

ООО НТЦ "ГЕОТЕХНОЛОГИИ"

ТЕЛ/ФАКС: (812) 347-86-07

СОРУРІГНТ "ГЕОТЕХНОЛОГИИ" © 2007

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2007

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НЕЖЕСТКИХ ОДЕЖД ЗАБОЙНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО
КОМБИНАТА ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСВА
(ДЛЯ ОПЫТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ)**

Предисловие

«Рекомендации» содержат указания по конструированию и расчету нежестких дорожных одежд забойных дорог горно-обогатительного комбината им. М.В. Ломоносова (ГОКа), предназначенных для движения сверхтяжелых карьерных автосамосвалов общей массой 180-235 тонн.

«Рекомендации» применимы для:

- определения необходимых толщин как традиционных (неармированных) дорожных одежд, так и армированных высокопрочными синтетическими георешетками;
- выявления оптимальных конструкций дорожных одежд и поиска путей сокращения затрат на дорожное обеспечение ГОКа.

Основой для разработки документа послужили положения «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-83, «Инструкции по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-60, «Инструкции по расчету нежестких дорожных одежд для специализированных тяжеловозных транспортных средств» ВСН 543-87, «Инструкции по расчету дорожных одежд нежесткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузоподъемностью 27-180 т», «Руководства по устройству и механизации строительства карьерных автодорог для автосамосвалов грузоподъемностью 27-180 т». В настоящих «Рекомендациях» также использованы материалы теоретических и экспериментальных исследований, проведенных коллективом кафедры «Аэродромы и дороги (основания и фундаменты)» ВИТУ в рамках научно-исследовательской работы «Алмаз».

Общее руководство исследовательскими работами и редактирование данных «Рекомендаций» выполнено кандидатами технических наук С.О. Гуниным и А.К. Поповичем.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1. Общие положения
2. Конструирование дорожных одежд забойных автомобильных дорог
3. Расчет нежестких дорожных одежд
 - 3.1 Расчет дорожных одежд по величине деформации
 - 3.2 Расчет дорожных одежд по величине вертикального давления на поверхности грунтового основания
 - 3.3 Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации геосинтетического материала
4. Основные технологические операции по устройству однослойных дорожных одежд, армированных георешетками
5. Технико-экономическое обоснование
6. Приложения (обязательные):
 - 6.1 Типы и физико-механические свойства георешеток
 - 6.2 Параметры автосамосвалов
 - 6.3 Расчетные значения модулей деформации грунтовых оснований, применительно к горно-обогатительному комбинату
 - 6.4 Расчетные значения углов внутреннего трения и удельного сцепления грунтов земляного полотна
 - 6.5 Расчетные значения модулей деформации материалов в конструкциях дорожных одежд
 - 6.6 Методика определения модулей деформации грунтов и материалов конструктивных слоев дорожных одежд в натуральных условиях
 - 6.7 Примеры расчета
7. Приложения (рекомендуемые):
 - 7.1 Сводная таблица результатов расчета дорожных одежд по 3-м критериям прочности
 - 7.2 Графические иллюстрации к приложению 7.1
 - 7.3 Вычислительный комплекс по расчету дорожных одежд (на магнитном носителе)

Список участников разработки «Рекомендаций»

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 «Рекомендации» содержат указания по конструированию и расчету неармированных и армированных нежестких одежд забойных автомобильных дорог карьеров горно-обогатительных комбинатов. «Рекомендации» учитывают следующие специфические условия работы забойных дорог:

- временный характер функционирования забойных дорог, ликвидируемых через 3-5 месяцев и переносимых в новое положение, что обусловлено технологией разработки карьеров ГОКа;

- преобладание в составе движения карьерных автосамосвалов общей массой до 235 тонн, имеющих давление в шинах 6 кгс/см^2 (0,6 МПа) и более, диаметр отпечатка пневматика от 90 до 140 см;

- незначительная суточная интенсивность движения сверхтяжелых автосамосвалов (до 50 авт./сутки);

- существенное влияние передних пневматиков автосамосвалов на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд и грунтовых оснований, составляющих до 70% от воздействия задних спаренных пневматиков;

- значительные габариты карьерных автосамосвалов (база - 5,3 м, колея - 5 м, высота до 5,9 м);

- неблагоприятные климатические условия района дорожного строительства, характеризующиеся постоянным увлажнением грунтов и длительностью расчетного периода весенней распутицы более 1 месяца (Архангельская обл., II дорожно-климатическая зона);

- наличие грунтов, слагающих основание дорожных одежд с широким спектром варьирования классов, групп, подгрупп, типов, видов и разновидностей;

- практическое отсутствие в данном регионе горных пород, из которых можно организовать производство щебня.

1.2 При армировании дорожной одежды георешетка укладывается на контакте грунта и нижней плоскости покрытия, что вызвано, главным образом, необходимостью исключения засорения алмазосодержащих пород и создания условий для повторного использования щебня в конструкциях дорожных одежд, возводимых на новых участках горных работ.

1.3 Использование принципа армирования в указанных выше условиях позволяет решить следующие практические задачи:

- повысить надежность участков автомобильной дороги в местах, где в процессе эксплуатации возможно повышение влажности земляного полотна или подстилающего грунта по сравнению со значениями, закладываемыми в расчет дорожной конструкции;

- снизить толщину дорожных одежд, а, следовательно, расход дорожно-строительных материалов;

- продлить срок строительного сезона при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд в неблагоприятные периоды года;

- практически исключить проникание щебня в земляное полотно или подстилающий грунт, тем самым значительно уменьшить засорение алмазосодержащих пород и сохранить щебень для дальнейшего использования.

1.4 Эффективность решений задач, указанных в п. 1.3 зависит от правильного учета грунтово-гидрологических условий, выбора типа армирующих георешеток, а также подбора гранулометрического состава щебня.

1.5 Типы и физико-механические свойства георешеток, которые могут быть использованы для решения указанных в п. 1.3 задач, приведены в приложении 6.1.

1.6 При выполнении работ по армированию дорожной одежды необходимо соблюдать последовательность выполнения рекомендуемых в разделе 4 операций, так как это в значительной степени влияет на эффективность работы геосинтетического материала, а, следовательно, и на общую толщину одежды.

1.7 В связи с ограниченным сроком службы забойных автомобильных дорог (3-5 месяцев) нежесткие одежды допускается проектировать и рассчитывать в

стадии образования и накопления остаточных деформаций на поверхности покрытия, т.е. допускается развитие колеи до нормируемого ее значения.

1.8 Настоящие «Рекомендации» могут быть применены для проектирования нежестких одежд забойных автомобильных дорог, возводимых на грунтах, имеющих модуль деформации не менее 8 кгс/см² (0,8 МПа).
Приложение 6.7

Примеры расчета

Пример №1. Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с покрытием из щебня для забойной дороги ГОКа, возводимой во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные: местность по условиям увлажнения относится к 3-му типу; грунт земляного полотна – песок пылеватый $E_{zp}= 80$ кгс/см² (8 МПа), $C = 0,07$ кгс/см² (0,007 МПа), $\varphi = 33^\circ$ (приложения 6.3, 6.4); материал покрытия – щебень из каменных пород 1, 2 марки, укладываемый по принципу заклинки, $E_{oo}=1300$ кгс/см² (130 МПа) (приложение 6.5).

Расчетная интенсивность движения – 1500 авт./мес. Марка автомобиля - БелАЗ – 7513 со следующими параметрами (приложение 6.2): давление на покрытие $P = 6$ кгс/см² (0,6 МПа), расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля $D = 138,7$ см.

1. Расчет дорожной одежды по величине деформации

Требуемый модуль деформации одежды назначается по зависимости (3.2) или по соответствующей ей номограмме (рис. 3.1):

$$E_{mp} = 1,57 \cdot \frac{PD}{S} \cdot k = 1,57 \frac{6 \times 138,7}{138,7 \times 0,06} \times 2,71 = 426 \text{ кгс/см}^2,$$

где S – допускаемая вертикальная осадка поверхности покрытия, $S = 0,06 D$, см (м);

k – коэффициент, отражающий агрессивность повторных нагрузок, вызывающих нарастание колеи $k = [0,5 + 0,65 \lg(N_c \cdot 1,7)] = [0,5 + 0,65 \times \lg(1500 \times 1,7)] = 2,71$,
где N_c – число проходов автосамосвалов в грузовом направлении, $N_c \approx 1500$ ед.;

1,7 – коэффициент, учитывающий воздействие как задних пневматиков самосвалов (1), так и передних (0,7).

При расчетной интенсивности воздействия нагрузки - 1500 авт./мес. по рис. 3.1 находится требуемый модуль деформации $E_{mp} = 426 \text{ кгс/см}^2$ (42,6 МПа). Это значение выше минимально допустимого значения модуля деформации $E_{min} = 300 \text{ кгс/см}^2$ (30 МПа), приведенного на рис. 3.1.

Принимается $E_{mp} = 426 \text{ кгс/см}^2$ (42,6 МПа).

В первом приближении намечается однослойное покрытие из щебня, толщиной, равной величине диаметра отпечатка задних колес пневматиков автосамосвалов: $h_{од} = 138 \text{ см}$.

Определение эквивалентного модуля деформации неармированной слоистой конструкции производится по зависимости (3.2), либо по соответствующей ей номограмме (рис. 3.3).

Рассматриваются слой щебня, имеющий модуль деформации $E_{од} = 1300 \text{ кгс/см}^2$ (130 МПа) и основание, имеющее модуль деформации $E_{сп} = 80 \text{ кгс/см}^2$ (8 МПа).

Для известных $\frac{E_{сп}}{E_{од}}$ и $\frac{h_{од}}{D}$ находится отношение $\frac{E_{экв}}{E_{од}}$ и после умножения на

$E_{од}$ – вычисляется модуль двухслойной системы $E_{экв}$. Результаты расчета сведены в таблицу:

№ слоя	Материал	$E, \text{ кгс/см}^2$ (МПа)	$\frac{E_{сп}}{E_{од}}$	$h_{од}, \text{ см}$	$\frac{h_{од}}{D}$	Эквивалентный модуль деформации, кгс/см^2 (МПа)
1	Щебень	1300 (130)	0,06	138	1	364 (36,4)
2	Песок пылеватый	80 (8)		-	-	80 (8)

Полученный модуль $E_{экв} = 364 \text{ кгс/см}^2$ ниже требуемого значения $E_{mp} = 426 \text{ кгс/см}^2$, поэтому необходимо изменить толщину покрытия, в данном случае, увеличить ее.

Зная отношения $\frac{E_{зр}}{E_{од}} = 0,06$ и $\frac{E_{экс}}{E_{од}} = 0,33$, по номограмме (рис.3.3) находится отношение $\frac{h_{од}}{D} = 1,2$ и после умножения на $D = 138,7$ см вычисляется необходимая толщина слоя $h_{од} = 167$ см. Результаты расчета сведены в таблицу:

№ слоя	Материал	E , кгс/см ² (МПа)	$\frac{E_{зр}}{E_{од}}$	$h_{од}$, см	$\frac{h_{од}}{D}$	Эквивалентный модуль деформации, кгс/см ² (МПа)
1	Щебень	1300 (130)	0,06	167	1,2	426 (42,6)
2	Песок пылеватый	80 (8)		-	-	80 (8)

Таким образом, требуемая толщина щебеночного покрытия $h_{од}$ при $E_{тр} = 430$ кгс/см² (43 МПа) составляет 167 см.

2. Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхности грунтового основания.

Дорожную одежду необходимо проектировать с расчетом, чтобы напряжения, действующие на грунт основания (σ) не превышали допустимых напряжений ($\sigma_{дон}$), т.е.

$$\sigma \leq \sigma_{дон}$$

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (3.6)

$$\sigma = \frac{P}{\omega},$$

$$\sigma = \frac{6}{14,63} = 0,41 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,041 МПа)},$$

где P - давление на покрытие от пневматика, кгс/см² (МПа);

ω – коэффициент, характеризующий убывание вертикальных напряжений в покрытии и определяемый по зависимости (3.7)

$$\omega = 1 + a \left(\frac{h_{od}}{D} \right)^2 \left(\frac{E_{od}}{E_{ep}} \right)^{0,8}$$

$$\omega = 1 + a \left(\frac{h_{od}}{D} \right)^2 \left(\frac{E_{od}}{E_{ep}} \right)^{0,8} = 1 + 1,0 \left(\frac{167}{138,7} \right)^2 \left(\frac{1300}{80} \right)^{0,8} = 14,63,$$

где $a = 1,0$ – для неармированных дорожных одежд.

Допускаемые напряжения на поверхности грунтового основания для неармированной дорожной одежды определяются по зависимости (3.8):

$$\sigma_{дон} = \gamma_{od} h_{od} \eta + C \xi,$$

$$\sigma_{дон} = 0,0018 \times 167 \times 6,8 + 0,07 \times 8,89 = 2,66 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,266 МПа)},$$

где γ_{od} – удельный вес дорожной одежды, кгс/см³ (МН/м³);

$$\gamma_{od} = 0,0018 \text{ кгс/см}^3 \text{ (0,00018 МН/м}^3\text{)};$$

h_{od} – толщина дорожной одежды, см (м);

$$h_{od} = 167 \text{ см};$$

C – удельное сцепление грунта земляного полотна, кгс/см² (МПа), определяется по приложению 6.3;

$$C = 0,07 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,007 МПа)};$$

η, ξ – коэффициенты, определяемые по номограмме (рис. 3.9)

при угле внутреннего трения пылеватого песка $\varphi = 33^\circ$:

$$\eta = 6,8;$$

$$\xi = 8,89.$$

Производится сравнение полученных значений σ и $\sigma_{дон}$:

$$\frac{\sigma_{дон} - \sigma}{\sigma_{дон}} = \frac{2,66 - 0,41}{2,66} = 0,84 > 0,05$$

Действующие вертикальные напряжения на поверхности грунтового основания меньше допускаемых напряжений. Максимальное допускаемое напряжение на грунтовое основание $\sigma_{дон}$, превышает напряжения, действующие на грунт основания σ более чем на 5%, поэтому необходимо уменьшить толщину покрытия, но на основании полученных результатов расчета по величине допускаемой деформации, окончательно принимается толщина покрытия из щебня $h_{od} = 167$ см.

Пример №2. Исходные данные те же, что в примере №1. Требуется определить толщину дорожной одежды, если применить в конструкции в качестве материала армирования георешетки фирмы Славрос СД-20, СД-30, СД-40, СД-30, СД-40.

1. Расчет дорожной одежды по величине деформации.

Как и в примере №1 принимается $E_{тр} = 426 \text{ кгс/см}^2$ (42,6 МПа).

Модуль деформации армированной системы (грунт + георешетка) определяется по зависимости (3.4).

$$E_{гр. арм.} = \beta E_{гр.}, \quad (3.4)$$

где $E_{гр. арм.}$ - модуль деформации армированной системы (грунт + георешетка), кгс/см^2 (МПа);

β – коэффициент упрочнения грунтового основания, определяемый по графикам (рис. 3.3, 3.4);

$E_{гр.}$ - модуль деформации грунтового основания, кгс/см^2 (МПа).

При $E_{гр.} = 80 \text{ кгс/см}^2$ коэффициенты α принимаются:

Для георешетки Славрос СД-20 $\beta = 1,85$

Для георешетки Славрос СД-30 $\beta = 2,29$

Для георешетки Славрос СД-40 $\beta = 2,72$

Определяются значения $E_{гр. арм.}$:

При $\beta = 1,85$ $E_{гр. арм.} = 1,85 \times 80 = 148 \text{ кгс/см}^2$ (14,8 МПа)

При $\beta = 2,29$ $E_{гр. арм.} = 2,29 \times 80 = 183 \text{ кгс/см}^2$ (18,3 МПа)

При $\beta = 2,72$ $E_{гр. арм.} = 2,72 \times 80 = 217 \text{ кгс/см}^2$ (21,7 МПа)

Зная отношения $\frac{E_{гр. арм.}}{E_{од}}$ и $\frac{E_{экв}}{E_{од}}$, по номограмме (рис.3.3) находится отношение

$\frac{h_{од}}{D}$ и после умножения на D вычисляется необходимая толщина $h_{од}$.

При использовании георешетки Славрос СД-20: $\frac{E_{сп.арм}}{E_{од}} = 0,11$ и $\frac{E_{экв}}{E_{од}} = 0,33$, находится отношение $\frac{h_{од}}{D} = 0,77$ и вычисляется $h_{од} = 0,77 \times 138,7 = 107$ см.

При использовании георешетки Славрос СД-30: $\frac{E_{сп.арм}}{E_{од}} = 0,14$ и $\frac{E_{экв}}{E_{од}} = 0,33$, находится отношение $\frac{h_{од}}{D} = 0,656$ и вычисляется $h_{од} = 0,656 \times 138,7 = 91$ см

При использовании георешетки Славрос СД-40: $\frac{E_{сп.арм}}{E_{од}} = 0,167$ и $\frac{E_{экв}}{E_{од}} = 0,33$, находится отношение $\frac{h_{од}}{D} = 0,55$ и вычисляется $h_{од} = 0,55 \times 138,7 = 76$ см.

Таким образом, по итогам расчета дорожной одежды по величине допускаемой деформации в заданных условиях применение георешеток типов Славрос СД-20 позволяет снизить толщину щебеночного покрытия с 167 см до 107 см (в 1,56 раза), Славрос СД-30 - с 167 см до 91 см (в 1,83 раза), Славрос СД-40 - с 167 см до 76 см (в 2,2 раза).

2. Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхности грунтового основания (при армировании георешетками)

Дорожную одежду необходимо проектировать с расчетом, чтобы напряжения на подстилающем грунте (σ) не превышали допускаемые напряжения ($\sigma_{доп}$), т.е.

$$\sigma \leq \sigma_{доп}.$$

где P - давление на покрытие от пневматика, кгс/см² (МПа),

$$P = 6 \text{ кгс/см}^2 (0,6 \text{ МПа});$$

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (3.6):

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{6}{10,41} = 0,58 \text{ кгс/см}^2 (0,058 \text{ МПа}) \text{ при } h_{од} = 107 \text{ см (СД-20)}$$

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{6}{8,2} = 0,73 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,073 МПа)} \quad \text{при } h_{од} = 91 \text{ см (СД-30)}$$

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{6}{6,3} = 0,95 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,095 МПа)} \quad \text{при } h_{од} = 76 \text{ см (СД-40)}$$

$$\omega = 1 + a \left(\frac{h_{од}}{D} \right)^2 \left(\frac{E_{од}}{E_{сп}} \right)^{0,8} = 1 + 1,7 \left(\frac{107}{138,7} \right)^2 \left(\frac{1300}{80} \right)^{0,8} = 10,41$$

$$\omega = 1 + a \left(\frac{h_{од}}{D} \right)^2 \left(\frac{E_{од}}{E_{сп}} \right)^{0,8} = 1 + 1,8 \left(\frac{91}{138,7} \right)^2 \left(\frac{1300}{80} \right)^{0,8} = 8,2$$

$$\omega = 1 + a \left(\frac{h_{од}}{D} \right)^2 \left(\frac{E_{од}}{E_{сп}} \right)^{0,8} = 1 + 1,9 \left(\frac{76}{138,7} \right)^2 \left(\frac{1300}{80} \right)^{0,8} = 6,3$$

Допускаемые напряжения на поверхности грунтового основания неармированной дорожной одежды определяются по зависимости (3.8):

$$\sigma_{дон} = \gamma_{од} h_{од} \eta + c \xi,$$

где $\gamma_{од}$ – удельный вес дорожной одежды, кгс/см³ (МН/м³);

$$\gamma_{од} = 0,0018 \text{ кгс/см}^3 \text{ (0,00018 МН/м}^3\text{);}$$

$h_{од}$ – толщина дорожной одежды, см (м);

C – удельное сцепление грунта земляного полотна, кгс/см² (МПа).

$$C = 0,07 \text{ кгс/см}^2;$$

η, ξ – коэффициенты, определяемые по номограмме (рис. 3.9)

при угле внутреннего трения пылеватого песка $\varphi = 33^\circ$:

$$\eta = 6,8 ; \xi = 8,89.$$

$\sigma_{дон} = 0,0018 \times 107 \times 6,8 + 0,07 \times 8,89 = 1,93 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,193 МПа)}$ - при армировании георешеткой СД-20;

$\sigma_{дон} = 0,0018 \times 91 \times 6,8 + 0,07 \times 8,89 = 1,74 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,174 МПа)}$ - при армировании георешеткой СД-30;

$\sigma_{дон} = 0,0018 \times 76 \times 6,8 + 0,07 \times 8,89 = 1,55 \text{ кгс/см}^2 \text{ (0,155 МПа)}$ - при армировании георешеткой СД-40.

Таким образом, для всех трех типов георешеток действующие напряжения на поверхности грунта не превысили допускаемых напряжений при толщинах щебеночного покрытия 107 см, 91 см и 76 см соответственно.

3. Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации геосинтетического материала.

Конструкцию армированной дорожной одежды необходимо рассчитывать также по величине относительных деформаций геосинтетического материала с целью исключения возникновения пластических деформаций георешеток, т.е. должно выполняться условие (3.9):

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{np},$$

где ε – относительная деформация георешеток в конструкциях (%);

ε_{np} – предельная относительная деформация георешеток, равная 10% (0,1).

Значение относительной деформации георешеток ε в конструкции определяется по формуле (3.10) или по соответствующей ей номограмме (3.9)

$$\varepsilon = \frac{S}{D} \times 2,68 \frac{h_{od}}{D} \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_{od} \times 2,5 \sqrt{\frac{E_{od}}{E_{cp}}}},$$

где $\frac{S}{D} = 0,06$ – нормируемая относительная деформация дорожной одежды.

$$\varepsilon = \frac{8,3}{138,7} \times 2,68 \frac{107}{138,7} \operatorname{arctg}^2 \frac{138,7}{107 \times 2,5 \sqrt{\frac{1300}{80}}} = 0,02 \quad - \text{ относительная деформация георешетки СД-20.}$$

$$\varepsilon = \frac{8,3}{138,7} \times 2,68 \frac{91}{138,7} \operatorname{arctg}^2 \frac{138,7}{91 \times 2,5 \sqrt{\frac{1300}{80}}} = 0,023 \quad - \text{ относительная деформация георешетки СД-30.}$$

$$\varepsilon = \frac{8,3}{138,7} \times 2,68 \frac{76}{138,7} \operatorname{arctg}^2 \frac{138,7}{76 \times 2,5 \sqrt{\frac{1300}{80}}} = 0,025 \quad - \text{ относительная деформация георешетки СД-40.}$$

Относительная деформация всех типов георешеток менее допустимого значения, равного 0,1.

Выводы по примеру 2: определяющим критерием для выбора толщины дорожной одежды в данном примере явилась величина допускаемой деформации. Таким образом, принимается толщина покрытия из щебня 167 см, 107 см, 91 см, 76 см – без армирования, с армированием георешетками СЛАВРОС СД-20, СД-30, СД-40 соответственно.