

УДК 625.731.8

К. Д. САЛЯМОВА, доктор технических наук, Институт механики и сейсмостойкости сооружений (Республика Узбекистан, Ташкент); Р. М. ХУДАЙКУЛОВ, доктор технических наук, Д. А. КАЮМОВ, старший преподаватель, Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (Республика Узбекистан)

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АРМИРУЮЩЕЙ СЕТКИ

В практике дорожного строительства широко распространены промежуточные конструктивные слои, выполненные из щебня, гравия и других необработанных вяжущих зернистых материалов, что способствует образованию микросдвигов в контактной зоне с грунтом, которые под действием постоянных нагрузок накапливаются и приводят к нарушению целостности дорожного покрытия и ухудшению транспортно-эксплуатационных показателей дороги. Одним из решений этой проблемы может служить армирование оснований из зернистых материалов геотекстильными прослойками в виде сеток.

В связи с этим предлагается расчетная схема механизма влияния армирующей сетки, уложенной на контактной основе дискретного слоя дорожной одежды с подстилающим грунтом, что позволяет экспериментально установить закономерности влияния прослойки в контактной зоне на напряженно-деформированное состояние конструкции в условиях, соответствующих по величине упругим прогибам в упругой стадии. Представлены результаты экспериментов, подтверждающих теоретические предположения о влиянии армирующей сетки на напряженно-деформированные конструкции при статическом нагружении, получены эмпирические коэффициенты, необходимые для расчета армированных конструкций по предложенной методике. Помимо этого, выполнен анализ целесообразности и эффективности применения армирующей прослойки в дорожной конструкции.

В настоящее время недостаточно изучена работа слабосвязных зернистых материалов в слоях дорожных одежд, что не позволяет разработать метод расчета, учитывающий особенности данных материалов из-за их дискретной структуры, которая приводит к изменению прочностных характеристик в зависимости от их размещения в слоистой конструкции и в характере передачи этими материалами приложенного к ним давления на нижележащий грунт.

Зернистый материал в контактной зоне с подстилающим грунтом можно отнести к распорным системам, так как любые два зерна опираются друг на друга и на подстилающий грунт, способны создать на его поверхности касательные напряжения от вертикального давления, которые в плоскости контакта системы «зернистый материал – подстилающий грунт» должны быть выше, чем касательные напряжения в плоскости контакта системы «сплошной материал – подстилающий грунт». Используя известные решения теории упругости и контактных задач теории упругости [1] покажем, что наличие касательных напряжений в плоскости контакта влияет на напряженное состояние нижележащего полупространства.

Анализ работ, связанных с исследованиями контактной прочности материала, показывает, что наличие наряду с вертикальной дополнительной касательной нагрузки на поверхности контакта существенно влияет на напряженное состояние материала, снижая его прочность по сдвигу. Присутствие касательных нагрузок изменяет распределение напряжений в зоне контакта, увеличивая максимальные касательные напряжения и приближая их к поверхности [2]. В предельном случае сочетания внешних нормальных и касательных сил, максимальные касательные напряжения выходят на поверхность контакта, обуславливая поверхностный критерий разрушения.

На примере решения теоретической задачи, подтвержденной экспериментом, показана целесообразность и эффективность применения армирующей прослойки в дорожной конструкции с учетом особенностей работы зернистых материалов в контактной зоне с подстилающим грунтом. При этом устанавливается их влияние на поведе-

ние конструкции в целом. Предложенная расчетная схема объясняет механизм влияния армирующей сетки, уложенной на контакте дискретного слоя дорожной одежды с подстилающим грунтом на напряженно-деформированное состояние грунта под сеткой. Получены расчетные зависимости в рамках задач теории упругости, позволяющих в рамках существующей теории расчета дорожных одежд нежесткого типа учесть влияние армирующей сетки на напряженное состояние грунта в зависимости от деформативных характеристик сетки и грунта.

Армирование зернистого материала в контактной зоне с подстилающим грунтом прослойками в виде сеток ограничивает передачу касательных напряжений $\tau(r)$ на грунт, так как при совместной работе сетки с дискретным материалом слоя обеспечивается их зацепление, а касательные напряжения частично воспринимаются сеткой. Включение прослойки почти не влияет на величину и распределение этих напряжений, армирование мало влияет на упругий прогиб. Влияние снижения $\tau_{a, \max}$ в результате армирования можно учесть в расчете дорожной одежды по сдвигу в подстилающем грунте, введя в выражение условия предельного равновесия при расчете армирования дорожной одежды коэффициент $K_{\text{эф}}^{\phi}$ [1], понижающий расчетные сдвигающие напряжения:

$$\tau_{a, \max} / K_{\text{эф}}^{\phi} + K_{\text{эф}}^{\phi} K_{\text{эф}}^{\phi} \tau_{\text{в}} \leq T_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{в}}$ и $T_{\text{доп}}$ – соответственно активное напряжение сдвига от веса или лежащих слоев и допустимого напряжению сдвига, МПа; $K_{\text{эф}}^{\phi}$ – коэффициент эффективности армирования, определяемый как отношение $\tau_{a, \max}$ в конструкции без сетки $\tau_{a, \max}^*$ и конструкции с сеткой,

$$K_{\text{эф}}^{\phi} = \frac{\tau_{a, \max}}{\tau_{a, \max}^*}. \quad (2)$$

Максимальное активное сдвигающее напряжение в подстилающем грунте определяется через главные

максимальные σ_1 и минимальные σ_3 напряжения по известной зависимости

$$\tau_{a,\max} = \frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi]. \quad (3)$$

Для армированной конструкции запишем

$$\tau_{a,\max}^* = \frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1^* - \sigma_3^*) - (\sigma_1^* + \sigma_3^*) \sin \varphi], \quad (4)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта, град; * – индекс, соответствующий параметрам армированной дорожной одежды.

При $\varphi = 0$ выражения (3) и (4) преобразуются в выражение для определения максимальных сдвигающих напряжений τ_{\max} и τ_{\max}^* , соответственно в подстилающем грунте неармированной и армированной конструкций. В этом случае (2) можно записать как

$$K_{\varepsilon\varphi} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max}^*}. \quad (5)$$

После некоторых преобразований с учетом соотношения $2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_3$ получим

$$K_{\varepsilon\varphi}^{\varphi} = \frac{\tau_{\max} - (\sigma_1 - \tau_{\max}) \sin \varphi}{\tau_{\max}^* - (\sigma_1^* - \tau_{\max}^*) \sin \varphi}. \quad (6)$$

Разделив числитель и знаменатель на τ_{\max} и учитывая (6) и то, что $\sigma_1 \approx \sigma_1^*$, имеем

$$K_{\varepsilon\varphi}^{\varphi} = \frac{K_{\varepsilon\varphi} - (\sigma_1^* / \tau_{\max}^* - K_{\varepsilon\varphi}) \sin \varphi}{1 - (\sigma_1^* / \tau_{\max}^* - 1) \sin \varphi}. \quad (7)$$

При этом учтем, что $2\tau_{\max}^* = \sigma_1^* - \sigma_3^*$, тогда выражение примет вид

$$\sigma_1^* / \tau_{\max}^* = 2 + \sigma_3^* / \tau_{\max}^*. \quad (8)$$

В подтверждение расчетного напряженного состояния в подстилающем грунте для двухслойных и трехслойных дорожных одежд с использованием решения А. Г. Буленко [2] для условий, рассматриваемых в работе, напряжение σ_3 в данном расчетном сечении составляет не менее 0,15 σ_1 . Следовательно, отношение $\sigma_1^* / \tau_{\max}^*$ с точностью 5 %, достаточной для практических расчетов, можно принять равным 2. При этом (7) будет иметь вид

$$K_{\varepsilon\varphi}^{\varphi} = \frac{K_{\varepsilon\varphi} (1 + \sin \varphi) - 2 \sin \varphi}{1 - 2 \sin \varphi}. \quad (9)$$

Как видно из (9), коэффициент эффективности армирования зависит от степени снижения τ_{\max} в подстилающем грунте конструкции при его армировании и угла внутреннего трения φ . Отсюда следует, что степень снижения максимальных сдвигающих напряжений τ_{\max} в подстилающем грунте при прочих разных условиях прямо зависит от степени снижения касательных напряжений в плоскости контакта.

С целью подтверждения теоретических положений в отношении механизма эффективности армирования, выявления закономерностей влияния геосетки на напряженно-деформированное состояние конструкции и получения количественной оценки эффекта армирования ($K_{\varepsilon\varphi}$ и $K_{\varepsilon\varphi}^{\varphi}$) были поставлены эксперименты на автомобильных дорогах «Реконструкция автодороги 4Р-33 Ульянов-

во – Найман (Гулистан – Гагарин)» в Сырдарьинской области Республики Узбекистан. Экспериментальные исследования заключались в проведении сравнительных штамповых испытаний на армированных и неармированных щебеночных основаниях с измерением главных напряжений в подстилающем грунте.

Исходная конструкция устраивалась на площадке с размерами в плане 350 × 250 см и включала два слоя: нижний – толщиной 3 м из легкой супеси максимальной плотности $\rho_{\max} = 1,82$ г/см³ и оптимальной влажности $W_{\text{опт}} = 13$ %, имеющий модуль упругости $E_{\text{гр}} = 57$ МПа, и верхний – максимально уплотненный известковый щебень толщиной $h = 14$ см, имеющий модуль упругости $E_b = 150$ МПа.

Уплотнение грунта проводили послойно виброкатком массой 12 т и доводили до плотности, соответствующей $K_y = 0,98 \dots 1,0$. Модуль упругости грунта определяли штампом $D = 50$ см при удельном давлении $P = 0,1 \dots 0,15$ МПа.

Слой щебня уплотняли виброкатком до максимальной плотности. Модуль упругости на поверхности щебеночного слоя определяли при загрузении штампом в процессе испытаний дорожной одежды. Толщину щебеночного слоя контролировали высокоточным нивелированием до и после устройства щебеночного слоя.

Для армирования исходной конструкции использовали базальтовую сетку типа № 1 с размерами ячеек 10 × 10 мм и металлическую сетку ВР-1 по ГОСТ 23279–2012, используемую в промышленности, с размерами ячеек 25 × 25 мм. Их упругие характеристики определяли при одноосном растяжении. Эффективный модуль упругости базальтовой сетки $E_c = 460$ МПа при толщине 0,9 мм, а эффективный модуль упругости металлической $E_c = 2200$ МПа при толщине 0,6 мм. На рисунке 1 показаны экспериментальные конструкции щебеночных оснований и схема расположения месдоз в подстилающем грунте конструкции.

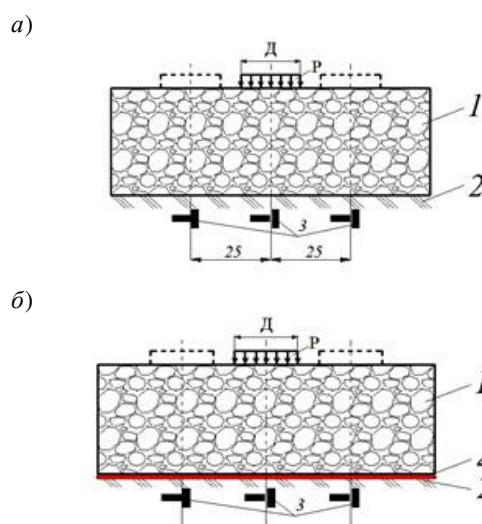


Рисунок 1 – Экспериментальные конструкции щебеночных оснований и схема расположения месдоз:

a – без армирующей прослойки; *b* – с армирующей прослойкой; 1 – щебень толщиной 14 см; 2 – подстилающий грунт; 3 – месдозы; 4 – армирующая прослойка

Для испытания конструкций дорожных одежд с капитальным покрытием специально были построены опытные участки. Испытываемые конструкции устраи-

вали на одном грунтовом массиве на двух смежных площадках с размерами в плане 350×250 см каждая. Конструкция без армирующей сетки состояла из четырех слоев: нижнего слоя толщиной 3 м из легкой супеси, имеющего модуль упругости $E_{гр} = 100$ МПа, слоя гранитного щебня фракции 20–40 мм толщиной 16 см, нижнего и верхнего слоев покрытия из песчаного асфальтобетона толщиной соответственно 3 и 5 см. Для армирования конструкции использовали сетку из базальта № 2 толщиной 1,4 мм с размерами ячеек 40×40 мм и модулем упругости на растяжение $E_c = 230$ МПа. Сетку укладывали между подстилающим грунтом и щебеночным основанием (рисунок 2).

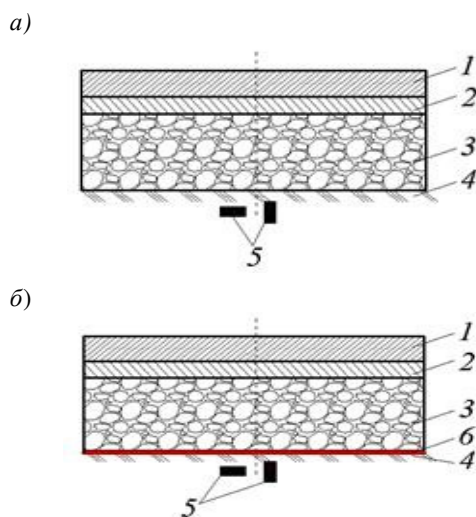


Рисунок 2 – Экспериментальные конструкции с капитальным типом покрытия и схемы расположения мездоз:

a – без армирующей прослойки; *b* – с армирующей прослойкой;
1 – асфальтобетон верхнего слоя $h_1 = 5$ см; 2 – асфальтобетон нижнего слоя $h_2 = 3$ см; 3 – гранитный щебень фракции 20–40 мм $h_3 = 16$ см; 4 – супесь лёгкая; 5 – мездозы; 6 – армирующая прослойка

Нижний слой из супеси и слой основания из гранитного щебня устраивали аналогично предыдущей конструкции со щебеночным основанием. Щебеночное основание расклинивали гранитными высевками фракции 5–10 мм с одновременным увлажнением водой из расхода 1 л/м^2 и уплотнением вибрационным катком массой 12 т. Слой покрытия устраивали в один день с перерывом в 3 часа из горячей песчаной асфальтобетонной смеси. Укладку и разравнивание асфальтобетонной смеси производили вручную. Контроль толщины устраиваемых слоев осуществляли в процессе строительства [4]. Используемые в экспериментах сетки на основе базальтового волокна имели соответствующую обработку различными связующими. Оценке свойств сеток для условий дорожного строительства были посвящены специальные исследования. Экспериментально определяли деформативные характеристики при одноосном растяжении, водостойкость, износостойкость при многократном приложении нагрузки и контактном взаимодействии с зернистым материалом.

Методика проведения экспериментов на щебеночных основаниях. В процессе испытаний щебеночных оснований нагрузку на их поверхность передавали через жесткие круглые штампы диаметром 20, 34 и 50 см с помощью гидравлического домкрата, опирающегося в задний мост автомобиля КАМАЗ. Нагрузку измеряли манометром. Испытания проводили в соот-

ветствии с общепринятой методикой штамповых испытаний при интенсивности нагрузки 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 МПа, изложенной в инструкции [5]. Для выравнивания покрытия в месте контакта со штампом использовали мелкий песок. Перед испытаниями конструкции предварительно подвергали давлению 0,25 МПа в течение 2 минут. Вертикальные перемещение штампа измеряли индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм, устанавливая его по центру штампа. В качестве репера для индикаторов использовали балку, опоры которой располагались за пределами экспериментальной конструкции.

Отсчеты по индикатору снимали при каждом нагружении после 30-секундной выдержки конструкции под этой нагрузкой, и при разгрузке после 30-секундного восстановления деформации. По разности отсчетов определяли упругую осадку конструкции под штампом. На рисунке 3 представлены зависимости упругих прогибов поверхности от давления под штампом для армированной и неармированной конструкций.

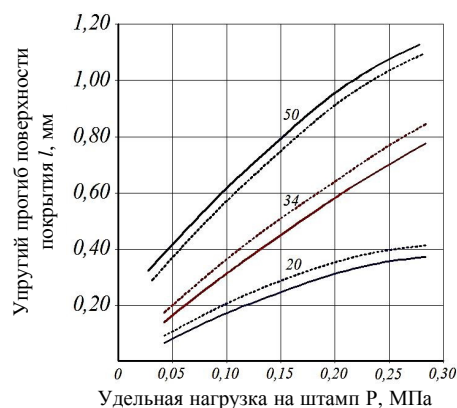


Рисунок 3 – Зависимость между удельным давлением на штамп и его упругой осадкой для (цифры на кривых – диаметр штампа):

----- – неармированной
——— – армированной

Анализ этих закономерностей свидетельствует о том, что обе конструкции в заданных пределах нагружения работали в упругой стадии, а взаимосвязь «прогиб – нагрузка» была линейной.

Напряжения в подстилающем грунте измеряли мездозами конструкции ЦНИИСК [6], устанавливая их горизонтально для определения наибольших главных напряжений σ_1 , и вертикально для определения наименьших главных напряжений σ_3 . В качестве регистрируемого прибора использовали многоканальный самописец типа Н327-6 для записи показаний с ИДМ-0 и измеритель деформации цифровой (ИДЦ-1) для записи показаний с мездоз, выходной сигнал которых предварительно усиливали с помощью восьмиканального усилителя 8АНЧ-7М.

Перед установкой в грунт мездозы градуировали в воздушной среде. Зависимость выходного сигнала от давления в интервале нагрузок 0,05–0,25 МПа для всех используемых мездоз была линейной. Для получения действительных напряжений в грунте использовали переходные коэффициенты, полученные при градуировке мездозы каждого вида в грунтовом массиве.

При измерении напряжений в грунтах с помощью мездоз наиболее существенными погрешностями явля-

ются случайные, связанные с неоднородностью окружающего грунта. Величина этих погрешностей может достигать порядка 40 %. Учитывая, что изменение σ_1 и σ_3 от введения армирующей прослойки в дорожную конструкцию могло быть незначительными, для учета этих погрешностей, а также погрешностей за счет установки месдоз, сопоставляемые конструкции устраивали на одном и том же грунтовом массиве, установив по площади (в плане) 13 месдоз на расстоянии не менее 25 см друг от друга. Центр мембраны месдоз располагали на глубине 6 см от поверхности грунта.

Перед устройством испытываемых конструкций с грунтовой площадки отбирали 10 проб грунта с ненарушенной структурой для определения его прочностных характеристик: удельного сцепления C и угла внутреннего трения ϕ . Образцы испытывали на сдвиговом приборе, срезая их по двум плоскостям при величинах вертикальной нагрузки 0,05; 0,10 и 0,15 МПа. Нормативные значения C_n и ϕ_n определяли, обрабатывая результаты испытаний вычислением по методу наименьших квадратов прямолинейной зависимости [7]. Полученные при этом прочностные характеристики грунта имели значения $C_n = 0,022$ МПа и $\phi_n = 37,5$.

Эффективность армирования дорожных одежд прослойками в виде сеток оценивали в экспериментах по пяти показателями упругому прогибу на поверхности конструкций, главным напряжениями σ_1 и σ_3 в подстилающем грунте и вычисленным по ним максимальным сдвигающим τ_{max} и максимальным активным сдвигающим $\tau_{a,max}$ напряжениям. Учитывая, что измеренные значения σ_1 и σ_3 и вычисленные по ним τ_{max} и $\tau_{a,max}$ могли иметь погрешность при анализе эффекта армирования, оценку на достоверность производили при 95 %-ной доверительной вероятности.

Результаты экспериментальных исследований обобщены и сопоставлены. Сопоставление напряженного состояния выявило для армированных конструкций некоторое уменьшение σ_1 (на 5–15 %), увеличение σ_3 и снижение τ_{max} и $\tau_{a,max}$ (таблица 1).

Таблица 1 – Степень влияния армирующей сетки на напряженное состояние в подстилающем грунте конструкции

Экспериментальная конструкция	Увеличение σ_3 и снижение τ , % при отношении H/R				
	0,50	0,80	1,30	1,40	2,40
Щебеночное основание, армированное сеткой: - ВР-1	15/42	26/46	39/37	–	–
- базальтовой тип № 1	13/ 13(60)	37/ 34(61)	33/ 17(33)	–	–
Нежесткая дорожная одежда с щебеночным основанием, базальтовой сеткой тип № 2	–	–	–	55/ 19(42)	30/ 10(22)
Примечания 1 H и R соответственно толщина слоя над сеткой и радиус штампа; 2 В числителе дано увеличение σ_3 , в знаменателе – снижение τ_{max} и $\tau_{a,max}$ (в скобках), % по сравнению с неармированной конструкцией.					

Анализ таблицы 1 показал, что эффект армирования зависит:

1) от деформативных свойств применяемых сеток (с увеличением модуля упругости сеток при растяжении эффект армирования возрастает (см. данные в знаменателе (таблица 1));

2) от структуры применяемых сеток (при увеличении ячеек сетки до размеров, превышающих минимальную крупность зерен материала основания, эффективность работы сетки снижается, поскольку в этом случае плохо обеспечивается совместность их работы). Как видно из таблицы 1, для металлической сетки размером ячеек 25×25 мм эффект от σ_3 меньше, чем при базальтовой типа № 1 и размером ячеек 10×10 мм, несмотря на то, что модуль упругости первой значительно выше.

Следует отметить, что увеличение горизонтальной составляющей напряжения каким-либо способом повышает несущую способность основания [8–10] и поэтому имеет большое практическое значение. Полученное в экспериментах увеличение σ_3 , может служить оценкой прочности дорожной одежды по сдвигу в подстилающем грунте. Чтобы пояснить это, рассмотрим напряженное состояние в точке полупространства, расположенной на определенной глубине под центром равномерно распределенной нагрузки. Напряженное состояние в этой точке можно охарактеризовать эллипсом напряжений, полуосями которого являются напряжения σ_1 и σ_3 . При этом устойчивость системы определяется степенью вытянутости эллипса в вертикальном направлении, т. е. соотношением σ_1 и σ_3 . При определенном соотношении, когда разность напряжений превышает некоторую допустимую величину, наступает предельное напряженное состояние, сопровождающееся сдвигом в точке. Увеличение σ_3 и некоторое снижение σ_1 за счет армирования уменьшает вытянутость эллипса напряжений и приводит систему в более устойчивое состояние с точки зрения сдвига. Это положение подтверждается данными таблицы 1. Наибольшее снижение максимальных напряжений сдвига τ_{max} получили при армировании металлической сеткой щебеночного слоя толщиной $0,8R$; τ_{max} уменьшилось на 46 %. При такой же толщине, но при армировании сеткой из базальтоволокна типа № 1 уменьшение для τ_{max} составило 34 %, а для $\tau_{a,max}$ – 61 %. Из таблицы 1 видно, что при дальнейшем увеличении толщины слоя над сеткой эффект по $\tau_{a,max}$ снижается. Для дорожной одежды со щебеночным основанием, армированной сеткой базальта № 2, эффект по $\tau_{a,max}$ при $H = 2,4R$ составляет 22 %. Однако из этого следует, что применение арматуры на глубине, превышающей диаметр штампа, нецелесообразно. Расчеты по «Инструкции» МКН 46-07 показывают, если определяющим критерием прочности при расчете дорожной одежды с зернистым основанием является сдвиг в подстилающем грунте, снижение $\tau_{a,max}$ каким-либо способом даже на 10–20 % позволяет экономить зернистый материал или использовать более слабый грунт для строительства.

Эффект по максимальным упругим прогибам был незначителен (см. рисунок 3). При армировании металлической сеткой щебеночного слоя толщиной $0,8R$ его уменьшение составляло всего 11 %. По-видимому, нельзя рассчитывать на существенное снижение упругих прогибов дорожной конструкции, вводя армирующую прослойку. В самом деле, если на прогиб влияет

структура конструкции по всей глубине активной зоны, так как это интегральная характеристика, то для активных сдвигающих напряжений более существенна структура конструкции на некотором горизонте от поверхности. Очевидно, что если сюда ввести арматуру, которая воспримет часть напряжений, то прочность конструкции по указанному критерию возрастает, но проявится только вблизи того горизонта, на котором арматура расположена.

Выводы. Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические положения в отношении механизма влияния армирующей сетки в контактной зоне зернистого материала с подстилающим грунтом на напряженное состояние грунта. Влияние армирующей сетки главным образом проявляется в увеличении главных горизонтальных напряжений σ_3 и снижении максимальных сдвигающих τ_{\max} и максимальных активных сдвигающих напряжений $\tau_{a,\max}$ в подстилающем грунте конструкции (см. таблицу 1). Результаты экспериментов говорят о том, что эффективность армирования жестких дорожных конструкций с зернистыми основаниями следует оценивать прежде всего с точки зрения сдвигоустойчивости грунтов под армирующими сетками. Для количественной оценки эффекта армирования определяли коэффициенты эффективности армирования по формуле (5) и (8). Анализ полученных коэффициентов показывает, что величина $K_{\text{эф}}^{\Phi}$ в зависимости от параметров дорожной одежды, параметров сетки и параметров нагрузки принимает значения от 1,4 до 2,6 в исследованном диапазоне этих параметров.

Получено 01.10.2019

K. D. Salyamova, R. M. Khudaykulov, D. A. Kayumov. The stress state of pavement and experimental studies of the reinforcing mesh.

In the practice of road construction, intermediate structural layers made of crushed stone, gravel and other untreated binder granular materials are widespread, which contributes to the formation of micro-shifts in the contact zone with the soil, which under the influence of constant loads accumulate and lead to a violation of the integrity of the road surface and deterioration of transport and operational indicators of the road. One solution to this problem can serve as reinforcement of the bases of granular materials geotextile layers in the form of grids/platforms located in the intercity.

In this regard, we propose a design scheme of the mechanism of influence of the reinforcing mesh laid on the contact basis of a particular layer of pavement with the underlying soil, which allows us to experimentally establish the laws of the influence of the layer in the contact zone on the stress-strain state of the structure under conditions corresponding to the magnitude of elastic deflections in the elastic stage. The results of experiments confirmed by theoretical ideas about the effect of reinforcing mesh on the stress-strain structure under static loading are presented and empirical coefficients necessary for the calculation of reinforced structures by the proposed method are obtained. In addition, the analysis of the feasibility and effectiveness of the reinforcing layer in the road structure.

Список литературы

- 1 Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер ; пер. с англ. М. И. Рейтмана ; под ред. Г. С. Шапиро. – М. : Наука, 1975. – 576 с.
- 2 Седов, В. И. Метод испытания материалов при трехмерном нестационарном напряженном состоянии применительно к условиям контактного нагружения / В. И. Седов // Контактные задачи и их приложения : доклады конференции. – М. : НИИРМАШ, 1969. – С. 327–339.
- 3 Пинягин, С. В. Контактная прочность в массивах / С. В. Пинягин. – М. : Машиностроение, 1965. – 328 с.
- 4 ИКН 68-11 Инструкция по применению георешеточных материалов при строительстве автомобильных дорог. – ГАК «Узавтойул». – Ташкент, 2012. – 55 с.
- 5 МКН 46–2008. Инструкция по проектированию дорожных одежд жесткого типа / ГАК «Узавтойул». – Ташкент, 2007. – 132 с.
- 6 Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1965. – 93 с.
- 7 ГОСТ 20523–96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1997. – 20 с.
- 8 Голли, А. В. Увеличение несущей способности основания путем изменения горизонтальных напряжений / А. В. Голли, В. Г. Шатунов, А. Ж. Жусупбеков // Фундаментостроение в условиях слабых и мерзлых грунтов : межвуз. темат. сб. трудов. – Л. : ЛИСИ, 1983. – С. 40–46.
- 9 Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Долматов. – М. : Стройиздат, 1981. – 319 с.
- 10 Добров, Э. М. Механика грунтов / Э. М. Добров. – М. : Академия, 2008. – 272 с.