 0,504 \text{ т/пог.м;} \\ (\text{здесь } f_3 = 0,8; n - \text{крутизна откоса}).$$

Расчёт силы трения по нижней поверхности геоболочки «ГеоФРАМ» (поверхность грунта слабого основания). Для начального состояния (мгновенная отсыпка):

$$T_o' = C_n * n * H = 3 * 2 * 0,6 = 3,6 \text{ т/пог.м} \\ (C_n = 3 \text{ т/м}^2 - \text{начальная величина сцепления грунта}).$$

Для конечного состояния:

$$T_o' = C_n * n * H + 0,5 K_a * \gamma * n * H^2 * f_k = 4 * 2 * 0,6 + 0,5 * 0,57 * 1,75 * 2 * 0,36 * 0,9 = 4,8 + 0,32 = 5,12 \text{ т/пог.м.}$$

$$(C_k = 4 \text{ т/м}^2 - \text{конечная величина сцепления грунта}).$$

Проверяем требуемые условия:

1) $T_0 - E_h > 0$; $50,4 - 32 > 0$;

2) $T_0' + F - E_h > 0$; $5,12 + 2 - 32 > 0$.

Таким образом, констатируем, что указанные условия выполнены; исключается проскальзывание как сверху, так и снизу геоболочки «ГеоФРАМ».