



И.А. ЧИЖИКОВ, к.т.н., директор ООО «ГСХ Групп», г. Москва;  
Е.М. ХИЖНЯК, директор ООО «Волжский завод текстильных материалов», г. Волжский;  
Н.Е. КОКОДЕЕВА, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Транспортные сооружения»;  
Е.В. МАЛЫШЕВ, аспирант, СГТУ имени Гагарина Ю.А.

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Как показывает опыт, применение армирования зернистых материалов дорожных одежд позволяет сократить материалоемкость минеральных ресурсов при производстве работ, уменьшить сроки строительства и, кроме того, обеспечить необходимую прочность дорожной одежды при ее наименьшей толщине.*

**В**ведение георешетки (геосетки) позволяет усилить конструкцию дорожной одежды и предупредить взаимопроникновение материалов контактирующих слоев. Усиление достигается благодаря совместной работе георешетки (геосетки) с зернистым материалом основания (покрытия переходного типа), приводящей к блокировке (ограничению перемещений) отдельных зерен этого материала в ячейках геосетки (георешетки). Образованный композитный слой «зернистый материал + георешетка» обладает лучшими механическими свойствами, прежде всего, повышенной устойчивостью к воздействию динамических нагрузок.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Представленные расчеты выполнены для обоснования принятого проектного решения. Все расчеты и принятые в них нормативные значения дан-

ных и коэффициентов соответствуют нормативным документам СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*», Министерство регионального развития РФ, М., 2012; ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации, М., 2001; ОДМ 218.5.002-2008 «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов», Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), М., 2008; ОДМ 218.5.001-2009 «Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтовых слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог», Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), М., 2010.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Требуется спроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается в III дорожно-климатической зоне;
- категория автомобильной дороги — IV, дорожная одежда облегченного типа;
- заданный срок службы дорожной одежды —  $T_{\text{сл}} = 10$  лет;
- заданная надежность  $K_{\text{н}} = 0,9$ ;
- грунт рабочего слоя земляного полотна — супесь пылеватая.
- материал для основания — щебень фракционированный;

## РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ

Предварительно назначаем конструкцию и определяем значения расчетных параметров (табл. 1):

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл. П.2.5, Приложение 3 табл. П.3.2 и Приложение 3 табл. П.3.9 ОДМ 218.5.002-2008);
- для расчета по условию сдвигоустойчивости (Приложение 2 табл. П.2.4, Приложение 3 табл. П.3.2 и Приложение 3 табл. П.3.6 ОДМ 218.5.002-2008);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при

Таблица 1  
Исходные данные для расчета на прочность

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по упруг. прогибу, E, МПа	Расчет по усл. сдвигоуст., E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R <sub>0</sub> , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный горячий мелкозернистый на битуме БНД 90/130 тип Б, марка III	4	2400	550	3600	9,50	6,3	5,0
2.	Асфальтобетон пористый горячий крупнозернистый на битуме БНД 90/130 тип Б, марка III	6	1400	510	2200	7,80	7,6	4,0
3.	Щебень фракционированный	12	350	510	2200	7,8	7,6	4,0
4.	Щебеночные смеси непрерывной granulometрии	31	240	—	120	—	—	—
5.	Супесь пылеватая	—	40	—	40	—	—	—

изгибе (Приложение 3 табл. П.3.1 и Приложение 3 табл. П.3.6 ОДМ 218.5.002-2008).

*Расчет по допускаемому упругому прогибу* ведется послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис. 3.1 (ОДМ 218.5.002-2008):

$$1) \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^{\text{гр}}}{E^{\text{пес}}} = \frac{40}{240} = 0,16$$

по Приложению 1 табл. П.1.1 (ОДМ 218.5.002-2008)  
 $p = 0,6$  МПа,  $D = 37$  см

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h^{\text{пес}}}{D} = \frac{31}{37} = 0,83$$

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{пес}}}{E^{\text{пес}}} = 0,4$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{пес}} = 0,4 \cdot 240 = 96 \text{ МПа}$$

$$2) \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^{\text{гр}}}{E^{\text{щеб}}} = \frac{96}{350} = 0,27$$

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h^{\text{щеб}}}{D} = \frac{12}{37} = 0,32$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{щеб}}}{E_{\text{щеб}}} = 0,35$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{щеб}} = 0,35 \cdot 350 = 122,5 \text{ МПа}$$

$$3) \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{щеб}}}{E_{\text{а/б}_3}} = \frac{122,5}{1400} = 0,08$$

$$\frac{h^{\text{а/б}_3}}{D} = \frac{6}{37} = 0,16$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{а/б}_3}}{E_{\text{а/б}_3}} = 0,09$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{а/б}_3} = 0,09 \cdot 1400 = 126 \text{ МПа}$$

$$4) \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{щеб}}}{E_{\text{а/б}_3}} = \frac{126}{2400} = 0,05$$

$$\frac{h^{\text{а/б}_3}}{D} = \frac{4}{37} = 0,1$$

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{а/б}_3}}{E_{\text{а/б}_3}} = 0,055$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{а/б}_3} = 0,055 \cdot 2400 = 132 \text{ МПа}$$

Требуемый модуль упругости в соответствии с табл. 3.4 (ОДМ 218.5.002-2008):  $E_{\text{тр}} = 150 \text{ МПа}$

Определяем коэффициент прочности по упруго-прогибу:

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{тр}}} = \frac{132}{150} = 0,88$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу при заданной надежности 0,9–1,1 (табл. 3.1 ОДМ 218.5.002-2008).

Следовательно, выбранная конструкция не удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

**Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте.**

Таблица 2

Исходные данные для расчета конструкции на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{\text{од(т)}}$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{од(т)}}$ , Вт/мК
Асфальтобетон	10	0,52
Щебень фракционированный	43	1,39

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13 ОДМ 218.5.002-2008):

$$T = \bar{\tau}_{\text{н}} \cdot \rho$$

Для определения  $\bar{\tau}_{\text{н}}$  предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками:  $E_{\text{н}} = 40 \text{ МПа}$  (табл. П.2.5 ОДМ 218.5.002-2008),  $\varphi = 23,5^\circ$  и  $c = 0,009 \text{ МПа}$  (табл. П.2.4 ОДМ 218.5.002-2008).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12 ОДМ 218.5.002-2008), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. П.3.2 (ОДМ 218.5.002-2008) при расчетной температуре +20 °С (табл. 3.5 ОДМ 218.5.002-2008).

$$E_{\text{в}} = \frac{550 \cdot 4 + 510 \cdot 6 + 510 \cdot 12}{21} = 517 \text{ МПа}$$

$$\text{По отношениям } \frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{н}}} = \frac{517}{40} = 12,9 \text{ и } \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{21}{37} = 0,56$$

и при  $\varphi = 23,5^\circ$  с помощью номограммы (рис. 3.3 ОДМ 218.5.002-2008) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:  $\bar{\tau}_{\text{н}} = 0,026 \text{ МПа}$ .

Таким образом:  $T = 0,026 \cdot 0,6 = 0,015 \text{ МПа}$ .

Предельное активное напряжение сдвига  $T_{\text{пр}}$  в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14 ОДМ 218.5.002-2008), где  $C_{\text{н}} = 0,009 \text{ МПа}$ ,  $K_{\text{д}} = 1,0$ .

$$Z_{\text{он}} = 56 \text{ см}$$

$\varphi_{\text{ст}} = 18^\circ$  (Приложение 2 табл. 2.4 ОДМ 218.5.002-2008)

$$y_{\text{ср}} = 0,004 \text{ кг/см}^2$$

$$T_{\text{пр}} = 0,009 + 0,1 \cdot 0,004 \cdot 56 \cdot \text{tg } 23,5^\circ = 0,018,$$

где 0,1 — коэффициент для перевода в МПа.

$$K_{\text{пр}} = \frac{0,018}{0,015} = 1,2, \text{ что больше } K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0,94 \text{ (табл. 3.1}$$

ОДМ 218.5.002-2008).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу.

**Проверяем конструкцию на морозоустойчивость**

Необходимые для расчета данные приведены в табл. 2. Коэффициент теплопроводности определен в соответствии с табл. П.5.1 ОДМ 218.5.002-2008.

По карте рис. 4.4. (ОДМ 218.5.002-2008) находим среднюю глубину промерзания  $z_{пр(ср)}$  и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции  $z_{пр}$ :

$$z_{пр} = z_{пр(ср)} \cdot 1,38 = 1,8 \cdot 1,38 = 2,48 \text{ м}$$

Для глубины промерзания 2,48 м по номограмме рис. 4.3 (ОДМ 218.5.002-2008) по кривой для сильнопучинистых грунтов определяем величину морозного пучения для осредненных условий:

$$I_{пуч(ср)} = 8 \text{ см.}$$

По таблицам и графикам находим коэффициенты  $K_{угв} = 0,6$  (рис. 4.1 ОДМ 218.5.002-2008);  $K_{пл} = 1,1$  (табл. 4.4 ОДМ 218.5.002-2008);  $K_{гр} = 1,1$  (рис. 4.5 ОДМ 218.5.002-2008);  $K_{нагр} = 0,9$  (рис. 4.2 ОДМ 218.5.002-2008);  $K_{вл} = 1,1$  (рис. 4.6 ОДМ 218.5.002-2008).

По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции:

$$I_{пуч} = I_{пуч(ср)} \cdot K_{угв} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 8 \cdot 0,6 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1,1 = 5,74 \text{ см.}$$

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 (ОДМ 218.5.002-2008) составляет 6 см, следовательно морозозащитный слой не требуется.

Таким образом, принятая дорожная одежда удовлетворяет всем условиям, необходимым для безопасной и безаварийной эксплуатации автомобильной дороги за исключением условия обеспечения по допустимому упругому прогибу. Для обеспечения данного условия необходимо увеличить толщину конструктивных слоев дорожной одежды, либо произвести армирование зернистых материалов дорожной одежды георешеткой.

#### Расчет армированной дорожной конструкции

Исходные данные те же (см. табл. 1). Требуется за проектировать дорожную одежду с учетом того, что слой щебня армируется георешеткой (АГМ-Грунт 40/40-50 СТО 80193846-018-2014).

Общий модуль упругости неармированной конструкции составит  $E_{общ} = 132 \text{ МПа}$ .

Армирование слоя щебня георешеткой увеличивает общий модуль упругости дорожной конструкции:

$$E_{общ}^{арм} = \alpha_1 \cdot E_{общ}$$

где:  $\alpha_1$  — коэффициент увеличения общего модуля упругости дорожной конструкции, принимаемый в соответствии с выражением:

$$\begin{aligned} \alpha_1 = & (0,377313 + 0,356396 \cdot 0,27 + 0,419174 \cdot 0,32 - \\ & - 0,0141902 \cdot 1,16 + 0,849793 \cdot 0,22 + 0,401742 \cdot 0,046 - \\ & - 0,0576744 \cdot (0,27)^2 - 0,184731 \cdot 0,27 \cdot 0,32 + \\ & + 0,0145969 \cdot 0,27 \cdot 1,16 - 0,262471 \cdot 0,27 \cdot 0,22 + \\ & + 0,207398 \cdot 0,27 \cdot 0,046 - 0,0799938 \cdot (0,32)^2 - \\ & - 0,00411783 \cdot 0,32 \cdot 1,16 - 0,308414 \cdot 0,32 \cdot 0,22 + \\ & + 0,412162 \cdot 0,32 \cdot 0,046 + 0,00518766 \cdot (1,16)^2 - \\ & - 0,0152776 \cdot 1,16 \cdot 0,22 - 0,0386188 \cdot 1,16 \cdot 0,046 - \\ & - 0,242746 \cdot (0,22)^2 - 0,81648 \cdot 1,122 \cdot 0,046 - \\ & - 2,99514 \cdot (0,046)^2)^{-1} \approx 1,41 \end{aligned}$$

При этом:

$$\frac{h_1}{D} = \frac{10}{37} = 0,27; h_1 = 0,1 \text{ м;}$$

$$\frac{h_2}{D} = \frac{12}{37} = 0,32; h_2 = 0,12 \text{ м;}$$

$$\frac{E_1}{E_4} = \frac{1800}{1550} = 1,16; E_1 = 1800 \text{ МПа;}$$

$$\frac{E_2}{E_4} = \frac{350}{1550} = 0,22; E_2 = 350 \text{ МПа;}$$

$$\frac{E_3}{E_4} = \frac{71,06}{1550} = 0,046;$$

$$E_4 = 1550 \text{ МПа — для георешетки.}$$

Таким образом, общий модуль упругости армированной дорожной конструкции равен:

$$E_{общ}^{арм} = 1,41 \cdot 132 = 186 \text{ МПа}$$

Требуемый модуль упругости  $E_{тр} = 150 \text{ МПа}$

Проверка выполнения критерия прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}^{арм}}{E_{мин}} = \frac{186}{150} \approx 1,24 > K_{пр}^{тр} = 1,1$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу — 1,1 (табл. 3.1).

Следовательно, выбранная конструкция с армированием удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

Таким образом, армирование конструкции дорожной одежды георешеткой позволяет обеспечить соблюдение всех условий необходимых для безопасной эксплуатации дорожной одежды.

**Определим расчетный дополнительный срок службы дорожной одежды с армированными асфальтобетонными слоями.**

Для определения расчетного дополнительного срока службы дорожной одежды, с асфальтобетонными слоями, армированными геосеткой АГМ-Дор С 50/50-25 СТО 80193846-018-2014, используем формулу (6б<sup>л.4</sup>) ОДМ 218.5.001-2009

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{сл}} + T_{\text{доп}} = T_{\text{сл}} + \log_q \left[ 1 + \frac{\sum N_p \cdot (1 - k_{Np}) \cdot (q - 1)}{0,7 \cdot N_p \cdot T_{\text{рдр}} \cdot k_n} \right]$$

где  $T_{\text{сл}}$  — расчетный срок службы (см. таблицу II.6.2, ОДН 218.046-01);  $T_{\text{доп}}$  — величина увеличения срока службы дорожной одежды вследствие применения геосетки;  $T_{\text{рдр}}$  — расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (см. приложение 6, ОДН 218.046-01);  $N_p$  — приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);  $q$  — показатель изменения интенсивности движения автомобиля данного типа по годам;  $k_n$  — коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (см. таблицу 3, ОДН 218.046-01);  $k_{Np}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение влияния усталостных процессов на прочность вследствие армирования асфальтобетонного покрытия (см. таблицу 8 ОДМ 218.5.001-2009).

Расчетный срок службы дорожной одежды с ас-

фальтобетонным покрытием, армированным геосеткой АГМ-Дор С 50/50-25 СТО 80193846-018-2014, составит 13 лет, что на 3 года, или на 15%, больше срока службы дорожной одежды, заданного при расчете.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, армирование зернистых материалов дорожной одежды геосеткой позволяет повысить общий модуль упругости дорожной одежды со 132 до 186 МПа, и тем самым удовлетворить условие обеспечения прочности дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу с коэффициентом запаса 1,24 (при нормативном значении 1,1). Армирование слоев асфальтобетона геосеткой АГМ-Дор С 50/50-25 СТО 80193846-018-2014 позволяет продлить межремонтный срок покрытия дорожной одежды на 3 года, обеспечив трещиностойкость, и предотвратить образование колеи в верхнем слое покрытия.

Получаемый в результате армирования асфальтобетонных покрытий эффект выражается в продлении сроков службы, повышении эксплуатационной надежности дорожных конструкций, снижении эксплуатационных затрат, улучшении транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.

Принятое проектное решение является инновационным и позволяет обеспечить требуемую надежность дорожной одежды для безопасной эксплуатации автомобильной дороги, а также уменьшить вероятность образования колеи и увеличить межремонтные сроки, и, сократить расход зернистых материалов (щебня). ■

