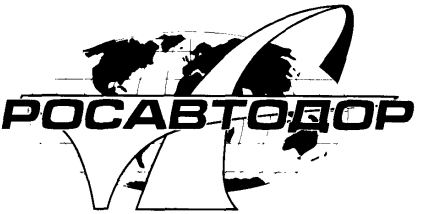
ОДМ 218.5.002-2008

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕОСЕТОК (ГЕОРЕШЕТОК) ДЛЯ УСИЛЕНИЯ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2008

gost.e-ecolog.ru

ОДМ 218.5.002-2008

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Утверждены распоряжением
Росавтодора
от 30.05.2008 № 203-р

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕОСЕТОК (ГЕОРЕШЕТОК) ДЛЯ УСИЛЕНИЯ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. РАЗРАБОТАНЫ специалистами ФГУП «РосдорНИИ» (канд. техн. наук Ю.Р. Перков, А.П. Фомин, А.Е. Мерзликин, инженеры Е.В. Никанычева, О.Б. Коренков, О.В. Труфанова, Ю.И. Косарев, Н.Д. Еременко) и ООО НТЦ «Геотехнологии» (канд. техн. наук С.О. Гунин, Г.В. Киселев, А.В. Стрельцов). При разработке рекомендаций учтены результаты исследований, выполненных СПб. ВИТУ и ОАО «СоюздорНИИ». В качестве основы методики проектирования армированных дорожных одежд принята методика расчета ООО НТЦ «Геотехнологии».

2. ВНЕСЕНЫ Управлением строительства и проектирования автомобильных дорог Федерального дорожного агентства Министерства транспорта РФ.

3. ИЗДАНЫ распоряжением Федерального дорожного агентства от 30.05.2008 г. № 203-р.

4. ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ.

5. ИМЕЮТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

1 Область применения

Настоящие Рекомендации предназначены для нормирования применения полимерных геосеток (георешеток) для усиления несущих оснований нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования или переходного типа покрытий, устраиваемых из необработанных зернистых материалов. Они могут быть также использованы при регламентации усиления дорожных одежд других объектов транспортного строительства, в частности, городских дорог, автомобильных дорог промышленных и сельскохозяйственных предприятий, временных автомобильных дорог, подъездных путей, площадок для остановки и стоянки автомобилей и т.д.

Рекомендации дополняют положения действующих документов, касающихся проектирования нежестких дорожных одежд (ОДН 218.046-01) и применения геосинтетических материалов (2.16), в части нормирования применения геосеток (георешеток) для усиления дорожных одежд. ОДМ рекомендуется использовать при:

- проектировании дорожных одежд строящихся автомобильных дорог;
- проектировании дорожных одежд участков уширения существующих автомобильных дорог;
- выполнении ремонтных работ на отдельных ослабленных участках существующих автомобильных дорог, если предусмотрена замена дорожной одежды.

Рекомендации содержат методику проектирования армированных дорожных одежд и технологию производства работ. Применение армирования слоев дорожных одежд из зернистых материалов позволяет продлить сроки службы, повысить эксплуатационную надежность дорожных конструкций, уменьшить толщины слоев дорожной одежды.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы ссылки на следующие нормативно-технические документы:

2.1 ГОСТ Р 50275-92 Материалы геотекстильные. Методы отбора проб.

2.2 ГОСТ Р 50277-92 Материалы геотекстильные. Метод определения поверхностной плотности.

2.3 ГОСТ 9.049-91 Единая система защиты от старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний к воздействию плесневых грибов.

2.4 ГОСТ 2678-94 Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний.

2.5 ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

2.6 ГОСТ 12020-72 Пластмассы. Методы определения *стойкости к действию химических сред.*

2.7 ГОСТ 25607-94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

2.8 СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги.

2.9 СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги.

2.10 СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1.

2.11 СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2.

2.12 ВСН 8-89 Инструкция по охране природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог.

2.13 ВСН 19-89 Правила приемки работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

2.14 ВСН 37-84 Инструкция по организации движения и ограждению мест производства работ.

2.15 ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд.

2.16 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог (*взамен ВСН 49-86*). *ФГУП «Информавтодор», – М., 2003.*

2.17 Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов. СоюздорНИИ. – М., 1999.

Примечание. При пользовании настоящими Рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных стандартов, классификаторов и других документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году, или по другим источникам. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящими Рекомендациями следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Определения

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 Термины, определяющие вид материала:

георешетка: плоский полимерный материал жесткой сетчатой структуры, жестко скрепленный в узлах с образованием ячеек размерами, большими, чем размеры ребер (выделяется также по параметрам «относительный показатель деформативности в плоскости георешетки» и «относительная прочность узлов» – таблица 5.1 и Приложение Б.2);

геосетка: плоский полимерный материал, состоящий из параллельных рядов ребер, перекрытых и сплетенных, как правило, элементами той же структуры под различными углами с образованием эластичной сетчатой структуры (выделяется также по параметрам «относительный показатель деформативности в плоскости георешетки» и «относительная прочность узлов» – таблица 5.1 и Приложение Б.2);

геосетка (георешетка) одноосноориентированная: геосетка (георешетка), имеющая повышенные показатели механических свойств в одном направлении – продольном (направлении раскатки рулона);

геосетка (георешетка) двухосноориентированная: геосетка (георешетка), имеющая близкие (отличающиеся не более чем на 20%) механические свойства в продольном и поперечном направлениях;

ребра геосетки (георешетки): основные элементы геосетки (георешетки) в виде плоских пластин, объединяемых в узлах с образованием ячеек;

узлы геосетки (георешетки): места объединения ребер, имеющие (для георешеток) повышенную по отношению к ребрам толщину;

ориентирование: технологический процесс, позволяющий повысить механические свойства полимера;

экструзия: процесс плавления и выдавливания под давлением термопластического полимера с рядом добавок со специальными функциями;

геокомпозит: многослойный материал из скрепленных в плоскости слоев (не менее двух слоев) геосетки (георешетки) и нетканого материала.

3.2 Термины и условные обозначения, определяющие геометрические параметры геосеток (георешеток) – см. также п. Г.1 Приложения Г:

размер ячейки в продольном (поперечном) направлении A_L (A_T): расстояние между осями ребер в направлении длины (ширины) материала;

ширина ребер в продольном (поперечном) направлении W_{LR} (W_{TR}): минимальная ширина ребер, расположенных в направлении длины (ширины) материала;

толщина ребер в продольном (поперечном) направлении t_{LR} (t_{TR}): минимальная толщина ребер, расположенных в направлении длины (ширины) материала;

t_j – толщина узлов;

B_R – ширина рулона;

L_R – длина рулона;

F_{LR} (F_{TR}) – площадь сечения ребер, расположенных в направлении длины (ширины) материала.

3.3 Термины и условные обозначения, определяющие основные механические свойства геосеток (георешеток):

прочность при растяжении в продольном (поперечном) направлении R_{LR} (R_{TR}): максимальное растягивающее усилие при одноосном растяжении образца в направлении длины (ширины) материала с постоянной скоростью растяжения, отнесенное к ширине образца (выражается в кН/м, определяется по методике п. Б.1 Приложения Б);

ε_{LRmax} (ε_{TRmax}) – относительная деформация в продольном (поперечном) направлении при разрыве (см. Приложение Б.1);

ε_{LRR} (ε_{TRR}) – относительная деформация при максимальном растягивающем усилии в направлении длины (ширины) материала, %;

$R_{LR}(\varepsilon)$ и $R_{TR}(\varepsilon)$ – усилие в образце в направлении длины (ширины) материала, отнесенное к ширине образца, возникающее при определенной относительной деформации ε (как правило, $\varepsilon = 2$ % и $\varepsilon = 5$ %, см. Приложение Б.1), кН/м;

$E'_{LR}(\varepsilon)$ и $E'_{TR}(\varepsilon)$ – условный показатель деформативности в направлении длины (ширины) материала, определяемый при фиксированном значении относительной деформации по Приложению Б.1, кН/м;

R_{jR} – относительная прочность узлов сетки, определяемая по Приложению Б.2 (в % к R_{LR} или R_{TR});

G_{LR} (G_{TR}) – условный показатель жесткости в плоскости материала по направлению его длины (ширины), определяемый по Приложению Б.2 (в % к R_{LR} или R_{TR});

P_{LR} (P_{TR}) – условный показатель сопротивляемости местным повреждениям в направлении длины (ширины) материала, определяемый по Приложению Б.3 (в % к R_{LR} или R_{TR}).

3.4 Термины и условные обозначения, определяющие дополнительные механические свойства геосеток (георешеток), не регламентируемые требованиями раздела 5 (определяются по методике Приложения Б.1)

E''_{LR}, E''_{TR} – условное значение модуля упругости для геосетки (георешетки), МПа;

E'''_{LR}, E'''_{TR} – условное значение модуля упругости для ребра сетки, МПа;

$E'''_{LR} \times F_{LR}$, $E'''_{TR} \times F_{TR}$ – показатель деформативности материала, Н.

3.5 Термины, определяющие отдельные показатели геосеток (георешеток), не упомянутые в п.п. 2.2, 2.3:

поверхностная плотность γ_R – отношение массы образца определенного размера к его площади, определяемая по ГОСТ Р 50277 (г/м^2);

стойкость к агрессивным воздействиям – группа показателей, характеризуемая в разделе 5;

K_{LR} (K_{TR}) – число ребер геосетки (георешетки) на 1 пог.м материала по направлению длины (ширины). Может определяться нецелым числом (с точностью до десятых долей).

4 Общие положения

4.1 Введение в конструкцию дорожной одежды георешетки (геосетки) позволяет усилить дорожную одежду 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.

4.2 С позиций критериев расчета на прочность ОДН 218.046-01 наибольшее влияние образование композитного слоя (армирование) оказывает на величину активных напряжений сдвига, возникающих в грунтовом слое, расположенном непосредственно под композитным слоем основания.

4.3 Область рационального использования георешеток (геосеток) с учетом положений п.п. 4.1, 4.2:

- дорожная одежда имеет в своем составе слой несущего основания из неукрепленных зернистых материалов (щебень, гравий, щебеночно-гравийно-песчаные смеси, шлак и др.) или имеет покрытие переходного типа из таких материалов;

- определяющим критерием при расчете дорожной одежды является условие сдвигоустойчивости грунта дополнительного слоя основания или грунта рабочего слоя земляного полотна при его отсутствии, то есть условие (3.11) ОДН 218.046-01. Этот критерий является, как правило, определяющим при расположении под несущим основанием песчаного слоя (непылеватые пески), а также при проектировании дорожных одежд под расчетные нагрузки групп А2, А3.

4.4 Выбор армирующего материала и получаемый в результате армирования эффект зависит от свойств армирующего материала и материала основания. Они должны отвечать требованиям раздела 5 настоящих Рекомендаций.

4.5 Проектирование нежестких дорожных одежд постоянных автомобильных дорог с армированными основаниями выполняют в соответствии с разделом 6. Применяемый при проектировании полуэмпирический метод расчета справедлив при следующих условиях:

- для армирования используются георешетки в определении п. 3.1 настоящих Рекомендаций с размерами ячеек в пределах 33÷41 мм;

- несущий слой основания создается из зернистых материалов с максимальной крупностью зерен до 80 мм.

4.6 Проектирование дорожных одежд временных дорог может выполняться в соответствии с Приложением А.

4.7 Получаемый в результате армирования оснований (покрытий переходного типа) эффект выражается в:

- продлении сроков службы, повышении эксплуатационной надежности дорожных конструкций, улучшении транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог;

- возможности уменьшения толщин слоев дорожной одежды, материалоемкости, транспортных расходов, сроков строительства.

4.8 Выбор конструкций дорожных одежд выполняют на основе технико-экономического сопоставления вариантов. При этом следует учитывать возникающий в сопоставлении с традиционными решениями технический эффект, связанный с повышением надежности дорожных конструкций, качества строительства, долговечности, что не всегда может быть точно оценено количественно. При строительстве и ремонте автомобильных дорог, особенно высоких технических категорий, а также в сложных погодно-климатических и грунтово-гидрологических условиях, наличие такого эффекта при его надлежащем техническом обосновании может оказаться более существенным с точки зрения работоспособности, транспортно-эксплуатационных качеств дорожной конструкции, чем получение единовременной экономии средств по другим из сопоставляемых вариантов.

4.9 Отдельные положения настоящих Рекомендаций могут уточняться на основе опыта строительства, новых данных исследований, обобщенных применительно к конкретным разновидностям и маркам армирующих материалов в соответствующих технических документах, утвержденных в установленном порядке.

5 Требования к материалам

5.1 Дополнительные требования к материалам дорожных одежд не предъявляются, однако рекомендуется соблюдать определенные соотношения между крупностью зерен материала армируемого основания и размером ячеек георешеток (геосеток), обеспечивающие совместность их работы.

Для зернистых фракционированных материалов должны соблюдаться следующие соотношения:

$$\begin{aligned} &0{,}5(d + D) > 0{,}7A, \\ &D \le 2{,}0\,A, \\ &d \ge 0{,}5\,A, \end{aligned} \qquad (5.1)$$

где d и D – наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен материала основания;

A – средний размер ячейки (среднее между значениями A_L и A_T в определении п. 3.2).

5.2 При армировании оснований георешетками (геосетками) с размерами ячейки в пределах 33÷41 мм допустимо применение в качестве материала оснований фракционированного щебня по ГОСТ 8267 фракций 20-40 мм, 40-70 (80) мм или готовых щебеночно-

песчаных, гравийно-песчаных и щебеночно-гравийно-песчаных смесей С4 и С5 по ГОСТ 25607.

5.3 Применяемые для армирования дорожных одежд постоянных автомобильных дорог георешетки (геосетки) должны отвечать требованиям по наличию технической документации (п. 5.4) и параметрам, определяющим технологичность применения (п. 5.5), долговечность (п. 5.6), возможность применения (п. 5.7) и эффективность применения (п. 5.8). Перечень и общая характеристика параметров по п.п. 5.5-5.8 представлены в таблице 5.1.

5.4 Применение армирующих материалов возможно при наличии:

5.4.1 Стандартов организаций на армирующий материал, содержащих область применения, нормативные ссылки, термины и определения (рекомендуется придерживаться терминологии, представленной в разделе 3), технические требования (рекомендуется характеризовать все параметры по п.п. 5.5-5.8, в том числе не определяемые при текущем контроле производителем), требования безопасности, охраны окружающей среды, правила приемки, методы контроля (рекомендуется применение методов контроля по таблице 5.1), правила транспортирования и хранения (рекомендуется учитывать положения п. 5.6), указания по эксплуатации, гарантии изготовителя;

5.4.2 Документов, регламентирующих область применения материала конкретной марки, составляемых на основе оценки параметров свойств по п.п. 5.5-5.8, разработанных или согласованных организациями, представляющими отрасль потребителя (заключения, рекомендации по применению и др.);

5.4.3 Сертификатов соответствия, выданных с учетом положений документов по п. 5.4.2 и протоколов испытаний организаций, представляющих отрасль потребителя.

5.5 Форма поставки армирующих материалов должна обеспечивать возможность немеханизированной их укладки на объекте строительства и отсутствие или минимальный перерасход материалов. Возможность соблюдения этого условия обеспечивается регламентацией параметров по п.п. 2.1, 2.2 таблицы 5.1.

5.6 Применяемые в дорожных конструкциях постоянных автомобильных дорог армирующие материалы должны иметь срок службы, превышающий срок службы дорожных одежд. Возможность соблюдения этого условия косвенно обеспечивается регламентацией параметров по п.п. 1.1, 1.2, 1.3 таблицы 5.1, а также учетом положений п. 5.7.

Таблица 5.1

Перечень и общая характеристика регламентируемых параметров полимерных армирующих материалов при применении в конструкциях постоянных автомобильных дорог

№ п/п	Параметр	Характеристика параметра	Регламентация
1	2	3	4
1.	Параметры, определяющие стойкость к различным агрессивным воздействиям		
1.1	Состав сырья	Определяет стойкость к биологическим, химическим, температурным воздействиям	Ограничение по применению полиэфирных материалов при pH≥9, повышенные требования к упаковке и хранению для полипропиленовых материалов
1.2	Химическая стойкость	Метод 2 ГОСТ 12020	Снижение прочности не более 10%
1.3	Биологическая стойкость	Грибоустойчивость по ГОСТ 9.049	Подтверждение характеристики по грибоустойчивости – не выше $ПГ_{113}$
1.4	Температурные воздействия	Гибкость при отрицательных температурах по ГОСТ 2678	Обеспечение гибкости при температуре – 30° и радиусе закругления 50-80 мм
1.5	Технологические воздействия	Метод Приложения Б.3	Снижение прочности не более 10%. Для полиэфирных материалов – отсутствие повреждений защитного покрытия (дополнительно)
2.	Геометрические параметры и вес рулона		
2.1	Ширина	Определяет технологичность применения и отсутствие перерасхода материала	Возможность изменения в диапазоне 2-4 м с кратностью не выше 0,5 м, возможность поставки шириной более 3,5 м
2.2	Вес рулона	Определяет технологичность применения	Вес рулона – в пределах 60-70 кг
2.3	Размер ячейки геосетки (георешетки)	Определяет эффективность применения, зависит от гранулометрии материала армирующего основания	Для наиболее распространенных материалов оснований (фракции 20-40 мм, 40-70 мм, смеси С4, С5) размер ячейки для геосеток 25-40 мм, для георешеток 33-40 мм

Окончание таблицы 5.1.

1	2	3	4
3.	Механические свойства		
3.1	Прочность при растяжении R_{LR} (R_{TR})	Метод Приложения Б.1 (определяет сохранность материала при укладке)	Не ниже 20 кН/м
3.2	Относительная деформация при разрыве $\varepsilon_{LR\,max}$ ($\varepsilon_{TR\,max}$)	Метод Приложения Б.1 (определяет сохранность материала при укладке)	Для материалов прочностью до 30 кН/м не ниже 10%
3.3	Относительная деформация при максимальной нагрузке ε_{LRR} (ε_{TRR})	Метод Приложения Б.1 (может влиять на эффективность применения)	Не выше 15 %
3.4	Условный показатель деформативности E'_{LR} (E'_{TR}) при деформации ε	Метод Приложения Б.1 (определяет эффективность применения)	E'_R не ниже 300 кН/м при $\varepsilon = 2\%$
3.5	Относительная прочность узловых соединений R_{jR}	Метод Приложения Б.2 (идентификационный параметр)	Не ниже 50% от R_R
3.6	Условный показатель деформативности в плоскости материала G_R	Метод Приложения Б.2 (идентификационный параметр, влияющий на эффективность применения)	Не ниже 10% от $R_{R(\omega}$

Примечание. Условные обозначения по разделу 2 Рекомендаций.

5.7 Возможность применения армирующих материалов определяется их сохранностью при укладке на контакте зернистый материал – грунт при воздействии нагрузок от занятой на строительстве техники (стойкостью к технологическим воздействиям, которые обычно превышают эксплуатационные). Соблюдение этого условия обеспечивается регламентацией параметров по п.п. 1.5, 3.1, 3.3.

5.8 Эффективность применения определяется показателями, характеризующими деформативность армирующих материалов (п.п. 3.3, 3.4, 3.6 таблицы 5.1) и структурные особенности (п.п. 2.3, 3.5 таблицы 5.1). Регламентация этих параметров выполнена в таблице 5.1 в минимальной степени, поскольку выбор армирующего материала определяется эффектом применения в конкретном проектном решении (раздел 6 Рекомендаций).

5.9 При проектировании армированных дорожных одежд рекомендуется использовать значения показателей механических свойств, представленные в Приложении Г или документах по п.п. 5.4.1, 5.4.2.

6 Методика проектирования

6.1 Конструктивные решения

Армирование применяют при новом строительстве и в случаях, когда предусмотрена замена существующей дорожной одежды (рисунок 6.1, а), а также на участках уширения автомобильных дорог (рисунок 6.1,б). Георешетку (геосетку) располагают на контакте между несущим слоем основания из необработанных зернистых материалов и песчаным дополнительным слоем основания или грунтом земляного полотна при его отсутствии в дорожных одеждах с усовершенствованными типами покрытия (рисунок 6.1, в). Для дорожных одежд с переходным типом покрытия георешетку (геосетку) располагают под покрытием из зернистых материалов (рисунок 6.1, г).

Решение по армированию принимают с учетом области рационального использования георешеток (геосеток) по п. 4.3 и следующих дополнительных положений:

- рекомендуется применение георешеток (геосеток) под несущими основаниями капитальных дорожных одежд для дорог с тяжелым и интенсивным движением;
- рекомендуется применение георешеток (геосеток) в дорожных одеждах переходного типа как первоочередной конструкции стадийного строительства.

В этих случаях определяющим фактором для принятия решения о применении георешеток (геосеток) может оказаться выполнение ими не только армирующих функций, но и функций разделения (предотвращение взаимопроникновения материалов смежных слоев, ведущего к снижению долговечности конструкции).

Выбор материалов выполняют с учетом требований раздела 5, назначение толщин слоев дорожной одежды – на основе расчета по п. 6.2.

6.2 Методика расчета

6.2.1 Расчет армированных дорожных одежд выполняют по ОДН 218.046-01 с введением коэффициентов усиления, зависящих от деформативных свойств георешеток, толщин слоев, механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов рабочего слоя земляного полотна. Приводимые коэффициенты усиления справедливы для материалов, отвечающих требованиям п. 4.5 и раздела 5.

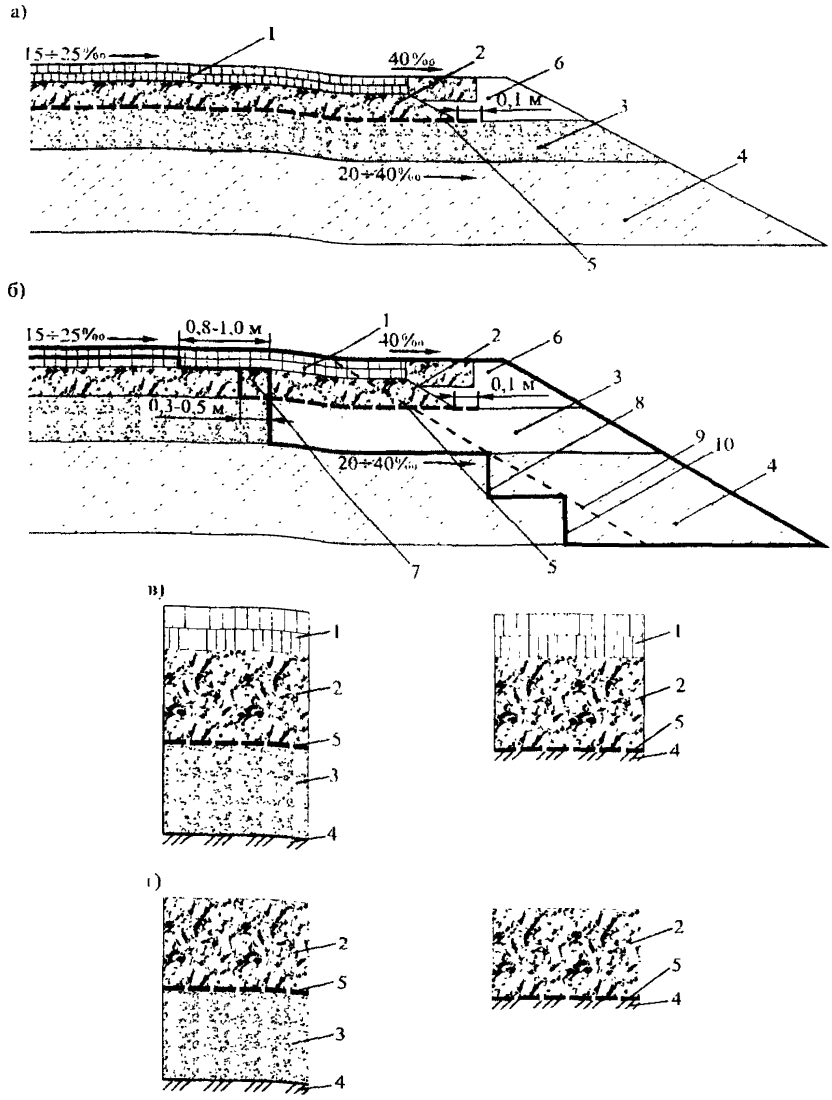


Рисунок 6.1. Армирование оснований дорожных одежд при новом строительстве (а), выполнении работ по уширению (б) и конструкции армированных дорожных одежд усовершенствованного (в) и переходного (г) типов: 1 – асфальтобетонное покрытие; 2 – щебеночное основание; 3 – песчаный дренирующий слой; 4 – грунт земляного полотна; 5 – георешетка; 6 – связный грунт на обочине; 7 – подломка края основания; 8 – контур уширения; 9 – контур старого откоса; 10 – уступы

6.2.2 Коэффициенты усиления вводятся при расчете дорожных одежд по критерию упругого прогиба (п.п. 6.2.3, 6.2.6), критерию сдвигоустойчивости грунта, подстилающего зернистое основание (п.п. 6.2.4, 6.2.7), и критерию сопротивления материалов монолитных слоев возникающим в них растягивающим напряжениям (п. 6.2.5).

6.2.3 Расчет армированных дорожных одежд капитального и облегченного типов по допускаемому упругому прогибу (расчетная схема по рисунку 6.2).

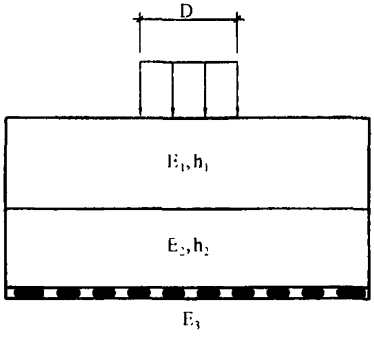


Рисунок 6.2. Расчетная схема дорожной одежды капитального и облегченного типов, армированной георешеткой

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии

$$\alpha_1 \cdot E_{общ} \geq E_{min} \cdot K_{ny}^{mp}, \qquad (6.1)$$

где $E_{общ}$ – расчетный общий модуль упругости неармированной конструкции определяется по п. 3.27 [2.15] либо вычисляется по формуле (6.2) послойно, снизу вверх, начиная с рабочего слоя:

$$E_{общ}^{(i)} = \frac{\left[1{,}05\text{-}0{,}1\frac{h_i}{D}\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}}\right)\right]E_i}{0{,}71\cdot\sqrt[3]{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}}\,arctg\left(\frac{1{,}35\cdot h_i}{D}\right)+\frac{E_i}{E_{общ}^{(i+1)}}\cdot\frac{2}{\pi}\,arctg\frac{D}{h_i}}, \qquad (6.2)$$

где $E_{общ}^{(i+1)}$ – общий модуль упругости полупространства, подстилающего i - й слой, МПа;

i – номер рассматриваемого слоя дорожной одежды ($i = 1,...,n$);

E_i – модуль упругости i-го слоя дорожной конструкции, МПа.

E_{min} – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции (определяется по п. 3.25 [2.15]), МПа;

$K_{пу}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба (определяемого по п. 3.6 [2.15]);

h – толщина i-го слоя дорожной одежды, м;

$h_э$ – эквивалентная толщина слоя дорожной одежды, м.

$$h_э = 2 \cdot h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{6 \cdot E_{общ}^{(i-1)}}} \quad ;$$

$K_{пу}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба (определяемого по п. 3.6 [2.15]);

α_1 - коэффициент усиления (коэффициент увеличения общего модуля упругости армированной дорожной конструкции), определяемый по уравнению

$$\begin{aligned}\alpha_1 = (&a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + \\ &+a_{13}X_1X_3 + a_{14}X_1X_4 + a_{15}X_1X_5 + a_{22}X_2^2 + a_{23}X_2X_3 + a_{24}X_2X_4 + \\ &+a_{25}X_2X_5 + a_{33}X_3^2 + a_{34}X_3X_4 + a_{35}X_3X_5 + a_{44}X_4^2 + a_{45}X_4X_5 + a_{55}X_5^2)^{-1},\end{aligned} \qquad (6.3)$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D}$ – отношение суммарной толщины монолитных слоев покрытия (h_1) к диаметру отпечатка колеса расчетного автомобиля (D) (рисунок 6.2);

$X_2 = \frac{h_2}{D}$ – отношение суммарной толщины несущих слоев основания дорожной одежды (h_2) к диаметру отпечатка колеса расчетного автомобиля (D) (рисунок 6.2);

$X_3 = \frac{E_1}{E_4}$ – отношение средневзвешенного значения модуля упругости монолитных слоев покрытия (E_1) к условному модулю упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» (E_4). Величина E_4 принимается по таблице Д 7;

$X_4 = \frac{E_2}{E_4}$ – отношение средневзвешенного значения модуля упругости несущих слоев основания (E_3) к условному модулю упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» (E_4);

$X_5 = \frac{E_3}{E_4}$ – отношение общего модуля упругости основания (E_3), подстилающего композитный слой «зернистый материал + георешетка», к условному модулю упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» (E_4);

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15},

a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{25}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{44}, a_{45}, a_{55} – коэффициенты уравнения, принимаемые по таблице Д 1.

$$E_{min} = 98,65\left[lg(\sum N_p) - c\right], \text{ МПа}, \qquad (6.4)$$

где c – эмпирический коэффициент, зависящий от расчетной нагрузки на ось;

ΣN_p – суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы дорожной одежды.

6.2.4 Расчет *по условию сдвигоустойчивости грунта*, подстилающего композитный слой «зернистый материал + георешетка».

Сдвигоустойчивость (отсутствие накопления недопустимых деформаций сдвига) при динамическом воздействии нагрузки для дорожной одежды с армированным основанием обеспечивается при соблюдении условия

$$\frac{1}{\alpha_3} \cdot T \le \frac{T_{np}}{K_{nc}^{mp}}. \qquad (6.5)$$

Сдвигоустойчивость (отсутствие накопления недопустимых деформаций сдвига) при статическом воздействии нагрузки для дорожной одежды с армированным основанием обеспечивается при соблюдении условия

$$\frac{1}{\alpha_4} \cdot T \le \frac{T_{np}}{K_{nc}^{mp}}, \qquad (6.6)$$

где T – активное расчетное напряжение сдвига (принимается по п. 3.34 [2.15]);

T_{np} – предельная величина активного напряжения сдвига (определяется по п. 3.35 [2.15]);

K_{nc}^{mp} – требуемый коэффициент прочности (принимается по п. 3.6 [2.15]);

α_3, α_4 – коэффициенты усиления (коэффициенты снижения активных напряжений сдвига), определяемые по уравнению вида

(6.7) при значениях коэффициентов уравнения для различных значений угла внутреннего трения основания, представленных в таблице Д 2.

$$\alpha_{3,4}=(a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4+a_5X_5+a_{11}X_1^2+a_{12}X_1X_2+ \\ +a_{13}X_1X_3+a_{14}X_1X_4+a_{15}X_1X_5+a_{22}X_2^2+a_{23}X_2X_3+a_{24}X_2X_4+ \\ +a_{25}X_2X_5+a_{33}X_3^2+a_{34}X_3X_4+a_{35}X_3X_5+a_{44}X_4^2+a_{45}X_4X_5+a_{55}X_5^2)^{-1}. \quad (6.7)$$

Здесь обозначения те же, что и в выражении (6.3). Коэффициенты уравнений принимаются: для вычисления α_3 – по таблице Д 3, для вычисления α_4 – по таблице Д 4.

$$T_{пр} = k_д(c_N + \gamma_{ср} z\, tg\varphi_{ст}), \quad (6.8)$$

где c_N – удельное сцепление в грунте земляного полотна (промежуточном песчаном слое), принимаемое с учетом повторности нагрузки, МПа;

$k_д$ – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания, а также на границе грунта земляного полотна (при отсутствии песчаного слоя) – с нижним слоем несущего основания. Принимается по п. 3.35 [2.15]. При укладке георешетки на границе песчаного слоя (грунта земляного полотна) и нижнего слоя несущего основания $k_д$=2;

z – глубина расположения поверхности слоя (от верха конструкции), проверяемого на сдвигоустойчивость, м;

$\gamma_{ср}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев одежды, расположенных выше проверяемого слоя, МН/м^3.

6.2.5. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (обозначения – по ОДН 218.046-01).

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе одежды под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны в течение заданного срока службы приводить к образованию трещин от усталостного разрушения. Для этого должно быть обеспечено условие:

- для неармированных конструкций

$$K_{пр}^{тр} \le \frac{R_N}{\sigma_r}, \quad (6.9)$$

- для конструкций, армированных георешеткой

$$K_{пр}^{тр} \le \frac{R_N}{\sigma_r^{арм.}}, \quad (6.10)$$

где $K_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности по данному критерию;

R_N – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;

σ_r, $\sigma_r^{арм.}$ – наибольшие растягивающие напряжения в рассматриваемых слоях.

Наибольшие растягивающие напряжения при изгибе в монолитном слое неармированной конструкции от единичной нагрузки – $\bar{\sigma}_r$ либо армированной конструкции – $\bar{\sigma}_r^{арм}$ определяются по рис.3.4. [2.15], либо по формулам (6.11), (6.12) после приведения реальной конструкции к двухслойной модели:

$$\bar{\sigma}_r = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{h_1}{D} \cdot \frac{E_1}{E_{осн\ общ}} \left(1 - \frac{2}{\pi} arctg \frac{h_э}{D}\right) arctg^2 \frac{D}{h_э}, \qquad (6.11)$$

$$\bar{\sigma}_r^{арм.} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{h_1}{D} \cdot \frac{E_1}{E_{осн\ общ.арм}} \left(1 - \frac{2}{\pi} arctg \frac{h_э}{D}\right) arctg^2 \frac{D}{h_э}, \qquad (6.12)$$

где h_1 – суммарная толщина монолитных слоев покрытия, м;

D – расчетный диаметр отпечатка колеса, м;

E_1 – средневзвешенный модуль упругости монолитных слоев покрытия, МПа;

$h_э$ – эквивалентная толщина искусственного основания, м. Значение $h_э$ вычисляется по формулам:

- при определении $\bar{\sigma}_r$: $h_э = 2 \cdot h_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{осн.общ.}}}$;

- при определении $\bar{\sigma}_r^{арм}$: $h_э = 2 \cdot h_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{осн\ общ\ арм}}}$;

$E_{осн.общ.}$ – общий модуль упругости неармированного основания, подстилающего рассматриваемый монолитный слой, МПа;

$E_{осн.общ.арм.}$ – общий модуль упругости армированного основания, подстилающего рассматриваемый монолитный слой, МПа.

При армировании несущего слоя основания георешеткой общий модуль основания определяется по выражению:

$$E_{осн.общ\ арм.} = \alpha_2 \cdot E_{осн\ общ}, \qquad (6.13)$$

где $E_{осн.общ.}$ – общий модуль упругости основания, подстилающего покрытие, МПа;

α_2 – коэффициент усиления (коэффициент увеличения общего модуля упругости основания армированной дорожной конструкции), определяемый по уравнению:

$$\alpha_2 = (a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_{11}X_1^2 + \\ + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{14}X_1X_4 + a_{15}X_1X_5 + + a_{22}X_2^2 + \\ + a_{23}X_2X_3 + a_{24}X_2X_4 + a_{25}X_2X_5 + a_{33}X_3^2 + a_{34}X_3X_4 + \\ + a_{35}X_3X_5 + a_{44}X_4^2 + a_{45}X_4X_5 + a_{55}X_5^2)^{-1}. \quad (6.14)$$

Здесь обозначения те же, что и в выражении (6.3). Коэффициенты уравнения принимаются по таблице Д 2.

Наибольшее растягивающее напряжение σ_r определяется по формуле:

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p k_e, \quad (6.15)$$

где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение в монолитном слое от единичной нагрузки;

p – давление колеса расчетного автомобиля на покрытие, МПа;

k_e – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, k_e=0,85 (при расчете под однобаллонное колесо k_e= 1,00).

Прочность материала монолитного слоя при многократном воздействии нагрузок определяется по формуле:

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - \upsilon_R t), \quad (6.16)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе в условиях расчетной весенней температуры и однократного приложения нагрузки, МПа (см. табл. 1 прил. 3 [2.15]);

k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности материалов вследствие усталостных явлений при многократных нагружениях, определяемый по формуле (6.17);

k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов, определяемый по табл. 3.6 [2.15];

υ_R – коэффициент вариации прочности материала на растяжение (см. прил. 4 [2.15]);

t – коэффициент нормативного отклонения (см. прил. 4 [2.15]).

Коэффициент k_1, отражающий влияние усталостных процессов на прочность материалов, вычисляется по формуле

$$k_1 = \frac{\omega}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \quad (6.17)$$

где $\sum N_p$ – расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия с учетом числа расчетных суток за срок службы;

m – показатель, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (см. табл. 1 прил. 3 [2.15]);

ω – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчетной температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности (см. табл. 1 прил. 3 [2.15]).

6.2.6 Расчет армированных дорожных одежд переходного и низшего типов по допускаемому упругому прогибу.

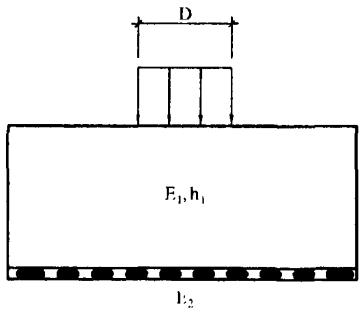


Рисунок 6.3. Расчетная схема дорожной одежды переходного и низшего типов, армированной георешеткой

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии

$$\alpha_5 \cdot E_{общ} \geq E_{min} \cdot K_{пу}^{тр}, \qquad (6.18)$$

где $K_{пу}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности;

α_5 – коэффициент усиления (коэффициент увеличения общего модуля упругости армированной дорожной конструкции), определяемый по уравнению

$$\alpha_5 = (a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + \\ + a_{22}X_2^2 + a_{23}X_2X_3 + a_{33}X_3^2)^{-1}, \qquad (6.19)$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D}$ – отношение суммарной толщины слоев дорожной одежды, расположенных над георешеткой (h_1), к диаметру отпечатка колеса расчетного автомобиля (D) (рисунок 6.3);

$X_2 = \frac{E_2}{E_3}$ – отношение значения общего модуля упругости основания (E_2), подстилающего композитный слой «зернистый материал + георешетка», к условному модулю упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» (E_3). Величина E_3 принимается по таблице Д 7;

$X_3 = \frac{E_1}{E_3}$ – отношение средневзвешенного модуля упругости слоев дорожной одежды, расположенных над георешеткой (E_1), к условному модулю упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» (E_3);

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{33}$ - коэффициенты уравнения, принимаемые по таблице Д 5.

6.2.7 Расчет по условию сдвигоустойчивости грунта, подстилающего композитный слой «зернистый материал + георешетка».

Сдвигоустойчивость (отсутствие накопления недопустимых деформаций сдвига) при воздействии нагрузки для дорожных одежд с армированными основаниями обеспечивается при соблюдении условия:

$$\frac{1}{\alpha_6} \cdot T \le \frac{T_{np}}{K_{nc}^{mp}}, \qquad (6.20)$$

где T – активное расчетное напряжение сдвига (принимается по п. 3.34 [2.15]);

T_{np} – предельная величина активного напряжения сдвига (определяется по п. 3.35 [2.15]);

K_{nc}^{mp} – требуемый коэффициент прочности (принимается по п. 3.6 [2.15]);

α_6 – коэффициент усиления (коэффициент снижения активных напряжений сдвига), определяемый по уравнению

$$\alpha_6 = (a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{11} X_1^2 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{22} X_2^2 + a_{23} X_2 X_3 + a_{33} X_3^2)^{-1}. \qquad (6.21)$$

Здесь обозначения те же, что и в выражении (6.19). Коэффициенты уравнения для различных значений угла внутреннего трения основания принимаются по таблице Д 6.

6.2.8 Оценка срока службы армированных дорожных одежд. Расчеты по п.п. 6.2.3, 6.2.6 приводят к снижению толщин слоев дорожной одежды или к увеличению срока ее службы. При сохранении толщин слоев армированной дорожной одежды без изменения при выполнении условия прочности по сопротивлению материалов монолитных конструктивных слоев возникающим в них растягивающим напряжениям при изгибе, соответствующий увеличенный срок службы может быть определен по зависимости

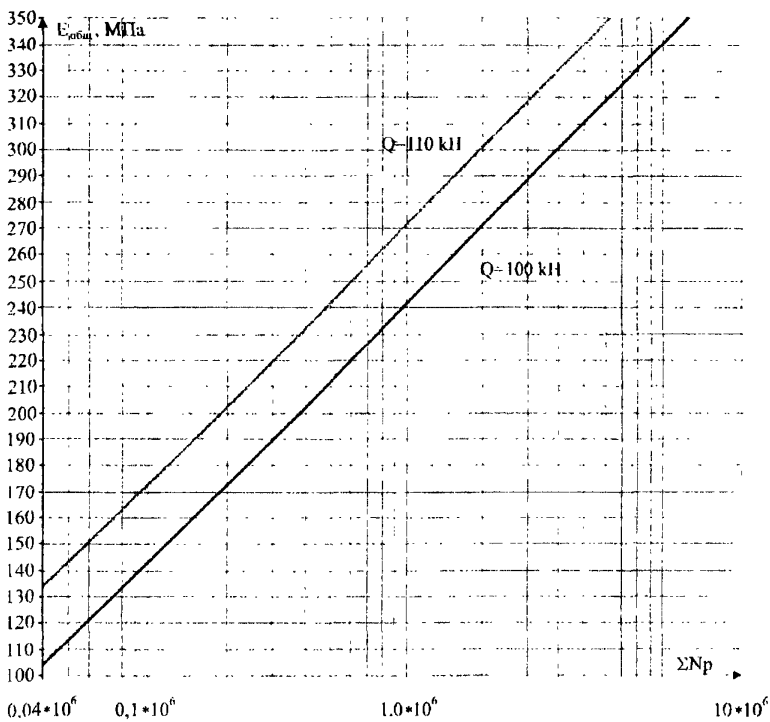


Рисунок 6.4. Зависимость общего расчетного модуля упругости конструкции $E_{общ.}$ от суммарного расчетного числа приложений нагрузки за расчетный срок службы, $\sum N_p$, Q – нормативная статическая нагрузка на ось расчетного автомобиля (к п. 6.2.8)

$$T_{сл} = 1 + \left[lg \frac{0{,}7 \cdot N_p \cdot K_c \cdot T_{рдг} \cdot K_n}{\sum N_p \cdot lgq} \right], \qquad (6.22)$$

где $\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложений нагрузки за расчетный срок службы для армированной дорожной одежды, определяемое по рисунку 6.4 при значении $E_{общ\,арм.} = \alpha_1 \cdot E_{общ.}$ (см. п. 6.2.3) или исходя из зависимости 3.10 [2.15]; N_p, K_c, $T_{рдг}$, K_n и q – по п.п. 3.22, 3.23 [2.15].

6.2.9 Общий порядок расчета может быть принят в соответствии с примером расчета, представленным в Приложении В.

7 Особенности технологии производства работ

7.1 Технология и организация строительного процесса при применении армирования, включая подготовку объекта, схему организации рабочей зоны в период производства работ, организацию труда, контроль качества и техники безопасности, подчиняются общим правилам при производстве земляных работ и работ по устройству дорожной одежды. При производстве работ следует руководствоваться требованиями СНиП 2.05.02-85*, СНиП 3.06.03-85, СНиП 12-03-2001, СНиП 12-04-2002, ВСН 8-89, ВСН 19-89, ВСН 37-84, а также положениями Рекомендаций (п.п. 2.16, 2.17).

7.2 Особенности технологии производства работ связаны с введением дополнительной операции по укладке георешетки (геосетки) и введением дополнительных требований к выполнению работ по устройству слоя основания, расположенного непосредственно над георешеткой. Общая технологическая схема производства работ представлена на рисунке 7.1.

7.3 Укладку георешетки выполняют на выровненном и уплотненном грунтовом основании (песчаном дополнительном слое основания) путем раскатки рулона с периодическим (через 10-15 м) выравниванием полотна и легким его натяжением без образования складок (рисунок 7.2, а). Как правило, крепления георешетки к нижележащему слою не требуется и нежелательно, поскольку препятствует натяжению полотна при образовании «волны» в процессе отсыпки вышележащего слоя (рисунок 7.2,г, п. 7.4).

Однако в отдельных случаях для сохранения проектного положения георешеток при возможном воздействии технологичес-

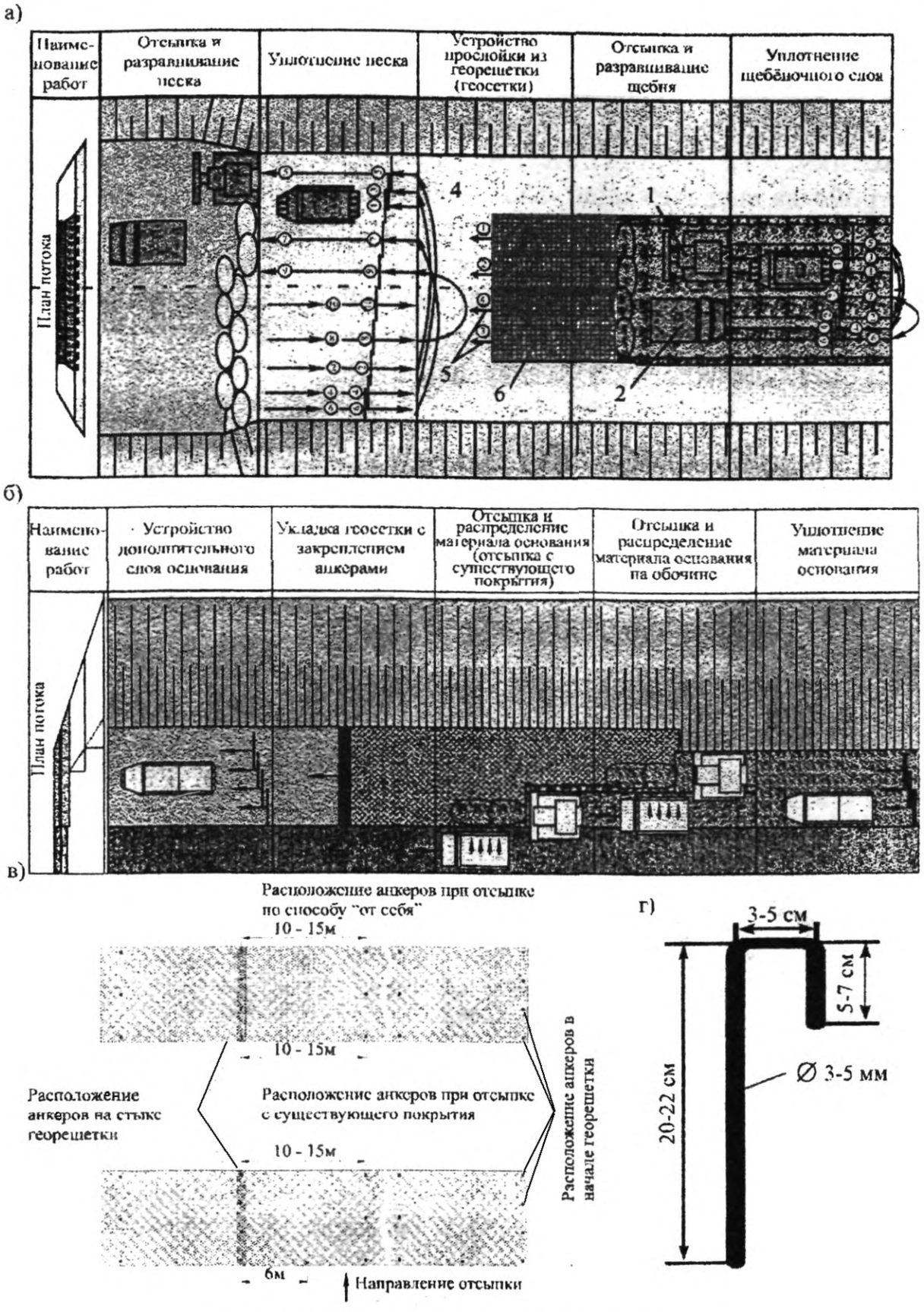


Рисунок 7.1. Технология производства работ: а — при новом строительстве; б — при уширении; в — схема расположения анкеров; г — конструкция анкера

ких нагрузок, возникающих при отсыпке и разравнивании вышележащего слоя (начало рулона, отсыпка материала основания с существующего покрытия при уширении), а также при сильных ветровых воздействиях, георешетка может крепиться анкерами по рисунку 7.1, г. Расположение анкеров при разных способах устройства вышележащего слоя показано на рисунке 7.1, в (анкера располагаются через 10-15 м по длине со снижением этого расстояния в случае устройства уширения до 6 м у края полотна, ближайшего к направлению отсыпки вышележащего слоя; в начале рулона и в местах перекрытия рулонов устанавливаются 3 анкера по ширине, в других местах – 2 анкера по ширине).

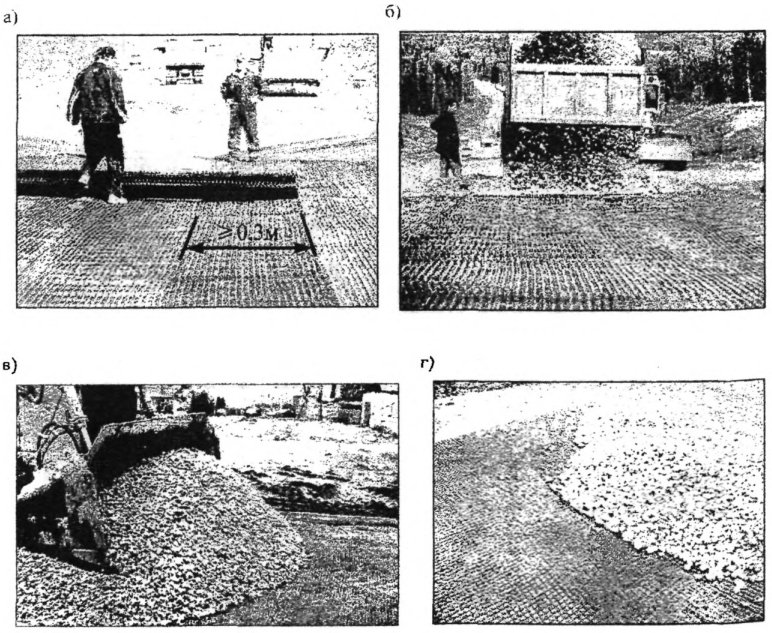


Рисунок 7.2. Отдельные рабочие операции при армировании дорожных одежд:
а – укладка георешетки; б – отсыпка материала несущего основания; в – разравнивание материала по способу «от себя»; г – образование «волны» перед разравниваемым слоем

Перекрытие полотен по длине и по ширине не менее 30 см. Направление перекрытия назначают с учетом направления отсыпки и разравнивания материала вышележащего слоя для исключения «задирания» полотна на перекрытии (при отсыпке по способу «от себя» конец полотна засыпаемого слоя располагается над началом следующего полотна; при отсыпке с существующего покрытия в случае устройства уширения ближайшее к стороне отсыпки полотно располагают выше).

Георешетка (геосетка) укладывается на ширину слоя основания с запасом не менее толщины слоя зернистого материала плюс 0,1 м в каждую сторону.

7.4 Отсыпку на уложенную георешетку крупнофракционного материала основания выполняют по способу «от себя» (рисунок 7.2, б,в). Основные условия устройства слоя основания – недопущение заезда построечного транспорта на открытую поверхность полотна, постепенное разравнивание отсыпанного материала основания за несколько проходов с последовательной надвижкой материала основания на георешетку. При образовании волны (рисунок 7.2, г) следует выполнять натяжение геосетки (георешетки). В процессе надвижки рекомендуется по возможности соблюдать минимальное расстояние по потоку между операциями по устройству слоя основания и раскатке рулонов (но не ближе 20 м) для обеспечения бóльших возможностей по натяжению геосетки (георешетки). Материал основания должен быть отсыпан на георешетку в течение рабочей смены.

7.5 При выполнении работ по п.п. 7.3, 7.4 визуально оценивается качество укладываемых полотен. Фиксируются дефекты внешнего вида (разрывы, вырывы, другие нарушения сплошности ребер и узлов, перекос ячеек, наличие включений, загрязнений, наличие перегибов или следов перегибов на ребрах, ровность кромок). Также фиксируется величина перекрытия смежных полотен по ширине и длине, длина материала в рулоне и ширина, их соответствие документации (маркировке на рулонах, данным паспорта на партию материала). По результатам контроля составляется акт на скрытые работы.

Ключевые слова: полимерные георешетки (геосетки), основания дорожных одежд из зернистых материалов, проектирование, технология, методические рекомендации

Приложение А

Особенности применения полимерных георешеток при строительстве временных дорог

1 Положения настоящего Приложения могут быть применены для проектирования временных автомобильных дорог со сроком службы, не превышающим трех лет при значении модуля деформации на поверхности грунта, подстилающего армирующий материал, не ниже 8 МПа.

2 При строительстве временных дорог требования к армирующим материалам могут быть приняты по разделу 5 Рекомендаций с учетом следующих уточнений:

- параметры по п.п. 1.2, 1.3, 1.4 (в части дополнительных требований к полиэфирным материалам) таблицы 5.1 не регламентируются;

- при возможности возникновения на поверхности создаваемого покрытия в период строительства или в начальный период эксплуатации деформаций (колейности), превышающих 10 см, должна быть выполнена пробная укладка армирующих материалов на объекте для уточнения возможности их применения, исходя из технологических воздействий (визуальная оценка состояния армирующего материала после снятия уложенного и уплотненного материала покрытия; при наличии повреждений – также оценка механических свойств отобранных образцов с учетом регламентации по п. 1.5 таблицы 5.1).

3 Конструктивные решения для временных автомобильных дорог аналогичны представленным конструкциям дорожных одежд с переходным типом покрытия (рис. 6.1). Назначение дорожных одежд выполняют на основе расчета по допустимой величине деформации покрытия (п. 4), допустимому давлению на поверхности грунтового основания (п. 5) и допустимой относительной деформации армирующего материала (п. 6).

4 Расчет по допустимой величине деформации покрытия. Конструкция дорожной одежды удовлетворяет требованиям прочности и надежности при соблюдении условия

$$E_{экв} \geq E_{тр}, \qquad (А.1)$$

где $E_{экв}$ – расчетный эквивалентный модуль деформации на поверхности покрытия, МПа;

$E_{тр}$ – требуемый модуль деформации на поверхности покрытия с учетом допустимой величины деформации покрытия, МПа.

Требуемый модуль деформации дорожной одежды определяется из условия, чтобы накапливающаяся под действием повторных нагрузок деформация S не превысила нормированную величину. Требуемый модуль деформации назначается по зависимости:

$$E_{тр}=1,57\cdot\frac{P\cdot D}{S}\cdot k, \qquad (А.2)$$

где P – удельное давление на покрытие от расчетной нагрузки, МПа;

D – диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля, м;

S – допускаемая вертикальная осадка поверхности покрытия, м;

k – коэффициент, отражающий агрессивность повторных нагрузок, вызывающих нарастание остаточных деформаций;

$$k=0,5+0,65\cdot lgN_c, \qquad (А.3)$$

где N_c - число проходов (воздействий) расчетной нагрузки в грузовом направлении за расчетный период.

Независимо от результатов расчета $E_{тр} \geq 30$ МПа.

Расчетный эквивалентный модуль деформации на поверхности покрытия $E_{экв}$ определяется послойно снизу вверх, начиная с грунта земляного полотна, по зависимости (А.4):

$$E_{экв}=\frac{E_{гр}}{1-\frac{2}{\pi}\left(1-\frac{1}{\left(\frac{E_{од}}{E_{гр}}\right)^{1,4}}\right)\cdot arctg\left(\frac{h_{од}}{D}\left(\frac{E_{од}}{E_{гр}}\right)^{0,4}\right)}, \qquad (А.4)$$

где $E_{гр}$ – модуль деформации грунтового основания, МПа;

$E_{од}$ – средневзвешенный модуль деформации слоев дорожной одежды, МПа.

$h_{од}$ – общая толщина слоев дорожной одежды, м.

Эквивалентный модуль деформации армированной дорожной конструкции определяется по зависимости:

$$E_{экв\,арм}=K_a\cdot E_{экв}, \qquad (А.5)$$

где $E_{экв.арм.}$ – эквивалентный модуль деформации армированной дорожной конструкции, МПа;

$E_{экв.}$ – эквивалентный модуль деформации неармированной дорожной конструкции, МПа.

Значения коэффициентов упрочнения K_a определяются с помощью выражений (А.6+А.8).

- для георешеток типа СД-20:

$$K_a = 1,59 - 1,08 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} + 0,077 \cdot \frac{h_{од}}{D} + 0,693 \cdot \left(\frac{E_{гр}}{E_{од}}\right)^2 - \\ -0,09 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} \cdot \frac{h_{од}}{D} - 0,201 \cdot \left(\frac{h_{од}}{D}\right)^2, \quad (А.6)$$

- для георешеток типа СД-30:

$$K_a = 1,94 - 1,08 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} + 0,077 \cdot \frac{h_{од}}{D} + 0,693 \cdot \left(\frac{E_{гр}}{E_{од}}\right)^2 - \\ -0,09 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} \cdot \frac{h_{од}}{D} - 0,201 \cdot \left(\frac{h_{од}}{D}\right)^2, \quad (А.7)$$

- для георешеток типа СД-40:

$$K_a = 2,30 - 1,08 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} + 0,077 \cdot \frac{h_{од}}{D} + 0,693 \cdot \left(\frac{E_{гр}}{E_{од}}\right)^2 - \\ -0,09 \cdot \frac{E_{гр}}{E_{од}} \cdot \frac{h_{од}}{D} - 0,201 \cdot \left(\frac{h_{од}}{D}\right)^2. \quad (А.8)$$

5 Расчет дорожных одежд по допустимому давлению на поверхность грунтового основания. Конструкция дорожной одежды удовлетворяет требованиям прочности при соблюдении условия:

$$\sigma \le \sigma_{доп}, \quad (А.9)$$

где σ – вертикальные напряжения, возникающие в грунте с учетом распределяющей способности дорожной одежды, МПа;

$\sigma_{доп}$ – максимальное допускаемое напряжение в грунте, при котором сохраняется линейная зависимость между давлением и осадкой, МПа.

Действующие вертикальные напряжения определяются по зависимости:

$$\sigma = \frac{P}{\omega}. \qquad (А.10)$$

где P – давление на покрытие от расчетной нагрузки, МПа;

ω – коэффициент, характеризующий убывание вертикальных напряжений в дорожной одежде и определяемый по зависимости:

$$\omega = 1 + a \cdot \left(\frac{h_{экв}}{D} \right)^2, \qquad (А.11)$$

где $a = 1,7; 1,8; 1,9$ – для дорожных одежд, армированных георешетками СД-20, СД-30, СД-40 с условными показателями деформативности $E'(\varepsilon)$ 350, 525, 700 кН/м, соответственно, отвечающих также требованиям п.п. 3.5, 3.6 таблицы 5.1;

$a = 1,0$ – для неармированных дорожных одежд;

$h_{экв}$ – эквивалентная толщина слоев дорожной одежды, м, определяемая по зависимости:

$$h_{экв} = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \left(\frac{E_i}{E_{гр}} \right)^{0.4},$$

где $\sum_{i=1}^{n} h_i$ – общая толщина слоев дорожной одежды, м;

E_i – модуль деформации i-го слоя дорожной одежды, МПа;

$E_{гр}$ – модуль деформации грунтового основания, МПа.

Допускаемые напряжения $\sigma_{доп}$ определяются по зависимости:

$$\sigma_{доп} = \frac{\pi \cdot \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \gamma_i + \frac{\pi \cdot c}{tg\varphi}}{ctg\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \gamma_i, \qquad (А.12)$$

где c – удельное сцепление грунта основания, МПа;

φ – угол ~~внутреннего~~ трения грунта основания, град;

γ_i – средневзвешенный удельный вес слоев дорожной одежды, МН/м³.

6 Расчет по допустимой относительной деформации армирующего материала. Для исключения возникновения пластических деформаций армирующих материалов должно выполняться условие:

$$\varepsilon \le \varepsilon_{пр}, \qquad (A.13)$$

где ε – относительная деформация геосетки (георешетки) в конструкции;

$\varepsilon_{пр}$ – предельная относительная деформация георешетки, равная 0,1 (10 %) для полипропиленовых материалов.

Значение относительной деформации ε определяется по формуле:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{S}{D} \cdot 2{,}68 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{D} \cdot arctg^2 \frac{D}{h_{экв}}, \qquad (A.14)$$

где ε_0 – деформация, возникающая в период строительства (ε_0=0,015);

$h_{экв}$ – эквивалентная толщина слоев дорожной одежды, м.

Остальные обозначения – по п. 4 Приложения А.1.

7 Общий порядок расчета может быть принят в соответствии с примером расчета, представленным в Приложении Е. Ориентировочные значения модулей деформации материалов в конструкциях дорожной одежды представлены в таблице А.1.

8 Технология производства работ при строительстве временных дорог может быть принята по разделу 7 настоящих Рекомендаций с учетом следующих особенностей:

- предпочтительный способ укладки георешетки – поперек оси земляного полотна с перекрытием соседних полотен не менее чем на 30 см. Допустима укладка вдоль оси земляного полотна при увеличении перекрытия соседних полотен (не менее 50 см);

- рекомендуется производить распределение зернистого материала над георешеткой бульдозером легкого и среднего типа с постепенным перемещением под углом к оси дороги по способу «от себя».

Таблица А.1

Ориентировочные значения модулей деформации материалов в конструкциях дорожных одежд

№ п.п.	Наименование дорожно-строительных материалов	Расчетные модули деформаций $E_{од}$, МПа
1	Пески мелкие	15-20
2	Пески средние	25-30
3	Пески крупные	35-40
4	Дресва горных пород	35-45
5	Горные породы отвалов	50-60
6	Пакеляж из каменных пород	80
7	Гравий крупных фракций и гравий карьерный без подбора состава, ПГС	60-90
8	Грунтощебень (щебня 60%) без вяжущего	60
9	Щебень несортированный из каменных горных пород не ниже 3 марки	80
10	Известковый щебень	110
11	Щебень из каменных пород 3 марки, укладываемый по принципу заклинки	110
12	Гранитный щебень	130
13	Щебень из каменных пород 1-2 марки, укладываемый по принципу заклинки	130

Примечание. Уточнение модулей деформации местных дорожно-строительных материалов возможно на основе выполнения послойных штамповых испытаний.

Приложение Б

Основные положения методов оценки механических свойств георешеток (геосеток), применяемых для армирования зернистых материалов

Б.1 Метод испытаний на растяжение (испытания по «схеме 1»)

Сущность метода испытания состоит в одноосном растяжении образцов геосетки с постоянной скоростью деформирования 20 мм/мин до их разрыва (допускаемая скорость при текущем контроле производителя 20-50 мм/мин при обязательном указании принимаемой скорости). Схема испытаний – по рисунку Б.1, б.

Применяемые образцы – прямоугольные размером 200 мм (ширина b) на 100 мм («рабочая» длина в направлении растяжения l), содержащие не менее 5 ребер геосетки по ширине и не менее одного ребра по длине, не считая ребер, расположенных под зажимами установки для растяжения (допустимо испытание одного ребра при текущем контроле производителя, допустимо испытание образца из двух ребер по ширине при размере ячеек материала выше 75 мм). Количество образцов – не менее 5 в каждом направлении (по длине рулона, по ширине рулона).

Применяемое оборудование должно обеспечивать получение полной диаграммы деформирования образцов при погрешности измерения нагрузки и удлинения не более 1 % от измеряемой величины.

Результирующая зависимость представлена на рисунке Б.1, а.

Обозначения в результирующей зависимости (рисунок Б.1, а):

$$R_R = \frac{R_{(l)} \cdot K_p}{K_{p(l)}}, \qquad (Б.1)$$

где R_R – растягивающее усилие на 1 пог. м материала, кН/м;

K_p – количество ребер на 1 пог. м материала;

$K_{p(l)}$ – количество ребер по ширине b испытываемого образца;

$R_{(l)}$ – усилие по направлению растяжения, кН.

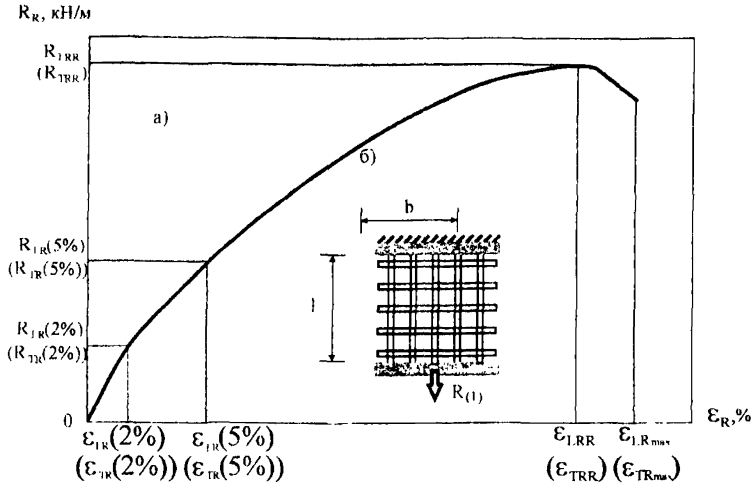


Рисунок Б.1. Испытания по «схеме 1»

$$\varepsilon_R = \frac{l_1 - l_0}{l_0}, \qquad (Б.2)$$

где ε_R – относительная деформация образца (l_0 – начальная длина образца, l_1 – длина образца после приложения нагрузки $R_{(1)}$), отн. ед. или %.

Оцениваемые параметры свойств:

R_{LR} (R_{TR}) – прочность при кратковременном растяжении в направлении длины (ширины) материала – максимальное зафиксированное в испытаниях значение R_R, кН/м;

ε_{LRRmax} (ε_{TRRmax}) – относительная деформация при разрыве, %;

ε_{LRR} (ε_{TRR}) – относительная деформация при максимальном растягивающем усилии;

$R_{LR}(\varepsilon)$ и $R_{TR}(\varepsilon)$ – усилие R_R в направлении длины или ширины материала при определенной деформации ε (определяется при деформации 2 %, 5 % или дополнительно при другом технически обоснованном значении ε);

$E'_{LR}(\varepsilon)$ – условный показатель деформативности в направлении длины материала (оценивается при значении $\varepsilon = 2\%$ или при другом технически обоснованном значении).

$$E'_{LR}(\varepsilon) = \frac{R_{LR}(\varepsilon)}{\varepsilon}. \qquad (Б.3)$$

$E''_{LR} = E'_{LR} / t_{LR}$, МПа (условное значение модуля упругости в направлении длины материала, t_{LR} – толщина ребра);

$E'''_{LR} = E' / (F_{LR} K_{LR})$, МПа (условное значение модуля упругости для ребра материала в направлении его длины, F_{LR} – площадь поперечного сечения ребра, K_{LR} – число ребер, отнесенное на единицу длины материала);

$E'''_{LR} F_{LR} = E' / K_{LR}$, Н (условный показатель жесткости материала).

Показатели E'_{TR}, E''_{TR}, E'''_{TR} в направлении ширины материала определяются аналогично.

При текущем контроле производителя могут оцениваться только показатели R_{LR} (R_{TR}) и ε_{LRmax} (ε_{TRmax}).

Б.2 Метод испытаний на диагональное растяжение (метод РосдорНИИ, испытания по «схеме 2»)

Сущность метода – по п. Б.1. Схема испытаний – по рисунку Б.2,б.

Применяемые образцы – ячейка геосетки, закрепляемая в зажимах (при размере ячейки менее 35 мм испытывается большее количество ячеек, расстояние между зажимами при закреплении образца – не менее 50 мм).

Применяемое оборудование – по п. Б.1.

Результирующая зависимость представлена на рисунке Б.2, а.

Обозначения в результирующей зависимости (рисунок Б.2):

R_j – усилие при растяжении, кН;

$R_{j\,(max)}$ – максимальное усилие при растяжении, кН;

ε - см. п. Б.1 при l по рисунку Б.2, б (l_0 – диагональ ячейки).

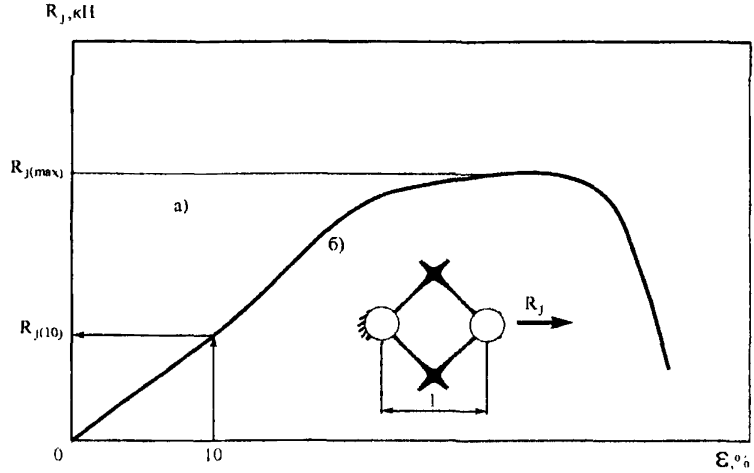


Рисунок Б.2. Испытания по «схеме 2»

Оцениваемые параметры свойств:

- относительная прочность узлов:

$$R_{jR} = \frac{R_{j(\max)} \cdot K_{LR}}{R_{LR}} \quad \text{или} \quad R_{jR} = \frac{R_{j(\max)} \cdot K_{TR}}{R_{TR}}, \qquad (Б.4)$$

- условный показатель деформативности в плоскости материала:

$$G_{LR} = \frac{R_{j(10)} \cdot K_{LR}}{R_{LR(10)}} \quad \text{или} \quad G_{TR} = \frac{R_{j(10)} \cdot K_{TR}}{R_{TR(10)}}, \qquad (Б.5)$$

где K_{LR}, K_{TR} – по п. Б.1;

$R_{LR(10)}$, $R_{TR(10)}$ – усилие в образце, отнесенное к ширине образца при испытаниях по «схеме 1», возникающее при относительной деформации 10 %.

Принимается минимальное из значений R_{jR} и G_{LR}. Метод может не применяться при текущем контроле производителя.

Б.3 Метод испытаний по оценке показателя сопротивляемости местным повреждениям (испытания по «схеме 3»)

Сущность метода испытаний состоит в моделировании в лабораторных условиях технологических воздействий на образец материала, заключенный между слоем крупнофракционного материала (слой 1 на рисунке Б.3) и слоем песка (слой 2 на рисунке Б.3). Испытания выполняются в соответствии с вышеуказанной методикой Приложения Г [2.16].

Методика оценки показателя сопротивляемости местным повреждениям состоит в следующем:

- в лабораторных условиях в жесткой обойме создают трехслойную модель, верхний слой которой – крупнофракционированный материал, средний – образец георешетки, нижний – грунт. Размер фракций и толщина материала верхнего слоя, вид и состояние (плотность, влажность грунта нижнего слоя) должны отвечать конкретным условиям строительства. Стандартные испытания предусматривают использование гранитного щебня фракций 20-40 мм в качестве материала верхнего слоя и мелкозернистого песка с коэффициентом уплотнения 0,86-0,88 в качестве материала нижнего слоя. Толщина верхнего слоя – не менее 1,5 размеров наиболее крупной фракции, толщина нижнего слоя – не менее 10 см. Размер обоймы – не менее 10х20 см, но более 3-х размеров наиболее крупной фракции, размер образца георешетки – не менее 20×20 см для оценки прочности;

- через штамп размером более 5×10 см, установленный на поверхности модели, прикладывают нагрузку (P), создающую давление 1,5 МПа. Общее количество циклов нагружения – 60 с выдержкой расчетной нагрузки в течение 30 с и последующей разгрузкой;

- образец георешетки извлекают из модели и визуально оценивают степень его повреждения. При отсутствии явно выраженных нарушений структуры образцы испытывают по методу Б.1;

- оцениваемые параметры (P_{LR} и P_{TR} по рисунку Б.3) и параметр ΔE:

$$\Delta E = E'_R(\varepsilon) / E'_{RC}(\varepsilon), \qquad (Б.6)$$

где $E'_R(\varepsilon)$ – см. Б.1;

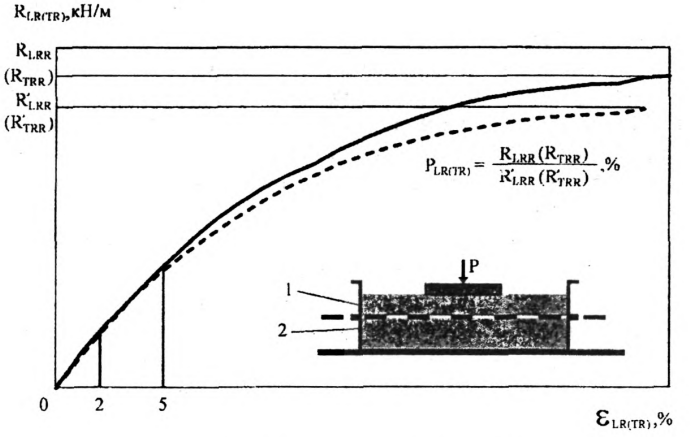


Рисунок Б.3. Испытания по «схеме 3»

$E'_{RC}(\varepsilon)$ – условный показатель деформативности после испытаний по методу Б.1 образца, извлеченного из обоймы после испытаний по «схеме 3» (значения $\varepsilon = 2\%, 5\%$).

Примеры расчета армированных дорожных одежд

В.1 Исходные данные для расчета

1 Категория дороги –III;

2 Дорожно-климатическая зона – II;

3 Расчетный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$ = 16 лет;

4 Заданная надежность $K_н$=0,95;

5 Тип нагрузки – A_1 (нагрузка на одиночную ось F=100 кН, P=0,6 МПа);

6 Интенсивность движения на конец срока службы N_p =3200 авт./сут; приращение интенсивности движения q=1,02 ;

7 Грунт рабочего слоя земляного полотна – песок пылеватый, $E_{гр}$ = 48 МПа (W/W_T=0,90), c=0,003 МПа, φ = 8°, $\varphi_{ст}$ = 33°;

8 Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;

9 Материалы искусственного основания: несущий слой - щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм, М 1000 I класса прочности по ГОСТ 8267-93*, дополнительный слой - песок средней крупности по ГОСТ 8736-93*.

В.2 Расчет неармированной дорожной конструкции (в соответствии с ОДН 218.046-01 [2.15])

В.2.1 Вычисляется суммарное количество приложений расчетных нагрузок за срок службы по формуле (3.7) [2.15]:

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} \cdot T_{рдг} \cdot k_n =$$

$$= 0,7 \cdot 3200 \cdot \frac{18,64}{1,04^{15}} \cdot 125 \cdot 1,38 = 5351355 \text{ авт.},$$

где K_c = 18,64; $T_{рдг}$ = 125 дней; K_n = 1,38.

В.2.2 Предварительно назначается следующая конструкция дорожной одежды: покрытие – 2 слоя асфальтобетона; верхний слой искусственного основания – фракционированный гранитный щебень фракции 20÷40 мм, укладываемый по методу заклинки; нижний слой искусственного основания – песок средней крупности.

Материал слоя	h, см	Модуль упругости E, МПа, при расчете		Расчет монолитных слоев на растяжение при изгибе			
		по допустимому упругому прогибу	по сдвигоустойчивости	E, МПа	R_o, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме марки БНД 60/90	7	3200	1800	4500	9,8	5,2	5,5
Асфальтобетон пористый на битуме марки БНД 60/90	12	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
Щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм	28	350	350	350	-	-	-
Песок средней крупности	55	120	120	120	-	-	-

В.2.3 Требуемые коэффициенты прочности проектируемой дорожной одежды, соответствующие коэффициенту надежности 0,95 для дороги III категории:

- по допустимому упругому прогибу $K_{пр}^{тр} = 1{,}17$;

- по сдвигоустойчивости грунта и слабосвязных слоев $K_{пр}^{тр} = 1{,}00$;

- по усталостному разрушению монолитных материалов от растяжения при изгибе $K_{пр}^{тр} = 1{,}0$.

В.2.4 Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет ведется послойно, начиная с подстилающего грунта ($E_{гр}$=48 МПа).

Общий модуль упругости на поверхности слоя песка:

$$E_{общ}^{пес} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}1\frac{0{,}55}{0{,}37}\left(1 - \sqrt[3]{48/120}\right)\right]\cdot 120}{0{,}71\cdot\sqrt[3]{\frac{48}{120}}arctg\left(\frac{1{,}35\cdot 0{,}821}{0{,}37}\right)+\frac{120}{48}\cdot\frac{2}{3{,}1416}arctg\frac{0{,}37}{0{,}821}} \approx 91{,}33 \text{ МПа};$$

$$h_э = 2 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2 \cdot 0{,}55 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{6 \cdot 48}} \approx 0{,}821 \text{ м.}$$

Общий модуль упругости на поверхности слоя щебня:

$$E_{общ}^{щеб} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}1\frac{0{,}28}{0{,}37}\left(1 - \sqrt[3]{91{,}33/350}\right)\right] \cdot 350}{0{,}71 \cdot \sqrt[3]{\frac{91{,}33}{350}} arctg\left(\frac{1{,}35 \cdot 0{,}482}{0{,}37}\right) + \frac{350}{91{,}33} \cdot \frac{2}{3{,}1416} arctg\frac{0{,}37}{0{,}482}} \approx 172{,}23 \text{ МПа;}$$

$$h_э = 2 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2 \cdot 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{\frac{350}{6 \cdot 91{,}33}} \approx 0{,}482 \text{ м.}$$

Общий модуль упругости на поверхности нижнего слоя асфальтобетона:

$$E_{общ}^{а.б.н.} = \frac{192{,}28}{1 - \frac{2}{3{,}1416}\left[1 - \left(\frac{192{,}28}{2000}\right)^{\frac{4}{3}}\right] arctg\left[1{,}1\left(\frac{2000}{192{,}28}\right)^{\frac{1}{3}}\frac{0{,}12}{0{,}37}\right]} \approx 321{,}30 \text{ МПа;}$$

$$E_{общ}^{а.б.н} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}1\frac{0{,}12}{0{,}37}\left(1 - \sqrt[3]{172{,}23/2000}\right)\right] \cdot 2000}{0{,}71 \cdot \sqrt[3]{\frac{172{,}23}{2000}} arctg\left(\frac{1{,}35 \cdot 0{,}299}{0{,}37}\right) + \frac{2000}{172{,}23} \cdot \frac{2}{3{,}1416} arctg\frac{0{,}37}{0{,}299}} \approx 300{,}87 \text{ МПа;}$$

$$h_э = 2 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2 \cdot 0{,}12 \cdot \sqrt[3]{\frac{2000}{6 \cdot 172{,}23}} \approx 0{,}299 \text{ м.}$$

Общий модуль упругости на поверхности покрытия:

$$E_{общ} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}1\frac{0{,}07}{0{,}37}\left(1 - \sqrt[3]{300{,}87/3200}\right)\right] \cdot 3200}{0{,}71 \cdot \sqrt[3]{\frac{300{,}87}{3200}} arctg\left(\frac{1{,}35 \cdot 0{,}169}{0{,}37}\right) + \frac{3200}{300{,}87} \cdot \frac{2}{3{,}1416} arctg\frac{0{,}37}{0{,}169}} \approx 420{,}3 \text{ МПа;}$$

$$h_э = 2 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2 \cdot 0{,}07 \cdot \sqrt[3]{\frac{3200}{6 \cdot 300{,}87}} \approx 0{,}169 \text{ м}.$$

Таким образом, $E_{общ} \approx 420{,}3$ МПа.

Минимальный требуемый модуль упругости определяется по формуле (3.10) [2.15]:

$$E_{min} = 98{,}65 \cdot \left[\lg\left(\sum N_p\right) - c\right] =$$
$$\approx 98{,}65 \cdot \left[\lg(5351355) - 3{,}55\right] = 313{,}56 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\frac{E_{общ}}{E_{min}} = \frac{420{,}3}{313{,}56} \approx 1{,}34 > K_{пр}^{тр} = 1{,}17.$$

Условие прочности выполнено.

В.2.5 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости грунта

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]:

$$T = \bar{\tau} \cdot p.$$

Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели. В качестве ее нижнего слоя принимается грунт (песок пылеватый) со следующими характеристиками ($\sum N_p = 5351355$ авт.):

$E_н = 48$ МПа; $\varphi = 8°$; $c = 0{,}003$ МПа (табл. П 2.4 и П 2.5 [2.15]).

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 425{,}49$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{425{,}49}{48} = 8{,}86$ и $\frac{h_в}{D} = \frac{1{,}02}{0{,}37} = 2{,}75$ и при $\varphi = 8°$ с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0{,}01088$, тогда $T = 0{,}01088 \cdot 0{,}6 = 0{,}00653$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя:

$T_{пр} = 1{,}0 \cdot (0{,}003 + 0{,}1 \cdot 0{,}00183 \cdot 102 \cdot tg33°) = 0{,}01515$ МПа.

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости грунта:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,01515}{0,00653} \approx 2,32 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Условие прочности выполнено.

В.2.6 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости слоя песка

Действующие в слое песка активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]. Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваются следующие характеристики:

$E_{общ}^{пес} = 105,09$ МПа (общий модуль упругости на поверхности песчаного слоя),

$$E_{общ}^{пес} = \frac{\left[1,05 - 0,1\frac{0,55}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{48/120}\right)\right] \cdot 120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{48}{120}} arctg\left(\frac{1.35 \cdot 0,821}{0,37}\right) + \frac{120}{48} \cdot \frac{2}{3,1416} arctg\frac{0,37}{0,821}} \approx 91,33 \text{ МПа};$$

$\varphi = 27°$; $c = 0,002$ МПа.

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 782,98$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{782,98}{91,33} \approx 8,57$, $\frac{h_в}{D} = \frac{0,47}{0,37} = 1,27$ и при $\varphi = 27°$ с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0,0234$, тогда $T = 0,0234 \cdot 0,6 = 0,01405$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в слое песка:

$T_{пр} = 2,0 \cdot (0,002 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 47 \cdot tg32°) = 0,01570$ МПа.

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости слоя песка:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,01570}{0,01405} \approx 1,12 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Условие прочности выполнено.

В.2.7 Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Расчет выполняется в следующем порядке:

а) Конструкция приводится к двухслойной модели, в которой нижний слой – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. слои основания и грунт рабочего слоя. Модуль нижнего слоя определяется как общий модуль слоев основания и грунта рабочего слоя.

Общий модуль упругости нижнего слоя $E_{общ}^{щеб.} = 172,23$ МПа.

К верхнему слою относятся все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя $E_1 = \frac{4500 \cdot 7 + 2800 \cdot 12}{7+12} \approx 3426,32$ МПа.

б) По отношениям $\frac{h_1}{D} = \frac{0,19}{0,37} = 0,51$ и $\frac{E_1}{E_{общ}^{щеб}} = \frac{3426,32}{172,23} \approx 19,89$

определяется $\bar{\sigma}_r = 1,61718$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляется по формуле (3.16) [2.15]:

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot k_в = 1,61718 \cdot 0,6 \cdot 0,85 \approx 0,825 \text{ МПа}.$$

в) Рассчитывается предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17) [2.15]:

при $R_0 = 8,0$ МПа; $\upsilon_R = 0,1$; $t = 1,71$; $\alpha = 5,9$; $m = 4,3$;

$$k_1 = \frac{\alpha}{(\sum N_p)^{\frac{1}{m}}} = \frac{5,9}{5351355^{\frac{1}{4,3}}} \approx 0,161;$$

$k_2 = 0,8$ (таблица 3.6 [57]);

$R_N = 8,0 \cdot 0,161 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) \approx 0,853$ МПа.

Проверка выполнения условия прочности по сопротивлению монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе:

$$\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,853}{0,825} \approx 1,03 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

В.2.8 Коэффициенты прочности по критериям сдвига в слое песка и усталостному разрушению монолитного слоя от растяжения

при изгибе имеют наименьшие значения, значит уменьшение толщины любого слоя дорожной одежды приведет к невыполнению, в первую очередь, данных критериев прочности.

В.3 Расчет армированной дорожной конструкции в соответствии с подразделом 6.2 настоящих Рекомендаций

В.3.1 Исходные данные те же (по п. В.1). Требуется запроектировать дорожную одежду с учетом того, что слой щебня армируется георешеткой Славрос СД-20.

Предварительно назначается следующая конструкция дорожной одежды: покрытие – 2 слоя асфальтобетона; верхний слой искусственного основания – фракционированный гранитный щебень фракции 20÷40 мм, георешетка Славрос СД-20, нижний слой искусственного основания – песок средней крупности. При этом снижаем толщину слоя щебня с 28 см до 18 см.

Материал слоя	h, см	Модуль упругости E, МПа, при расчете		Расчет монолитных слоев на растяжение при изгибе			
		по допустимому упругому прогибу	по сдвигоустойчивости	E, МПа	R_a, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме марки БНД 60/90	7	3200	1800	4500	9,8	5,2	5,5
Асфальтобетон пористый на битуме марки БНД 60/90	12	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
Щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм Георешетка Славрос СД-20	18	350	350	350	-	-	-
Песок средней крупности	55	120	120	120	-	-	-

В.3.2 Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет ведется послойно, начиная с подстилающего грунта.

Общий модуль упругости неармированной конструкции составит $E_{общ.}$=371,05 МПа.

Армирование слоя щебня георешеткой Славрос СД-20 увеличивает общий модуль упругости дорожной конструкции (п. 6.2.3):

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

где α_1 - коэффициент увеличения общего модуля упругости дорожной конструкции, принимаемый в соответствии с выражением (6.3):

$$\alpha_1 = (0,4681 + 0,297014 \cdot \frac{0,19}{0,37} + 0,317073 \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,0000587499 \cdot \frac{2442,1}{1100} +$$

$$+0,578882 \cdot \frac{350}{1100} + 0,241811 \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0419037 \cdot (\frac{0,19}{0,37})^2 - 0,128847 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,00714644 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{2442,1}{1100} - 0,192632 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} +$$

$$+0,0805874 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0504734 \cdot (\frac{0,18}{0,37})^2 - 0,00411185 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{2442,1}{1100} - 0,193294 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} + 0,180797 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} +$$

$$+0,000800262 \cdot (\frac{2442,1}{1100})^2 - 0,0049009 \cdot \frac{2442,1}{1100} \cdot \frac{350}{1100} - 0,0115489 \cdot$$

$$\cdot \frac{2442,1}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,11354 \cdot (\frac{350}{1100})^2 - 0,239919 \cdot \frac{350}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} -$$

$$-1,28997 \cdot (\frac{91,33}{1100})^2)^{-1} \approx 1,179,$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D} = \frac{0,07+0,12}{0,37} = \frac{0,19}{0,37} \approx 0,5135;$

$X_2 = \frac{h_2}{D} = \frac{0,18}{0,37} \approx 0,486;$

$X_3 = \frac{E_1}{E_4} = \frac{2442,1}{1100} = 2,22;$ $E_1 = \frac{3200 \cdot 0,07 + 2000 \cdot 0,12}{0,07+0,12} = 2442,1$ МПа;

$$X_4 = \frac{E_2}{E_4} = \frac{350}{1100} = 0,318;\ E_2 = 350 \text{ МПа};$$

$$X_5 = \frac{E_3}{E_4} = \frac{91,33}{1100} = 0,083;$$

$$E_3 = \frac{\left[1,05 - 0,1\frac{0,55}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{48/120}\right)\right]\cdot 120}{0,71\cdot\sqrt[3]{\frac{48}{120}}\operatorname{arctg}\left(\frac{1,35\cdot 0,821}{0,37}\right) + \frac{120}{48}\cdot\frac{2}{3,1416}\operatorname{arctg}\frac{0,37}{0,821}} \approx 91,33 \text{ МПа};$$

$E_4 = 1100$ МПа – для георешетки Славрос СД-20 (таблица Д 7);

a_0, a_1 , a_2, a_3, a_4, a_5, a_{11}, a_{12},a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{22}, a_{23}, a_{24},a_{25}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{44}, a_{45}, a_{55} – коэффициенты уравнения, принимаемые по таблице Д 1.

Таким образом, общий модуль упругости армированной дорожной конструкции равен:

$$E_{общ}^{арм} = 1,179\cdot 371,05 \approx 437,47 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения критерия прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}^{арм}}{E_{тп}} = \frac{437,47}{313,56} \approx 1,39 > K_{пр}^{тр} = 1,17 .$$

Условие прочности выполнено.

В.3.3 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости грунта

Расчет аналогичен расчету п. В.2.5 (повторяется для пониженной толщины слоя щебня).

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 433,70$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{433,70}{48} \approx 9,04$ и $\frac{h_в}{D} = \frac{0,92}{0,37} \approx 2,48$ и при $\varphi = 8°$ с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\overline{\tau} \approx 0,01255$, тогда $T = 0,01255\cdot 0,6 = 0,00753$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя:

$$T_{пр} = 1,0 \cdot (0,003 + 0,1 \cdot 0,00184 \cdot 92 \cdot tg33^{\circ}) = 0,01398 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости грунта:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,01398}{0,00753} \approx 1,86 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Условие прочности выполнено.

В.3.4 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости в слое песка

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]. Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваются следующие характеристики:

$E_{общ}^{пес} = 91,33$ МПа, $\varphi = 27°$; $c = 0,002$ МПа.

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 900$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{900}{91,33} \approx 9,85$, $\frac{h_в}{D} = \frac{0,37}{0,37} = 1,00$ и при $\varphi = 27°$ с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0,03098$, тогда $T = 0,03098 \cdot 0,6 \approx 0,01859$ МПа.

При армировании щебня георешеткой Славрос СД-20 при динамическом воздействии нагрузки величина активных напряжений сдвига в слое песка уменьшится в $\alpha_з$ раз, т.е.:

$$T_{арм} = \frac{T}{\alpha_з}$$

$$\alpha_3 = (0,1662 + 0,210088 \cdot \frac{0,19}{0,37} - 0,0240998 \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,0275483 \cdot \frac{1421}{1100} +$$

$$+0,818599 \cdot \frac{350}{1100} + 3,50651 \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0345604 \cdot (\frac{0,19}{0,37})^2 - 0,119921 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,0409921 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{1421}{1100} - 0,126417 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} - 0,189857 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} + 0,0408667 \cdot (\frac{0,18}{0,37})^2 - 0,0241598 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{1421}{1100} + 0,109206 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} - 0,365858 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} + 0,000547502 \cdot (\frac{1421}{1100})^2 -$$

$$-0,0346087 \cdot \frac{1421}{1100} \cdot \frac{350}{1100} + 0,0039205 \cdot \frac{1421}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0979648 \cdot (\frac{350}{1100})^2 -$$

$$-2,87724 \cdot \frac{350}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} - 3,51928 \cdot (\frac{91,33}{1100})^2)^{-1} \approx 1,465,$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D} = \frac{0,07 + 0,12}{0,37} = \frac{0,19}{0,37} \approx 0,5135;$

$X_2 = \frac{h_2}{D} = \frac{0,18}{0,37} \approx 0,486;$

$X_3 = \frac{E_1}{E_4} = \frac{1421}{1100} = 1,29;$ $E_1 = \frac{1800 \cdot 0,07 + 1200 \cdot 0,12}{0,07 + 0,12} = 1421$ МПа;

$X_4 = \frac{E_2}{E_4} = \frac{350}{1100} = 0,318;$

$X_5 = \frac{E_3}{E_4} = \frac{91,33}{1100} \approx 0,083;$

$$E_3 = \frac{\left[1,05 - 0,1\frac{0,55}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{48/120}\right)\right] \cdot 120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{48}{120}} arctg\left(\frac{1,35 \cdot 0,821}{0,37}\right) + \frac{120}{48} \cdot \frac{2}{3,1416} arctg \frac{0,37}{0,821}} \approx 91,33 \text{ МПа};$$

$E_4 = 1100$ МПа – для георешетки Славрос СД-20;

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{25}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{44}, a_{45}, a_{55} - коэффициенты уравнения при $\varphi = 27°$, принимаемые по таблице Д 3.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в слое песка:

$$T_{пр} = 2,0 \cdot (0,002 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 37 \cdot tg32°) = 0,01345 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости слоя песка:

$$\frac{\frac{T_{пр}}{T}}{\alpha_3} = \frac{\frac{0,01345}{0,01859}}{1,465} = \frac{0,01345}{0,01269} \approx 1,06 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Условие прочности выполнено.

В.3.5 Расчет армированной конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Расчет выполняется в следующем порядке:

а) Конструкция приводится к двухслойной модели, в которой нижний слой – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. слои основания и грунт рабочего слоя. Модуль нижнего слоя определяется как общий модуль слоев основания и грунта рабочего слоя.

Общий модуль упругости нижнего слоя $E_{осн.общ.арм.} = \alpha_2 \cdot E_{осн.общ.}$, где $E_{осн.общ.}$ - модуль упругости нижнего слоя без учета эффекта армирования несущего слоя основания георешеткой.

$$E_{осн.общ} = 143,48 \text{ МПа}.$$

$$\alpha_2 = (0,4631 + 0,260404 \cdot \frac{0,19}{0,37} + 0,31696 \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,00674461 \cdot \frac{2442,1}{1100} +$$

$$+0,587569 \cdot \frac{350}{1100} + 0,117273 \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0375468 \cdot (\frac{0,19}{0,37})^2 - 0,120848 \cdot$$

$$\cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{0,18}{0,37} + 0,0115589 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{2442,1}{1100} - 0,171093 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} +$$

$$+0,00483881 \cdot \frac{0,19}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0491358 \cdot (\frac{0,18}{0,37})^2 - 0,00540936 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{2442,1}{1100} -$$

$$-0,200493 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{350}{1100} + 0,221904 \cdot \frac{0,18}{0,37} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,0000961688 \cdot (\frac{2442,1}{1100})^2 -$$

$$-0,00977898 \cdot \frac{2442,1}{1100} \cdot \frac{350}{1100} + 0,00485237 \cdot \frac{2442,1}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} - 0,112294 \cdot (\frac{350}{1100})^2 -$$

$$-0,160675 \cdot \frac{350}{1100} \cdot \frac{91,33}{1100} - 1,19848 \cdot (\frac{91,33}{1100})^2)^{-1} \approx 1,194,$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D} = \frac{0,19}{0,37} = 0,5135;$

$X_2 = \frac{h_2}{D} = \frac{0,18}{0,37} \approx 0,486;$

$X_3 = \frac{E_1}{E_4} = \frac{2442,1}{1100} = 2,22;$

$E_1 = \frac{3200 \cdot 0,07 + 2000 \cdot 0,12}{0,07 + 0,12} = 2442,1$ МПа;

$X_4 = \frac{E_2}{E_4} = \frac{350}{1100} = 0,318;$ $E_2 = 350$ МПа;

$X_5 = \frac{E_3}{E_4} = \frac{91,33}{1100} \approx 0,083;$

$$E_3 = \frac{\left[1,05 - 0,1\frac{0,55}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{48/120}\right)\right] \cdot 120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{48}{120}}\operatorname{arctg}\left(\frac{1,35 \cdot 0,821}{0,37}\right) + \frac{120}{48} \cdot \frac{2}{3,1416}\operatorname{arctg}\frac{0,37}{0,821}} \approx 91,33\,\text{МПа};$$

$E_4 = 1100$ МПа – для георешетки Славрос СД-20 (табл. Д 7);

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{25}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{44}, a_{45}, a_{55} - коэффициенты уравнения, принимаемые по таблице Д 2.

Таким образом, общий модуль упругости основания армированной дорожной конструкции равен:

$$E_{общ\ арм} = 1,194 \cdot 143,48 = 171,31\ \text{МПа}.$$

К верхнему слою относятся все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя $E_1 = 3426,32$ МПа.

б) По отношениям $\frac{h_1}{D} = \frac{0,19}{0,37} = 0,51$ и

$\frac{E_{покр}}{E_{осн\ общ\ арм}} = \frac{3426,32}{171,31} = 20,00$ определяется $\bar{\sigma}_r \approx 1,619$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляется по формуле:

$$\sigma_r^{apm} = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot k_в = 1,619 \cdot 0,6 \cdot 0,85 \approx 0,826 \text{ МПа}.$$

в) Рассчитывается предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17) [2.15]:

при $R_0 = 8,0$ МПа; $\upsilon_R = 0,1$; $t = 1,71$; $\alpha = 5,9$; $m = 4,3$;

$$k_1 = \frac{\alpha}{(\sum N_p)^{\frac{1}{m}}} = \frac{5,9}{5351355^{\frac{1}{4,3}}} \approx 0,161;$$

(таблица 3.6 [2.15]);

$k_2 = 0,8$ (таблица 3.6 [2.15]);

$R_N = 8,0 \cdot 0,161 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) \approx 0,853$ МПа.

Проверка выполнения условия прочности по сопротивлению монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе:

$$\frac{R_N}{\sigma_r^{apm.}} = \frac{0,853}{0,826} \approx 1,03 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Условие прочности выполнено.

В.3.6 Таким образом, армирование слоя щебня георешеткой в данном случае позволило снизить толщину щебня с 28 см до 18 см, т.е. примерно на 36 %. Конструкция дорожной одежды должна отвечать требованиям по морозоустойчивости.

В.4 Исходные данные для расчета

1 Категория дороги – IV;

2 Дорожно-климатическая зона – II, Московская обл.;

3 Расчетный срок службы дорожной одежды $T_{сл} = 5$ лет;

4 Заданная надежность $K_н$=0,80;

5 Тип нагрузки – A_1 (нагрузка на одиночную ось F=100 кН, $P = 0,6$ МПа);

6 Интенсивность движения на конец срока службы $N_p = 200$ авт/сут; приращение интенсивности движения q=1,01;

7 Грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий, $E_{гр} = 34$ МПа ($W/W_т = 0,75$), c=0,005 МПа, $\varphi = 5°$, $\varphi_{ст} = 15°$;

8 Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;

9 Материалы искусственного основания: несущий слой – щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм, М 1000 I класса прочности по ГОСТ 8267-93*, дополнительный слой – песок средней крупности по ГОСТ 8736-93*.

В.4.1 Расчет неармированной дорожной конструкции (в соответствии с ОДН 218.046-01 [2.15]

В.4.1 Вычисляется суммарное количество приложений расчетных нагрузок за срок службы по формуле (3.7) [2.15]:

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} \cdot T_{рдг} \cdot k_n = 0,7 \cdot 205 \cdot \frac{5,10}{1,01^4} \cdot 125 \cdot 1,16 \approx 101997 \text{ авт.},$$

где K_c=5,10; $T_{рдг}$=125 дней; $k_п$=1,16 .

В.4.2 Предварительно назначается следующая конструкция дорожной одежды: покрытие – ЩГПС оптимального состава, обработанная органическим вяжущим; верхний слой искусственного основания – фракционированный гранитный щебень фракции 20÷40 мм, укладываемый по методу заклинки; нижний слой искусственного основания – песок средней крупности.

Материал слоя	*h*, см	Модуль упругости *E*, МПа, при расчете	
		по допустимому упругому прогибу	по сдвигоустойчивости
ЩГПС оптимального состава, обработанная органическим вяжущим	10	450	450
Щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм, устроенный с заклинкой мелким щебнем	38	350	350
Песок средней крупности	40	120	120

В.4.3 Требуемые коэффициенты прочности проектируемой дорожной одежды, соответствующие коэффициенту надежности 0,80 для дороги IV категории:

- по допустимому упругому прогибу $K_{пр}^{тр} = 1,02$;

- по сдвигоустойчивости грунта и слабосвязных слоев $K_{пр}^{тр} = 0,87$.

В.4.4 Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет ведется послойно, начиная с подстилающего грунта ($E_{гр}$=34 МПа).

Общий модуль упругости на поверхности слоя песка:

$$E_{общ}^{пес} = \frac{\left[1,05-0,1\frac{0,40}{0,37}\left(1-\sqrt[3]{34/120}\right)\right]\cdot 120}{0,71\cdot\sqrt[3]{\frac{34}{120}}arctg\left(\frac{1,35\cdot 0,67}{0,37}\right)+\frac{120}{34}\cdot\frac{2}{3,1416}arctg\frac{0,37}{0,67}} \approx 72,03 \text{ МПа};$$

$$h_э = 2\cdot h\cdot\sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2\cdot 0,40\cdot\sqrt[3]{\frac{120}{6\cdot 34}} \approx 0,67\text{м}.$$

Общий модуль упругости на поверхности слоя щебня:

$$E_{общ}^{щеб} = \frac{\left[1,05-0,1\frac{0,38}{0,37}\left(1-\sqrt[3]{72,03/350}\right)\right]\cdot 350}{0,71\cdot\sqrt[3]{\frac{72,03}{350}}arctg\left(\frac{1,35\cdot 0,708}{0,37}\right)+\frac{350}{72,03}\cdot\frac{2}{3,1416}arctg\frac{0,37}{0,708}} \approx 176,69 \text{ МПа};$$

$$h_э = 2\cdot h\cdot\sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2\cdot 0,38\cdot\sqrt[3]{\frac{350}{6\cdot 72,03}} \approx 0,708 \text{ м}.$$

Общий модуль упругости на поверхности покрытия:

$$E_{общ} = \frac{\left[1,05-0,1\frac{0,10}{0,37}\left(1-\sqrt[3]{183,85/450}\right)\right]\cdot 450}{0,71\cdot\sqrt[3]{\frac{176,69}{450}}arctg\left(\frac{1,35\cdot 0,15}{0,37}\right)+\frac{450}{176,69}\cdot\frac{2}{3,1416}arctg\frac{0,37}{0,15}} \approx 214,93 \text{ МПа};$$

$$h_э = 2\cdot h\cdot\sqrt[3]{\frac{E_в}{6E_н}} = 2\cdot 0,10\cdot\sqrt[3]{\frac{450}{6\cdot 176,69}} \approx 0,15 \text{ м}.$$

Таким образом, $E_{общ}$ = 214,93 МПа.

Требуемый модуль упругости определяется по формуле (3.10) [2.15]:

$$E_{min} = 98,65\cdot\left[\lg\left(\sum N_p\right)-c\right] = 98,65\cdot\left[\lg(101997)-3,55\right] \approx 143,89 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\frac{E_{общ}}{E_{min}} = \frac{214,93}{143,89} \approx 1,494 > K_{пр}^{тр} = 1,02.$$

Условие прочности выполнено.

В.4.5 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости грунта

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]:

$$T = \bar{\tau} \cdot p.$$

Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели. В качестве ее нижнего слоя принимается грунт (суглинок легкий) со следующими характеристиками ($\sum N_p = 101997$ авт.):

$E_н$ = 34 МПа; φ = 5°; с = 0,005 МПа (таблица П. 2.4 и П. 2.5 [2.15]).

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 256,82$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{256,82}{34} \approx 7,55$ и $\frac{h_в}{D} = \frac{0,88}{0,37} \approx 2,37$ и при φ = 5° с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0,0164$, тогда $T = 0,0164 \cdot 0,6 \approx 0,00984$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя:

$$T_{пр} = 1,0 \cdot (0,005 + 0,1 \cdot 0,00175 \cdot 88 \cdot tg15°) = 0,00914 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости грунта:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,00914}{0,00984} \approx 0,93 > K_{пр}^{тр} = 0,87.$$

Условие прочности выполнено.

В.4.6 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости слоя песка

Действующие в слое песка активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]. Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваются следующие характеристики:

$E_{общ}^{пес} = 72{,}03$ МПа, $\varphi = 28°$; $c = 0{,}003$ МПа.

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 370{,}83$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{370{,}83}{72{,}03} \approx 5{,}15$, $\frac{h_в}{D} = \frac{0{,}48}{0{,}37} \approx 1{,}29$ и при $\varphi = 28°$ с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0{,}0307$, тогда $T = 0{,}0307 \cdot 0{,}6 \approx 0{,}01842$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в слое песка:

$$T_{пр} = 2{,}0 \cdot (0{,}003 + 0{,}1 \cdot 0{,}0018 \cdot 48 \cdot tg32°) = 0{,}01680 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости слоя песка:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0{,}01680}{0{,}01842} \approx 0{,}91 > K_{пр}^{тр} = 0{,}87.$$

Условие прочности выполнено.

В.5 Расчет армированной дорожной конструкции в соответствии с подразделом 6.2 настоящих Рекомендаций

В.5.1 Исходные данные те же (по п. В.4). Требуется запроектировать дорожную одежду с учетом того, что слой щебня армируется георешеткой Славрос СД-30.

Предварительно назначается следующая конструкция дорожной одежды: покрытие – ЩГПС оптимального состава, обработанная органическим вяжущим; верхний слой искусственного основания – фракционированный гранитный щебень фракции 20+40 мм, укладываемый по методу заклинки, георешетка Славрос

СД-30, нижний слой искусственного основания – песок средней крупности. При этом снижаем толщину слоя щебня с 38 см до 28 см и увеличиваем толщину песка с 40 до 50 см.

Материал слоя	h, см	Модуль упругости E, МПа, при расчете	
		по допустимому упругому прогибу	по сдвигоустойчивости
ЩГПС оптимального состава, обработанная органическим вяжущим	10	450	450
Щебень изверженных пород фр. 20÷40 мм с заклинкой мелким щебнем Георешетка Славрос СД-30	25	450	450
Песок средней крупности	40	120	120

В.5.2 Расчет по допускаемому упругому прогибу

Расчет ведется послойно, начиная с подстилающего грунта.

Общий модуль упругости неармированной конструкции составит $E_{общ} = 197,54$ МПа.

Армирование слоя щебня георешеткой Славрос СД-30 увеличивает общий модуль упругости дорожной конструкции (п. 6.2.6):

$$E_{общ}^{арм} = \alpha_5 \cdot E_{общ},$$

где α_5 – коэффициент увеличения общего модуля упругости дорожной конструкции, принимаемый в соответствии с выражением (6.19):

$$\alpha_5 = (0,29605 + 0,532388 \cdot \frac{0,38}{0,37} + 1,15677 \cdot \frac{79,14}{1550} + 0,994127 \cdot \frac{376,3}{1550} -$$

$$-0,120644 \cdot (\frac{0,38}{0,37})^2 + 0,132781 \cdot \frac{0,38}{0,37} \cdot \frac{79,14}{1550} - 0,046102 \cdot \frac{0,38}{0,37} \cdot \frac{376,3}{1550} -$$

$$-7,56537 \cdot (\frac{79,14}{1550})^2 - 0,415504 \cdot \frac{79,14}{1550} \cdot \frac{376,3}{1550} -$$

$$-0,33236 \cdot (\frac{376,3}{1550})^2)^{-1} \approx 1,159,$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D} = \frac{0,10+0,28}{0,37} = \frac{0,38}{0,37} \approx 1,027;$

$$X_2 = \frac{E_2}{E_3} = \frac{79,14}{1550} \approx 0,0510;$$

$$E_2 = \frac{\left[1,05 - 0,1\frac{0,50}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{34/120}\right)\right] \cdot 120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{34}{120}} arctg\left(\frac{1,35 \cdot 0,15}{0,37}\right) + \frac{120}{34} \cdot \frac{2}{3,1416} arctg\frac{0,37}{0,15}} \approx 79,14 \text{ МПа};$$

$$h_э = 2 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_a}{6E_н}} = 2 \cdot 0,50 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{6 \cdot 34}} \approx 0,838 \text{ м};$$

$$X_3 = \frac{E_1}{E_3} = \frac{450}{1550} \approx 0,29;$$

$$E_1 = \frac{0,10 \cdot 450 + 0,28 \cdot 350}{0,10 + 0,28} \approx 376,3 \text{ МПа};$$

$E_3 = 1550$ МПа – для георешетки Славрос СД-30 (табл. Д 7);

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{33}$ - коэффициенты уравнения, принимаемые по таблице Д 5.

Таким образом, общий модуль упругости армированной дорожной конструкции равен:

$$E_{общ}^{арм} = 1,159 \cdot 197,54 \approx 228,95 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения критерия прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}^{арм}}{E_{min}} = \frac{228,95}{143,89} \approx 1,59 > K_{пр}^{тр} = 1,02.$$

Условие прочности выполнено.

В.5.3 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости грунта

Расчет аналогичен расчету п. В.4.5 (повторяется для пониженной толщины слоя щебня).

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_a = 230,68$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{230,68}{34} \approx 6,79$ и $\frac{h_в}{D} = \frac{0,88}{0,37} \approx 2,37$ и при φ = 5° с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} = 0,01753$, тогда $T = 0,01753 \cdot 0,6 = 0,01052$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя:

$$T_{пр} = 1,0 \cdot (0,005 + 0,1 \cdot 0,00174 \cdot 88 \cdot tg15°) = 0,00911 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости грунта:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,00911}{0,01052} \approx 0,87 \approx K_{пр}^{тр} = 0,87.$$

Условие прочности выполнено.

В.5.4 Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости слоя песка

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляются по формуле (3.13) [2.15]. Для определения $\bar{\tau}$ предварительно назначенная дорожная конструкция приводится к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваются следующие характеристики:

$E_{общ}^{пес} = 79,14$ МПа, $\varphi = 28°$; с = 0,003 МПа.

Средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя $E_в = 376,32$ МПа.

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{376,32}{75,83} \approx 4,75$, $\frac{h_в}{D} = \frac{0,38}{0,37} = 1,02$ и при φ = 28° с помощью номограммы рисунка 3.2 [2.15] находится единичное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau} \approx 0,0472$, тогда $T = 0,0472 \cdot 0,6 \approx 0,02833$ МПа.

При армировании щебня георешеткой Славрос СД-30 величина активных напряжений сдвига в слое песка при φ = 28° уменьшится в $\alpha_б$ раз, т.е.:

$$T_{арм} = \frac{T}{\alpha_б}.$$

$$\alpha_6 = (0,15578 + 0,0233484 \cdot \frac{0,38}{0,37} + 6,97356 \cdot \frac{79,14}{1550} + 0,791067 \cdot \frac{376,3}{1550} +$$

$$+0,00691001 \cdot (\frac{0,38}{0,37})^2 - 1,48185 \cdot \frac{0,38}{0,37} \cdot \frac{79,14}{1550} + 0,138595 \cdot \frac{0,38}{0,37} \cdot \frac{376,3}{1550} -$$

$$-12,3106 \cdot (\frac{79,14}{1550})^2 - 5,94808 \cdot \frac{79,14}{1550} \cdot \frac{376,3}{1550} - 0,00787868 \cdot (\frac{376,3}{1550}))^{-1} \approx 1,707,$$

где $X_1 = \frac{h_1}{D} = \frac{0,10 + 0,28}{0,37} = \frac{0,38}{0,37} \approx 1,02;$

$$X_2 = \frac{E_2}{E_3} = \frac{79,14}{1550} \approx 0,051;$$

$$E_2 = \frac{\left[1,05 - 0,1 \frac{0,50}{0,37}\left(1 - \sqrt[3]{34/120}\right)\right] \cdot 120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{34}{120}} arctg\left(\frac{1,35 \cdot 0,15}{0,37}\right) + \frac{120}{34} \cdot \frac{2}{3,1416} arctg \frac{0,37}{0,15}} \approx 79,14 \text{ МПа};$$

$E_3 = 1550$ МПа – для георешетки Славрос СД-30 (таблица Д 7);

$$X_3 = \frac{E_1}{E_3} = \frac{376,3}{1550} \approx 0,243;$$

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{22}, a_{23}, a_{33}$ – коэффициенты уравнения при $\varphi = 28°$, принимаемые по таблице Д 6.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в слое песка:

$$T_{пр} = 2,0 \cdot (0,003 + 0,1 \cdot 0,0018 \cdot 38 \cdot \text{tg}32°) = 0,01455 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности по сдвигоустойчивости слоя песка:

$$\frac{\frac{T_{пр}}{T}}{\alpha_6} = \frac{\frac{0,01455}{0,02833}}{1,707} = \frac{0,01455}{0,01660} \approx 0,87 \approx K_{пр}^{тр} = 0,87.$$

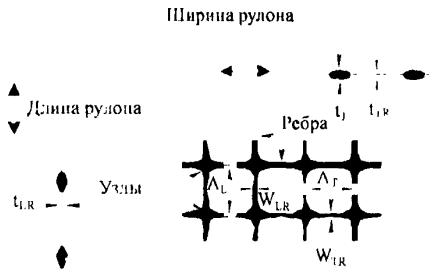
Условие прочности выполнено.

В.5.5 Таким образом, армирование слоя щебня георешеткой в данном случае позволило снизить толщину щебня с 38 см до 28 см. Конструкция дорожной одежды должна отвечать требованиям по морозоустойчивости.

Приложение Г

Характеристики разновидностей двухосных георешеток

Г.1 Принятые условные обозначения, характеризующие геометрические параметры



Г.2 Георешетки Славрос СД. Сырье – полипропилен. Производитель – ООО «НПО Протэкт», Россия (начало серийного производства – 2006 г.), СТО 218.3.003-2006.

Г.2.1 Основные геометрические размеры по СТО (возможно производство с другими геометрическими размерами)

Характеристики	Ед. изм.	Геосетка Славрос СД			
		20	30	40	45
Ширина рулона, не более	см	400	400	400	400
Длина рулона стандартная ±1%	м	50	50	30	30
Размер ячейки:					
A_T± 2 мм	мм	39	35	35	35
A_L± 2 мм	мм	39	35	35	35
Перекос ячеек	град.	±3	±3	±2	±2

Г.2.2 Основные физико-механические свойства

Условное обозначение геосетки	Нагрузка при растяжении, не менее, кН/м			Относительное удлинение при максимальной нагрузке, не более, %		Поверхностная плотность, г/м^2, ± 10%
	при разрыве		при относительном удлинении 5%			
	вдоль	поперек		вдоль	поперек	
Славрос СД-20	20	20	10	18	15	220
Славрос СД-30	30	30	15	18	15	330
Славрос СД-40	40	40	17	18	15	530
Славрос СД-45	45	45	22	18	15	600

Г 2.3 Дополнительные параметры - обозначения по п.п. 3.2 и Приложению Б

Показатель / Марка	$R_{LR}(2\%)$ ($R_{TR}(2\%)$), кН/м	$R_{LR}(5\%)$ ($R_{TR}(5\%)$), кН/м	$E'_{LR}(2\%)$ ($E'_{TR}(2\%)$), кН/м	W_{LR} (W_{TR}), мм	t_{LR} (t_{TR}), мм	F_{LR} (F_{TR}), мм^2	K_{LR} (K_{TR}), реб./п.м	$E''_{LR}(2\%)$ $E''_{TR}(2\%)$, МПа	$E'''_{LR}(2\%)$ (E'''_{TR}), МПа	$E'''_R \times F_R$, Н
СД-20	7* (7)*	10 14* (10) (15)*	350 (350)	3,5 (4,3)	1,4 (1,1)	4,9 (4,73)	28,57 (25)	250 (318)	2500 (2960)	12250 (14000)
СД-30	10 (11)	15 (15)	525 (525)	- -	- -	- -	28,57 (25)	- -	- -	- -
СД-40	13 (15)	17 23* (17) (29)*	650 700* (750)	3,3 (4,1)	2,5 (1,7)	8,25 (6,97)	28,57 (25)	260 (441)	2758 (4304)	22753 (30000)

Примечание. * Фактические значения.

Приложение Д

Значения регрессионных коэффициентов к расчету по п. 6.2
(при промежуточных значениях условного показателя деформативности георешетки E'_R значения коэффициентов усиления α_i принимают по интерполяции рассчитываемых граничных значений; при различающихся значениях E'_R в направлении длины и ширины принимают минимальное значение)

Таблица Д 1

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициента увеличения общего модуля упругости дорожных одежд капитального и облегченного типов α_i

E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
350	0,4681	0,297014	0,317073	0,0000587499	0,578882	0,241811	-0,0419037	-0,128847	0,00714644	-0,192632	0,0805874
525	0,40315	0,342141	0,38859	-0,00972858	0,751536	0,331084	-0,057222	-0,172348	0,0130781	-0,23503	0,176815
700	0,377313	0,356396	0,419174	-0,0141902	0,849793	0,401742	-0,0576744	-0,184731	0,0145969	-0,262471	0,207398

E'_R, кН/м	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{44}	a_{45}	a_{55}
350	-0,0504734	-0,00411185	-0,193294	0,180797	0,000800262	-0,0049009	-0,0115489	-0,11354	-0,239919	-1,28997
525	-0,0701658	-0,00438	-0,265413	0,334672	0,00349358	-0,0110322	-0,0284386	-0,190371	-0,576825	-2,32033
700	-0,0799938	-0,00411783	-0,308414	0,412162	0,00518766	-0,0152776	-0,0386188	-0,242746	-0,81648	-2,99514

Таблица Д 2

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициентов увеличения общего модуля упругости оснований дорожных одежд капитального и облегченного типов α_2

E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
350	0,4631	0,260404	0,31696	0,00674461	0,587569	0,117273	-0,0375468	-0,120848	0,0115589	-0,171093	0,00483881
525	0,400385	0,293118	0,392489	0,00222776	0,763158	0,11074	-0,045318	-0,160266	0,0201339	-0,208067	0,0286778
700	0,372916	0,30567	0,4254	-0,000616895	0,860117	0,123736	-0,0451754	-0,173431	0,0241955	-0,233803	0,0218932

E'_R, кН/м	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{44}	a_{45}	a_{55}
350	-0,0491358	-0,00540936	-0,200493	0,221904	-0,0000961688	-0,00977898	0,00485237	-0,112294	-0,160675	-1,19848
525	-0,0717243	-0,00677973	-0,27729	0,395693	0,000888756	-0,0183142	0,016406	-0,189182	-0,465042	-1,72162
700	-0,0824429	-0,00720558	-0,323806	0,510236	0,00163147	-0,0242719	0,0315105	-0,234296	-0,703582	-2,30287

Таблица Д 3

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициентов снижения касательных напряжений в слабосвязных слоях оснований дорожных одежд капитального и облегченного типов при статическом воздействии нагрузки – α_3

φ, град	E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	350	0,247687	0,265337	0,150175	0,00265156	0,76133	2,66668	-0,0472131	-0,114597	0,0279513	-0,169484	-0,0959767
	525	0,194775	0,285833	0,165517	-0,00647825	0,945339	3,71794	-0,0585793	-0,138224	0,0274962	-0,192275	-0,125301
	700	0,165348	0,309011	0,163378	-0,00960703	1,00993	4,44826	-0,0623171	-0,148965	0,0494776	-0,218075	-0,130972
3	350	0,245266	0,26364	0,145143	0,00316558	0,763177	2,68732	-0,0468229	-0,114696	0,0283098	-0.168238	-0,0981471
	525	0,194112	0,282772	0,159308	-0,00615906	0,94529	3,74164	-0,0582328	-0,138176	0,027998	-0,189469	-0,122886
	700	0,16479	0,306115	0,157045	-0,00907793	1,00934	4,47607	-0,0616325	-0,148951	0,0502862	-0,215225	-0,136441
4	350	0,243785	0,261903	0,139977	0,00370341	0,765063	2,70869	-0,0464235	-0,1148	0,0286788	-0,166959	-0,100401
	525	0,193179	0,279556	0,15364	-0,0059008	0,946334	3,76259	-0,0573202	-0,13781	0,0283725	-0,187069	-0,12733
	700	0,164494	0,302996	0,149789	-0,00857664	1,00847	4,51049	-0,0609584	-0,148544	0,0511455	-0,212733	-0,142296
5	350	0,242242	0,260125	0,134674	0,00426641	0,76699	2,73081	-0,0460147	-0,114909	0,0290585	-0,165647	-0,102742
	525	0,192117	0,276352	0,147298	-0,00544299	0,947209	3,79475	-0,0566018	-0,137387	0,0287822	-0,184241	-0,136576
	700	0,16397	0,29974	0,142937	-0,00798563	1,00759	4,53941	-0,0603279	-0,148147	0,0518398	-0,209072	-0,147932
6	350	0,239633	0,258306	0,12923	0,00485604	0,768956	2,75372	-0,0455964	-0,115025	0,0294494	-0,1643	-0,105175
	525	0,19112	0,273225	0,140761	-0,00514606	0,948199	3,822	-0,0565056	-0,1369	0,0292889	-0,181381	-0,13818
	700	0,163411	0,296706	0,135596	-0,00727617	1,00621	4,58006	-0,059857	-0,148018	0,052818	-0,205712	-0,15595
7	350	0,236954	0,256444	0,123641	0,00547386	0,770963	2,77746	-0,0451684	-0,115146	0,0298518	-0,162918	-0,107705
	525	0,190369	0,270308	0,133636	-0,00482458	0,948536	3,84593	-0,0557334	-0,13674	0,0296473	-0,179029	-0,143695
	700	0,162914	0,293173	0,128095	-0,00660761	1,00577	4,60935	-0,0589423	-0,147727	0,0538557	-0,202677	-0,163714
8	350	0,235203	0,25454	0,117904	0,00612154	0,773011	2,80206	-0,0447306	-0,115274	0,0302661	-0,1615	-0,110336
	525	0,189289	0,266888	0,127075	-0,00438937	0,948734	3,87597	-0,0553447	-0,136383	0,0301765	-0,175501	-0,149115
	700	0,162262	0,289543	0,120733	-0,00595688	1,00511	4,64299	-0,0580943	-0,14754	0,0547944	-0,199377	-0,168523

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	350	0,232374	0,252592	0,112016	0,00680087	0,7751	2,82756	-0,044283	-0,115409	0,0306927	-0,160045	-0,113075
	525	0,188306	0,262971	0,119845	-0,00412725	0,94976	3,90559	-0,0541711	-0,135905	0,0306597	-0,172675	-0,155417
	700	0,161624	0,285914	0,112917	-0,00539567	1,00438	4,68163	-0,0573546	-0,147168	0,0557733	-0,195963	-0,174947
10	350	0,230463	0,2506	0,105971	0,00751376	0,777229	2,85401	-0,0438253	-0,115552	0,031132	-0,158551	-0,115926
	525	0,187037	0,259909	0,112654	-0,00358142	0,949971	3,93619	-0,0538519	-0,13595	0,0311849	-0,169378	-0,159993
	700	0,160864	0,2823	0,104988	-0,00441595	1,0025	4,72125	-0,0563868	-0,147112	0,056737	-0,192143	-0,182048
11	350	0,227466	0,248564	0,0997668	0,00826227	0,779399	2,88146	-0,0433575	-0,115703	0,0315843	-0,157019	-0,118897
	525	0,185466	0,256273	0,10592	-0,00308592	0,950562	3,97252	-0,0530973	-0,135577	0,0317068	-0,166239	-0,168216
	700	0,160029	0,27871	0,0968514	-0,003528	1,00157	4,7607	-0,0554892	-0,146962	0,0577656	-0,188681	-0,192327
12	350	0,225377	0,246484	0,0933993	0,00904861	0,781609	2,90994	-0,0428796	-0,115863	0,0320502	-0,155446	-0,121992
	525	0,184416	0,252526	0,0980641	-0,002567	0,950544	4,00068	-0,0527333	-0,135201	0,0322826	-0,162576	-0,170195
	700	0,15938	0,274699	0,0883005	-0,00258284	0,999712	4,79804	-0,0546239	-0,146711	0,0590325	-0,184619	-0,201652
13	350	0,222192	0,244358	0,0868645	0,00987515	0,783859	2,93951	-0,0423914	-0,116031	0,0325301	-0,153833	-0,125221
	525	0,18303	0,248394	0,0904869	-0,00214825	0,951128	4,03417	-0,0515231	-0,135079	0,032868	-0,159481	-0,175404
	700	0,158265	0,270282	0,0800541	-0,00162863	0,998298	4,84959	-0,0533725	-0,146352	0,0601088	-0,180636	-0,208942
14	350	0,218904	0,242187	0,0801587	0,0107445	0,786148	2,97023	-0,0418931	-0,11621	0,0330244	-0,152178	-0,128589
	525	0,181498	0,24467	0,0823195	-0,00157934	0,951469	4,07395	-0,0510878	-0,134633	0,033494	-0,155953	-0,183719
	700	0,157434	0,266737	0,0707434	-0,000497795	0,996651	4,8922	-0,0528622	-0,146033	0,0612768	-0,177112	-0,218926-
15	350	0,216507	0,239971	0,0732781	0,0116593	0,788474	3,00215	-0,0413845	-0,1164	0,0335336	-0,15048	-0,132106
	525	0,179651	0,24047	0,0748979	-0,000889154	0,951494	4,11509	-0,0500938	-0,134069	0,0339006	-0,152133	-0,190322
	700	0,156138	0,262799	0,062268	0,000631175	0,994324	4,93876	-0,0521424	-0,146067	0,062466	-0,172426	-0,224655
16	350	0,212995	0,237709	0,066219	0,0126225	0,790838	3,03534	-0,0408658	-0,116601	0,0340581	-0,148738	-0,13578
	525	0,178035	0,23677	0,0663287	-0,000176171	0,951613	4,14914	-0,0497963	-0,13378	0,0345783	-0,148711	-0,196465
	700	0,155241	0,257941	0,0527975	0,00212428	0,991916	4,98569	-0,0508104	-0,145642	0,0637065	-0,167975	-0,233784

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	350	0,21036	0,235403	0,0589777	0,0136375	0,793237	3,06986	-0,0403369	-0,116815	0,0345986	-0,146951	-0,13962
	525	0,176005	0,232624	0,0579974	0,000437476	0,951981	4,1948	-0,048545	-0,133722	0,03524	-0,145075	-0,208441
	700	0,153863	0,254141	0,0434956	0,00333942	0,989301	5,04115	-0,0502225	-0,145646	0,0650078	-0,163868	-0,243905
18	350	0,206594	0,233052	0,0515508	0,0147075	0,79567	3,10578	-0,0397982	-0,117043	0,0351554	-0,145118	-0,143636
	525	0,174048	0,228525	0,0492647	0,00116811	0,952009	4,23992	-0,0484292	-0,133366	0,0360071	-0,141037	-0,21157
	700	0,152478	0,249725	0,0338625	0,00465058	0,98712	5,0957	-0,0491613	-0,145361	0,0663859	-0,15937	-0,257289
19	350	0,20189	0,230657	0,043935	0,0158364	0,798135	3,14318	-0,0392497	-0,117285	0,0357291	-0,143238	-0,14784
	525	0,17182	0,224135	0,0405076	0,0020401	0,951932	4,28526	-0,0471916	-0,133225	0,0366201	-0,137115	-0,22197
	700	0,151234	0,245004	0,0234497	0,00613384	0,984304	5,15088	-0,0481839	-0,145013	0,0678683	-0,154958	-0,266368
20	350	0,199638	0,228219	0,036127	0,0170281	0,80063	3,18213	-0,0386918	-0,117543	0,0363203	-0,141311	-0,152243
	525	0,169337	0,220007	0,0319054	0,00292608	0,951208	4,33512	-0,0465679	-0,133014	0,0372875	-0,133041	-0,230054
	700	0,14912	0,240691	0,013993	0,00806115	0,981885	5,21438	-0,0471878	-0,14511	0,0691881	-0,150198	-0,277092
21	350	0,196198	0,225739	0,0281241	0,0182871	0,803151	3,22273	-0,0381247	-0,117818	0,0369294	-0,139336	-0,156858
	525	0,167288	0,214897	0,0221834	0,00386553	0,95068	4,38448	-0,0456377	-0,13234	0,0381004	-0,129051	-0,238135
	700	0,147535	0,236184	0,00370255	0,00961456	0,977829	5,27479	-0,0463111	-0,145004	0,0706537	-0,145227	-0,288116
22	350	0,19205	0,223218	0,0199237	0,0196181	0,805695	3,26506	-0,0375488	-0,118111	0,037557	-0,137311	-0,161698
	525	0,164152	0,210513	0,0135717	0,00500168	0,950341	4,44028	-0,0449047	-0,132201	0,0388411	-0,12431	-0,247773
	700	0,145731	0,231127	-0,00706058	0,0115491	0,97444	5,33965	-0,0451276	-0,144844	0,0723252	-0,140224	-0,29864
23	350	0,187492	0,220659	0,0115235	0,0210261	0,808258	3,30923	-0,0369647	-0,118425	0,0382037	-0,135235	-0,166779
	525	0,161806	0,205704	0,00314625	0,00609601	0,949065	4,49086	-0,0439308	-0,13211	0,0396534	-0,120127	-0,254978
	700	0,143386	0,226705	-0,0174279	0,0138408	0,970500	5,40693	-0,0441751	-0,145009	0,0737984	-0,135209	-0,312326
24	350	0,182743	0,218063	0,00292192	0,0225168	0,810836	3,35534	-0,036373	-0,118761	0,0388700	-0,133109	-0,172117
	525	0,158596	0,201014	-0,00617547	0,00734736	0,947887	4,54943	-0,0433364	-0,131862	0,0404727	-0,115285	-0,264552
	700	0,141066	0,221623	-0,0280790	0,0159684	0,965622	5,48177	-0,0431265	-0,144692	0,0755863	-0,129825	-0,328733
25	350	0,177787	0,215434	-0,00588228	0,0240962	0,813423	3,40351	-0,0357745	-0,119121	0,0395565	-0,130931	-0,17773
	525	0,155221	0,196722	-0,0162426	0,008477	0,947296	4,61292	-0,0430846	-0,131524	0,0413863	-0,110857	-0,27699
	700	0,138805	0,216413	-0,0393713	0,0182827	0,960871	5,55454	-0,0420263	-0,144666	0,077354	-0,124055	-0,341562

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	350	0,171912	0,212774	-0,0148896	0,0257710	0,816013	3,45385	-0,0351699	-0,119506	0,0402637	-0,1287	-0,183636
	525	0,151854	0,191379	-0,0264049	0,00997539	0,945316	4,67367	-0,0417314	-0,131269	0,0421803	-0,106199	-0,288043
	700	0,136117	0,211633	-0,0508731	0,0209023	0,955804	5,63472	-0,0412472	-0,144713	0,0791713	-0,11877	-0,354654
27	350	0,166200	0,210088	-0,0240998	0,0275483	0,818599	3,50651	-0,0345604	-0,119921	0,0409921	-0,126417	-0,189857
	525	0,147805	0,186567	-0,0366603	0,0114890	0,943867	4,75061	-0,0409051	-0,131098	0,0430703	-0,101243	-0,30193
	700	0,133170	0,206171	-0,0622083	0,0238111	0,949722	5,72034	-0,0400623	-0,144662	0,0810942	-0,112699	-0,369306
28	350	0,159535	0,20738	-0,0335116	0,0294361	0,821173	3,56163	-0,0339473	-0,120366	0,0417423	-0,12408	-0,196417
	525	0,143686	0,181272	-0,0466785	0,0132145	0,941212	4,82205	-0,0400779	-0,13123	0,0440888	-0,0955899	-0,311241
	700	0,130016	0,200983	-0,0742097	0,0269671	0,943251	5,81311	-0,0390287	-0,144655	0,0831103	-0,106856	-0,388839
29	350	0,153596	0,204655	-0,0431228	0,0314429	0,823725	3,61937	-0,0333319	-0,120846	0,0425147	-0,121689	-0,203339
	525	0,139419	0,17608	-0,0571292	0,0148584	0,938957	4,89199	-0,039222	-0,131006	0,0450669	-0,0905867	-0,324646
	700	0,126291	0,196017	-0,0856187	0,030326	0,936616	5,90532	-0,0380318	-0,144999	0,0850175	-0,100934	-0,404372
30	350	0,147363	0,201921	-0,0529297	0,0335782	0,826244	3,6799	-0,032716	-0,121363	0,0433098	-0,119245	-0,210652
	525	0,134370	0,171369	-0,0677317	0,0168643	0,93529	4,98174	-0,038742	-0,130962	0,0460837	-0,085394	-0,340423
	700	0,122662	0,190477	-0,0978959	0,0339016	0,929062	6,00499	-0,0371749	-0,144926	0,0872823	-0,0947273	-0,420567
31	350	0,139814	0,199184	-0,0629274	0,0358525	0,828718	3,7434	-0,0321016	-0,121921	0,0441281	-0,116746	-0,218387
	525	0,129147	0,166092	-0,0783953	0,0190262	0,932143	5,06644	-0,0378242	-0,131066	0,0470536	-0,0797852	-0,351266
	700	0,118417	0,185116	-0,1098930	0,0377652	0,920943	6,11317	-0,0362234	-0,145065	0,0895573	-0,0883324	-0,440543
32	350	0,132922	0,196453	-0,0731089	0,0382771	0,831133	3,81008	-0,0314911	-0,122525	0,0449699	-0,114193	-0,226578
	525	0,123771	0,160624	-0,0897326	0,0213409	0,928174	5,15575	-0,0369512	-0,131023	0,0482614	-0,0742922	-0,367733
	700	0,11395	0,179737	-0,12215	0,0419952	0,911112	6,22667	-0,0350925	-0,145438	0,091819	-0,0817545	-0,460848
33	350	0,12566	0,193739	-0,0834652	0,0408646	0,833472	3,88015	-0,0308872	-0,123179	0,0458354	-0,111587	-0,235261
	525	0,117578	0,155687	-0,100416	0,0237677	0,923529	5,25578	-0,0365177	-0,13099	0,0494007	-0,0684513	-0,386363
	700	0,108936	0,174433	-0,134197	0,046537	0,901457	6,34087	-0,034283	-0,145854	0,0941929	-0,074795	-0,481319
34	350	0,117996	0,191053	-0,0939849	0,0436289	0,835716	3,95388	-0,0302931	-0,123889	0,0467249	-0,108928	-0,244479
	525	0,110858	0,150605	-0,111083	0,0264124	0,91799	5,36148	-0,0360282	-0,131119	0,0505298	-0,0623964	-0,402985
	700	0,103473	0,168965	-0,146573	0,0518004	0,889738	6,47055	-0,0333266	-0,146193	0,096618	-0,0678343	-0,501799
35	350	0,108897	0,18841	-0,104654	0,0465856	0,837844	4,03151	-0,0297125	-0,12466	0,0476383	-0,106216	-0,254278
	525	0,103825	0,145346	-0,12223	0,0293635	0,912155	5,47081	-0,0352573	-0,131444	0,0518173	-0,0563794	-0,421877
	700	0,0972653	0,163874	-0,15881	0,0573109	0,878227	6,61043	-0,0326338	-0,146729	0,0991682	-0,060531	-0,528262

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36	350	0,099324	0,185826	-0,1154563	0,0497517	0,839831	4,11336	-0,0291498	-0,125500	0,0485758	-0,103453	-0,264709
	525	0,0959012	0,140475	-0,132808	0,0325478	0,905462	5,58697	-0,0349774	-0,131763	0,0530574	-0,0501361	-0,440612
	700	0,0905606	0,158694	-0,170821	0,0633383	0,864528	6,75693	-0,0318389	-0,147487	0,101873	-0,0530701	-0,554259
37	350	0,090235	0,183321	-0,126363	0,0531464	0,841648	4,19975	-0,02861	-0,126416	0,0495368	-0,100639	-0,275833
	525	0,0875282	0,135275	-0,143727	0,0360999	0,897219	5,71268	-0,0340488	-0,132298	0,0543632	-0,043776	-0,465105
	700	0,0831639	0,15367	-0,182759	0,0699908	0,849669	6,91405	-0,0311755	-0,148325	0,10464	-0,0454064	-0,581893
38	350	0,079582	0,180915	-0,137354	0,0567911	0,843263	4,29104	-0,0280991	-0,127418	0,050521	-0,0977768	-0,287714
	525	0,0775638	0,13121	-0,153538	0,0400717	0,888768	5,85355	-0,0341142	-0,133084	0,055637	-0,0370872	-0,48866
	700	0,0749802	0,148826	-0,194443	0,0773012	0,833241	7,08299	-0,0306129	-0,14933	0,107506	-0,0375069	-0,611581
39	350	0,0690598	0,178326	-0,148557	0,0607222	0,844084	4,38579	-0,0275592	-0,128426	0,0515455	-0,0945235	-0,299013
	525	0,0676363	0,125937	-0,164185	0,0442968	0,87871	5,99924	-0,0335355	-0,133648	0,0570533	-0,0300677	-0,510629
	700	0,0659051	0,144223	-0,205768	0,0853526	0,815045	7,26515	-0,0301725	-0,150529	0,1104700	-0,0293567	-0,643585
40	350	0,05704	0,176042	-0,159505	0,0649338	0,845866	4,49214	-0,0267965	-0,129598	0,0525282	-0,0919093	-0,314159
	525	0,056223	0,121916	-0,173547	0,0489477	0,867199	6,15499	-0,033539	-0,134606	0,0584124	-0,0230317	-0,538659
	700	0,055816	0,13993	-0,216609	0,0942424	0,79485	7,46218	-0,029880	-0,151955	0,113532	-0,0209374	-0,678221

φ, град	E'_R, кН/м	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{44}	a_{45}	a_{55}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	350	-0,0131822	-0,00662403	-0,0401167	-0,201643	0,00186969	-0,0206528	0,013298	-0,0854486	-2,31645	-2,86357
	525	0,000594042	-0,00368904	-0,0379416	-0,448605	0,00267448	-0,022901	0,0211805	-0,147642	-4,04554	-4,18881
	700	0,0101802	-0,00143866	-0,0497323	-0,515211	0,00708352	-0,0508029	0,0389494	-0,138649	-5,26221	-7,20936
3	350	-0,0116604	-0,00708052	-0,0359395	-0,205573	0,00186174	-0,0209905	0,0132191	-0,0861067	-2,33307	-2,86881
	525	0,00289396	-0,00423315	-0,0319487	-0,455816	0,0026938	-0,0230656	0,0211266	-0,148159	-4,06746	-4,1953
	700	0,012314	-0,00235604	-0,0432087	-0,520833	0,00723129	-0,0515368	0,0386508	-0,138816	-5,28247	-7,23276
4	350	-0,0100961	-0,00755132	-0,0316457	-0,209648	0,00185203	-0,0213407	0,0131296	-0,0867671	-2,3501	-2,87488
	525	0,00453265	-0,00468279	-0,0257375	-0,463668	0,00274367	-0,02344	0,0205912	-0,149676	-4,08683	-4,1324
	700	0,0147291	-0,00314944	-0,035727	-0,527708	0,0072797	-0,0518933	0,0377082	-0,139483	-5,3066	-7,30128
5	350	-0,00848804	-0,00803699	-0,0272317	-0,213875	0,00184042	-0,021704	0,0130287	-0,0874288	-2,36756	-2,88186
	525	-0,00516277	0,00662189	-0,0196543	-0,470376	0,00273947	-0,0237281	0,020404	-0,151204	-4,10247	-4,19192
	700	0,01713400	0,00415118	-0,028932	-0,535662	0,00742925	-0,0524209	0,0371955	-0,140247	-5,32414	-7,3158
6	350	-0,00683483	-0,00853813	-0,0226938	-0,21826	0,00182673	-0,022081	0,0129153	-0,0880908	-2,38545	-2,88982
	525	0,00887459	-0,00574921	-0,0133874	-0,47830	0,00279762	-0,0241053	0,0199982	-0,152676	-4,12488	-4,17215
	700	0,0196817	-0,00497021	-0,0213408	-0,54600	0,00737897	-0,0531014	0,0361817	-0,140261	-5,34465	-7,41136
7	350	-0,00513518	-0,00905535	-0,0180282	-0,222811	0,00181079	-0,0224722	0,0127882	-0,0887517	-2,40379	-2,89885
	525	0,011215	-0,00623308	-0,00638554	-0,483482	0,0028308	-0,0243544	0,0197435	-0,153627	-4,14579	-4,15286
	700	0,0222751	-0,00604983	-0,0137337	-0,553278	0,00745583	-0,0535973	0,0352228	-0,141266	-5,36952	-7,39311
8	350	-0,00338774	-0,00958932	-0,013231	-0,227536	0,00179241	-0,0228783	0,0126461	-0,0894103	-2,42258	-2,90904
	525	0,0134207	-0,00674107	0,000380062	-0,495705	0,00281487	-0,0246666	0,019866	-0,154723	-4,1664	-4,13642
	700	0,0247394	-0,00705707	-0,0057681	-0,560814	0,00758915	-0,0543984	0,0350536	-0,142608	-5,38664	-7,44874
9	350	-0,00159111	-0,0101407	-0,00829805	-0,232444	0,00177136	-0,0233000	0,0124876	-0,0900649	-2,44184	-2,92049
	525	0,0158243	-0,00726011	0,00723883	-0,504239	0,00289606	-0,0250684	0,0190569	-0,156135	-4,18715	-4,12022
	700	0,0273975	-0,00805077	0,00220213	-0,57015	0,0077276	-0,054824	0,0332815	-0,143628	-5,41192	-7,49511

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	350	0,000256133	-0,0107103	-0,00322516	-0,237544	0,00174742	-0,0237381	0,0123112	-0,0907139	-2,46157	-2,93329
	525	0,0183677	-0,00790204	0,0145876	-0,512941	0,00289136	-0,0253563	0,0190916	-0,157455	-4,20695	-4,12854
	700	0,0301604	-0,00902374	0,0106292	-0,580962	0,00765166	-0,0555154	0,0324833	-0,143464	-5,43163	-7,56491
11	350	0,00215544	-0,0112989	0,00199202	-0,242844	0,00172035	-0,0241932	0,012115	-0,0913553	-2,48178	-2,94757
	525	0,0204609	-0,00854783	0,0219717	-0,521307	0,00290496	-0,0256208	0,0184282	-0,158889	-4,22959	-4,15241
	700	0,0329601	-0,0101476	0,0190334	-0,589029	0,0076508	-0,0559833	0,0308139	-0,144803	-5,44841	-7,63104
12	350	0,0041083	-0,0119072	0,00735796	-0,248356	0,00168987	-0,0246663	0,0118974	-0,0919871	-2,50248	-2,96344
	525	0,0230585	-0,00916388	0,0300729	-0,53102	0,00291282	-0,0259796	0,0181803	-0,160152	-4,2506	-4,12363
	700	0,0359521	-0,0113573	0,0278942	-0,599344	0,00767481	-0,0566484	0,0291442	-0,14507	-5,46891	-7,63745
13	350	0,00611623	-0,0125361	0,0128773	-0,25409	0,00165569	-0,0251581	0,0116561	-0,0926071	-2,52368	-2,98105
	525	0,0257577	-0,0098348	0,0374516	0,541517	0,00296667	-0,0264399	0,0182714	-0,161023	-4,26922	-4,13459
	700	0,0387336	-0,012566	0,0369261	-0,610894	0,00776922	-0,0574959	0,0274985	-0,145674	-5,4889	-7,79800
14	350	0,00818073	-0,0131866	0,0185548	-0,260058	0,00161749	-0,0256696	0,0113889	-0,0932125	-2,5454	-3,00053
	525	0,0284985	-0,0105043	0,0459126	-0,552023	0,00298847	-0,0268696	0,016846	-0,162726	-4,28846	-4,16203
	700	0,0419763	-0,0139086	0,046603	-0,618815	0,00769951	-0,0581189	0,0279622	-0,146543	-5,50718	-7,90063
15	350	0,0103034	-0,0138597	0,0243955	-0,266271	0,00157493	-0,0262016	0,0110933	-0,0938006	-2,56763	-3,02204
	525	0,0307156	-0,0112114	0,0541811	-0,562351	0,00300113	-0,0271964	0,0165953	-0,16406	-4,30819	-4,22518
	700	0,0449897	-0,0152298	0,0557726	-0,63182	0,00774252	-0,0587861	0,0248371	-0,146397	-5,52371	-7,97824
16	350	0,0124857	-0,0145564	0,0304043	-0,272743	0,00152764	-0,0267552	0,0107664	-0,0943683	-2,5904	-3,04576
	525	0,0337249	-0,0120097	0,0626126	-0,571388	0,00299951	-0,0276301	0,0158721	-0,164921	-4,32868	-4,20252
	700	0,0481552	-0,0165184	0,0658285	-0,640795	0,00755269	-0,0594875	0,0217765	-0,147106	-5,53647	-8,08618
17	350	0,0147293	-0,0152777	0,0365865	-0,279489	0,00147521	-0,0273314	0,0104053	-0,0949121	-2,61369	-3,07188
	525	0,0365554	-0,0127929	0,0715681	-0,582086	0,00302745	-0,0279779	0,0153217	-0,166694	-4,34915	-4,26594
	700	0,0515002	-0,0180582	0,0759598	0,65288	0,00755323	-0,0599571	0,0209742	-0,147266	-5,54826	-8,2811

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	350	0,0170358	-0,016025	0,0429475	-0,286522	0,00141718	-0,0279313	0,0100064	-0,0954282	-2,63753	-3,10058
	525	0,0396342	-0,0135825	0,0805376	-0,597117	0,00303035	-0,0285201	0,0139726	-0,16799	-4,36561	-4,32523
	700	0,0546812	-0,019367	0,0865282	0,664424	0,00751214	0,0608067	0,0178993	-0,14802	-5,5664	-8,40317
19	350	0,0194066	-0,0167995	0,0494928	-0,293859	0,00135309	-0,0285561	0,00956589	-0,0959124	-2,66192	-3,1321
	525	0,0425308	-0,0143651	0,0900362	-0,607724	0,00300971	-0,0289685	0,013118	-0,169298	-4,38622	-4,35973
	700	0,0585032	-0,020973	0,0972616	-0,677524	0,00743461	0,0615043	0,0158215	-0,148247	-5,5765	-8,55879
20	350	0,0218434	-0,0176025	0,0562282	-0,301517	0,00128241	-0,0292069	0,00907963	-0,0963601	-2,68687	-3,16667
	525	0,0454456	-0,0152486	0,0996044	-0,622771	0,00299843	-0,0293602	0,0126215	-0,17011	-4,40183	-4,43809
	700	0,0617581	-0,0226398	0,108523	-0,693442	0,00724442	-0,0624189	0,0136013	-0,149133	5,5931	-8,7477
21	350	0,0243477	-0,0184354	0,0631593	-0,309514	0,00120455	-0,0298852	0,00854288	-0,0967661	-2,71237	-3,20455
	525	0,0486847	-0,0161846	0,109751	-0,633639	0,0029777	-0,0298201	0,011859	-0,171046	-4,42326	-4,51879
	700	0,0652800	-0,0242826	0,120306	-0,705432	0,00716601	-0,0629817	0,0109214	-0,149163	-5,59911	-8,95404
22	350	0,0269208	-0,0193	0,0702924	-0,317871	0,00111891	-0,0305921	0,0079504	-0,0971247	-2,73844	-3,24603
	525	0,0516014	-0,0171942	0,119708	-0,649671	0,00293782	-0,0302607	0,0103022	-0,172809	-4,43577	-4,62011
	700	0,0690974	-0,0259606	0,131666	-0,718565	0,00693646	-0,0638128	0,00805336	-0,149073	-5,60458	-9,19436
23	350	0,0295643	-0,0201977	0,0776334	-0,326609	0,00102478	-0,0313291	0,00729631	-0,0974297	-2,76507	-3,29141
	525	0,0552274	-0,0180913	0,130678	-0,661936	0,00289185	-0,0307799	0,00854467	-0,173301	-4,4522	-4,68786
	700	0,0727039	-0,0278416	0,143867	-0,731324	0,00665569	-0,0644617	0,00297631	0,149393	-5,60813	-9,41836
24	350	0,0322795	-0,0211306	0,0851888	-0,335751	0,000921435	-0,0320977	0,00657407	-0,0976743	-2,79227	-3,34104
	525	0,0583383	-0,0191435	0,141377	-0,676847	0,00283617	-0,0312631	0,00705043	-0,173972	-4,46794	-4,79557
	700	0,0763876	-0,0298977	0,156529	-0,748354	0,00645884	-0,0650747	-0,000300089	-0,148635	-5,61334	-9,67211
25	350	0,0350676	-0,0221004	0,0929649	-0,345321	0,00080805	-0,0328994	0,00577635	-0,0978508	-2,82004	-3,39529
	525	0,061799	-0,0201864	0,152476	-0,692839	0,00280475	-0,0317226	0,00605103	-0,175739	-4,48005	-4,93981
	700	0,0803196	-0,0317732	0,169513	-0,763196	0,00612842	0,0656739	-0,00417108	-0,14917	-5,61091	-9,94821
26	350	0,0379297	-0,0231094	0,100968	-0,355347	0,000683732	-0,0337358	0,00489491	-0,0979507	-2,84836	-3,45455
	525	0,0653201	-0,0213592	0,164305	-0,71059	0,00272851	-0,0321981	0,00378147	-0,176372	-4,48901	-5,03134
	700	0,0843618	-0,0339122	0,183388	-0,779652	0,00576393	-0,0665045	-0,00727477	-0,149257	-5,60896	-10,2939

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
27	350	0,0408667	-0,0241598	0,109206	-0,365858	0,000547502	-0,0346087	0,0039205	-0,0979648	-2,87724	-3,51928
	525	0,0687373	-0,0224814	0,176336	-0,725978	0,00263681	-0,0327774	0,00208089	-0,177356	-4,50133	-5,27317
	700	0,0882625	-0,0361466	0,197087	-0,795145	0,00536572	-0,0672451	-0,0150091	-0,148117	-5,60482	-10,6453
28	350	0,0438794	-0,0252541	0,117685	-0,376886	0,000398285	-0,0355198	0,00284269	-0,0978829	-2,90667	-3,58995
	525	0,0723163	-0,0238342	0,188568	-0,744576	0,00252427	-0,0332086	-0,000367904	-0,17793	-4,50882	-5,4593
	700	0,0926365	-0,0385419	0,21123	-0,814152	0,00483171	-0,067847	-0,020992	-0,147661	-5,58651	-11,0547
29	350	0,0469684	-0,0263952	0,126412	-0,388467	0,000234902	-0,0364709	0,00164973	-0,0976936	-2,93663	-3,66711
	525	0,0757692	-0,0250971	0,201262	-0,76149	0,00244365	-0,0337836	-0,00269165	-0,178623	-4,51387	-5,60885
	700	0,0965641	-0,0409174	0,225812	-0,830901	0,00426986	-0,068558	-0,026634	-0,146944	-5,57205	-11,4845
30	350	0,0501337	-0,0275859	0,135394	-0,400637	0,0000560543	-0,0374639	0,000328299	-0,0973844	-2,9671	-3,75132
	525	0,079454	-0,0264334	0,214639	-0,784192	0,00228640	-0,0341895	-0,00651643	-0,178437	-4,51518	-5,87694
	700	0,100863	-0,0435336	0,241387	-0,849927	0,00362547	-0,0690075	-0,0338472	-0,146576	-5,55322	-11,9525
31	350	0,0533754	-0,0288296	0,144638	-0,413438	-0,000139687	-0,0385007	-0,00113669	-0,0969415	-2,99808	-3,84325
	525	0,0831447	-0,0279098	0,228143	-0,803213	0,00213076	-0,034765	-0,00890042	-0,179257	-4,51365	-6,16716
	700	0,10509	-0,0462639	0,257178	-0,872193	0,00295325	-0,0695507	-0,0425504	-0,146128	-5,52131	-12,4859
32	350	0,0566927	-0,0301298	0,154153	-0,426918	-0,000353899	-0,0395834	-0,0027624	-0,0963496	-3,02952	-3,94358
	525	0,0872777	-0,0294686	0,242118	-0,825131	0,00192757	-0,0352822	-0,0122894	-0,178939	-4,51089	-6,43033
	700	0,109438	-0,0491703	0,273494	-0,892261	0,00215688	-0,0698208	-0,0511862	-0,144174	-5,4864	-13,0844
33	350	0,0600847	-0,0314905	0,163946	-0,441126	-0,000588322	-0,040714	-0,00456839	-0,0955917	-3,0614	-4,05312
	525	0,0907826	-0,0310411	0,257076	-0,847945	0,00174539	-0,0357304	-0,0171061	-0,179451	-4,50329	-6,76021
	700	0,113703	-0,0522405	0.29021	-0,914546	0,00132642	-0,0701729	-0,0618159	-0,143432	-5,44494	-13,6543
34	350	0,0635497	-0,0329163	0,174023	-0,456119	-0,000844884	-0,0418945	-0,00657701	-0,0946492	-3,09368	-4,1727
	525	0,0945992	-0,0327915	0,271834	-0,873389	0,00154885	-0,0361824	-0,0218353	-0,178442	-4,49516	-7,11471
	700	0,118112	-0,0555249	0,307719	-0,938716	0,000235671	-0,0704522	-0,0732788	-0,141076	-5,3935	-14,3757
35	350	0,0670852	-0,0344119	0,184395	-0,471961	-0,00112572	-0,0431271	-0,0088139	-0,0935014	-3,12632	-4,30331
	525	0,098572	-0,034643	0,287503	-0,896516	0,00127477	-0,0365942	-0,0261979	-0,178558	-4,47494	-7,54508
	700	0,122448	-0,0590606	0,325885	0,962773	-0,000845159	-0,0706046	-0,0851315	-0,140274	-5,33746	-15,1766

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	350	0,0706879	-0,0359828	0,195067	-0,488721	-0,00143321	-0,0444138	-0,0113086	-0,0921253	-3,15924	-4,44598
	525	0,102265	-0,0365471	0,303625	-0,924567	0,000996508	-0,0370853	-0,0323252	-0,177944	-4,45176	-7,95738
	700	0,126789	-0,0627911	0,344803	-0,99107	-0,00212451	-0,0704777	-0,0998328	-0,138387	-5,26581	-16,0083
37	350	0,0743535	-0,0376353	0,20605	-0,506478	-0,00176999	-0,0457565	-0,0140951	-0,0904957	-3,1924	-4,6019
	525	0,106287	-0,0386235	0,320441	-0,953572	0,000638565	-0,0372487	-0,0386824	-0,177042	-4,42169	-8,43568
	700	0,131087	-0,0667972	0,364355	-1,01983	-0,00355395	-0,0702245	-0,116179	-0,136363	-5,18389	-16,9386
38	350	0,0780764	-0,0393763	0,217351	-0,525324	-0,00213902	-0,0471572	-0,017213	-0,0885842	-3,2257	-4,77239
	525	0,109795	-0,0408709	0,337508	-0,984546	0,000258726	-0,0376358	-0,0461776	-0,175924	-4,38625	-9,03156
	700	0,135316	-0,0711008	0,384686	-1,05073	-0,00515996	-0,0697433	-0,134738	-0,134133	-5,08856	-17,9643
39	350	0,0818997	-0,0412342	0,228939	-0,544757	-0,00256165	-0,0485821	-0,0204462	-0,0859944	-3,25952	-4,95259
	525	0,113699	-0,0431889	0,355777	-1,01828	-0,000169508	-0,0379147	-0,0551023	-0,175057	-4,33835	-9,64798
	700	0,139442	-0,0757385	0,405859	-1,08413	-0,00696473	-0,0689873	-0,155878	-0,131698	-4,97803	-19,0963
40	350	0,085671	-0,0431783	0,24109	-0,56732	-0,00297666	-0,0501276	-0,0247347	-0,0840624	-3,29246	-5,17334
	525	0,117116	-0,0457759	0,374295	-1,05342	-0,000645437	-0,0379661	-0,0635605	-0,173064	-4,2875	-10,3197
	700	0,143423	-0,0807535	0,427948	-1,12044	-0,00899395	-0,0678998	-0,180039	-0,129069	-4,85024	-20,3471

Таблица Д 4

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициентов снижения касательных напряжений в слабосвязных слоях оснований дорожных одежд капитального и облегченного типов при статическом воздействии нагрузки α_4

φ, град	E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	350	0,320092	0,158986	0,11254	-0,00439596	0,777016	2,52413	-0,0264147	-0,0570487	-0,000225527	-0,0828183	-0,0793855
	525	0,234776	0,209738	0,103754	0,00298351	0,966567	3,64691	-0,0402673	-0,0838959	-0,0283306	-0,0891273	-0,172354
	700	0,199682	0,232503	0,113117	0,0285113	1,05542	4,21581	-0,046592	-0,096613	-0,0462738	-0,0945102	-0,192481
3	350	0,317659	0,155633	0,108846	-0,00457327	0,779796	2,54522	-0,0258418	-0,0560166	-0,000107315	-0,0805849	-0,082452
	525	0,234746	0,205408	0,0983185	-0,00297585	0,968013	3,6749	-0,0398621	-0,0820512	-0,0263728	-0,0858288	-0,179368
	700	0,199731	0,22778	0,106782	0,02659670	1,0563	4,24513	-0,0457111	-0,0949901	-0,0455004	-0,090393	-0,200156
4	350	0,315165	0,152183	0,105057	-0,00475174	0,782642	2,56711	-0,0252522	-0,054953	0,0000177598	-0,0782934	-0,0856443
	525	0,234041	0,201073	0,0927203	-0,00375279	0,969842	3,70516	-0,0392793	-0,080332	-0,0259351	-0,082421	-0,18603
	700	0,199623	0,223142	0,100947	0,0211257	1,05683	4,28026	-0,0448153	-0,0932842	-0,0441627	-0,0865705	-0,211396
5	350	0,313106	0,148633	0,101170	-0,00493112	0,785552	2,58982	-0,0246454	-0,0538568	0,000150146	-0,0759424	-0,088969
	525	0,233846	0,195918	0,0871731	-0,00707156	0,970417	3,73585	-0,0382121	-0,0785678	-0,0241163	-0,0789122	-0,191294
	700	0,199338	0,21831	0,0952117	0,017177	1,0583	4,31408	-0,0440513	-0,091142	-0,0431415	-0,0828554	-0,221438
6	350	0,310979	0,144981	0,0971824	-0,00511115	0,788529	2,61339	-0,0240209	-0,0527269	0,000290324	-0,0735303	-0,0924329
	525	0,233138	0,191482	0,0817568	-0,0128801	0,972787	3,77214	-0,0371455	-0,0770238	-0,0239005	-0,0752636	-0,201984
	700	0,199523	0,212762	0,088909	0,0123327	1,05829	4,34679	-0,0430316	-0,0890626	-0,0427932	-0,0780202	-0,22601
7	350	0,30868	0,141223	0,0930932	-0,0052915	0,791572	2,63786	-0,0233782	-0,051562	0,000438812	-0,0710556	-0,0960431
	525	0,232789	0,186131	0,0753766	-0,0145597	0,974326	3,80166	-0,0364468	-0,0748601	-0,0219912	-0,0719522	-0,204445
	700	0,199198	0,207899	0,0822373	0,00816643	1,06054	4,3845	-0,0425694	-0,0870296	-0,0405791	-0,0750554	-0,231484
8	350	0,306504	0,137355	0,088900	-0,00547183	0,794683	2,66329	-0,0227167	-0,0503611	0,000596166	-0,0685168	-0,0998075
	525	0,232667	0,180349	0,068916	-0,0192444	0,975575	3,83976	-0,0354516	-0,07261	-0,0194302	-0,0680222	-0,213922
	700	0,19959	0,201638	0,0753569	0,0030636	1,06001	4,42204	-0,0411037	-0,0848437	-0,0383297	-0,070188	-0,243105

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	350	0,304148	0,133375	0,0846008	-0,00565172	0,797861	2,68972	-0,0220359	-0,0491227	0,000762984	-0,0659124	-0,103734
	525	0,231427	0,175797	0,0635444	-0,0216593	0,977581	3,87435	-0,0348547	-0,071036	-0,0177745	-0,0643086	-0,223288
	700	0,199455	0,195986	0,0686431	-0,00250205	1,06039	4,46277	-0,0401588	-0,082447	-0,0373089	-0,0659046	-0,251927
10	350	0,301706	0,129279	0,0801936	-0,00583074	0,801108	2,7172	-0,0213351	-0,0478457	0,000939911	-0,0632408	-0,107832
	525	0,231294	0,169895	0,0567768	-0,0268563	0,978326	3,91361	-0,0337809	-0,068753	-0,0167657	-0,060066	-0,229574
	700	0,199441	0,189808	0,0618823	-0,0100284	1,06078	4,50846	-0,0390497	-0,0803058	-0,0337739	-0,0612295	-0,262987
11	350	0,299173	0,125063	0,0756765	-0,00600837	0,804423	2,74579	-0,0206138	-0,0465286	0,00112764	-0,0605005	-0,112111
	525	0,230291	0,164596	0,0504658	-0,0285092	0,979844	3,94972	-0,0330125	-0,0665769	-0,0161023	-0,0560162	-0,237653
	700	0,199171	0,183444	0,0546539	-0,0131802	1,06147	4,55008	-0,0378741	-0,0777642	-0,0324959	-0,0565052	-0,270252
12	350	0,296544	0,120723	0,0710478	-0,00618406	0,807807	2,77555	-0,0198713	-0,0451702	0,00132692	-0,0576899	-0,11658
	525	0,229689	0,158772	0,0436796	-0,03442	0,981232	3,99293	-0,0318641	-0,0647456	-0,0128403	-0,0523622	-0,247713
	700	0,199061	0,177618	0,0466867	-0,0177064	1,0613	4,59961	-0,0372975	-0,0751948	-0,0306143	-0,0518929	-0,28038
13	350	0,293512	0,116256	0,066306	-0,00635716	0,811258	2,80653	-0,0191072	-0,0437689	0,00153856	-0,0548075	-0,12125
	525	0,228917	0,152349	0,0372176	-0,0394708	0,982515	4,03517	-0,0305818	-0,0623147	-0,00986034	-0,0482399	-0,258431
	700	0,198687	0,171316	0,0395538	-0,0225747	1,06084	4,64205	-0,0360265	-0,0728302	-0,0284503	-0,0473304	-0,296043
14	350	0,290672	0,111657	0,0614496	-0,00652696	0,814777	2,83882	-0,0183208	-0,0423233	0,00176343	-0,0518517	-0,126132
	525	0,2281	0,146132	0,0300534	-0,0434284	0,98408	4,07893	-0,0297681	-0,0599669	-0,00748895	-0,0434542	-0,266779
	700	0,198222	0,164481	0,0319086	-0,0274196	1,06128	4,69246	-0,0347993	-0,0702191	-0,0252749	-0,0421308	-0,308733
15	350	0,286916	0,106923	0,0564776	-0,00669266	0,818363	2,87247	-0,0175114	-0,0408318	0,00200248	-0,048821	-0,131239
	525	0,227047	0,140128	0,0226477	-0,0461684	0,985538	4,12409	-0,0287891	-0,0577252	-0,00590587	-0,0395569	-0,273633
	700	0,197813	0,157518	0,0240719	-0,0337555	1,06167	4,74656	-0,0333422	-0,0676383	-0,0227793	-0,037416	-0,320261
16	350	0,284236	0,10205	0,0513889	-0,00685336	0,822014	2,90758	-0,0166785	-0,039293	0,00225672	-0,0457139	-0,136584
	525	0,225821	0,13288	0,0160759	-0,0497503	0,986372	4,1742	-0,0273573	-0,0551215	-0,00221067	-0,0348788	-0,285038
	700	0,197193	0,150783	0,0161147	-0,0374818	1,06085	4,80151	-0,032645	-0,0649525	-0,019571	-0,0324778	-0,32878
17	350	0,280824	0,0970329	0,0461831	-0,00700805	0,825728	2,94422	-0,0158214	-0,0377051	0,00252725	-0,0425291	-0,14218
	525	0,224564	0,126267	0,00841888	-0,0532601	0,987324	4,22787	-0,0262132	-0,0527064	0,00101848	-0,0305958	-0,296964
	700	0,196987	0,142767	0,00777758	-0,0447771	1,06004	4,85989	-0,030984	-0,0617987	-0,0155929	-0,0271218	-0,344984

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
18	350	0,277272	0,091868	0,0408599	-0,00715561	0,829504	2,98249	-0,0149397	-0,0360666	0,00281527	-0,0392651	-0,148042
	525	0,223423	0,119246	0,00047191	-0,0578992	0,988193	4,28497	-0,0253277	-0,0498933	0,00462665	-0,0256199	-0,307203
	700	0,196123	0,135514	-0,00066737	-0,0483853	1,05955	4,91925	-0,0297907	-0,0589199	-0,0130949	-0,0217257	-0,35788
19	350	0,273537	0,086551	0,0354197	-0,00729475	0,833339	3,02247	-0,0140327	-0,0343758	0,00312208	-0,0359206	-0,154187
	525	0,221692	0,112103	-0,00699105	-0,0599051	0,98943	4,33939	-0,0238688	-0,0472254	0,00750765	-0,0212879	-0,322433
	700	0,195596	0,127042	-0,00941483	-0,0538162	1,05868	4,98436	-0,0282711	-0,0558381	-0,00612233	-0,0167885	-0,370164
20	350	0,269707	0,0810776	0,0298632	-0,00742407	0,837229	3,06429	-0,0130999	-0,032631	0,00344908	-0,0324944	-0,160632
	525	0,220649	0,104389	-0,0151215	-0,0657877	0,989774	4,39125	-0,0227164	-0,0442473	0,0119428	-0,0166176	-0,330794
	700	0,1946	0,119793	-0,0180744	-0,0596908	1,05732	5,0492	-0,0273746	-0,0527722	-0,0035015	-0,0112308	-0,386129
21	350	0,265572	0,0754434	0,0241919	-0,00754196	0,841171	3,10806	-0,0121408	-0,0308305	0,0037978	-0,0289854	-0,167394
	525	0,218695	0,0966267	-0,0233258	-0,0678752	0,990145	4,46127	-0,0214499	-0,0413926	0,0161715	-0,0114234	-0,344334
	700	0,193475	0,111603	-0,0269269	-0,065271	1,05572	5,12304	-0,0260536	-0,0494523	0,00051294	-0,00558261	-0,401714
22	350	0,261352	0,069644	0,018408	-0,00764662	0,845159	3,15389	-0,011155	-0,0289726	0,00416989	-0,0253926	-0,174494
	525	0,216469	0,0892346	-0,0311541	-0,0704305	0,990575	4,52727	-0,0206407	-0,0383649	0,0202374	-0,00663237	-0,357971
	700	0,192281	0,102958	-0,0359858	-0,0697262	1,05408	5,19835	-0,0247298	-0,046038	0,0065499	-0,000318449	-0,416421
23	350	0,256734	0,0636753	0,0125147	-0,00773603	0,849188	3,20192	-0,010142	-0,0270554	0,00456716	-0,0217152	-0,181953
	525	0,214662	0,0807394	-0,0398768	-0,0752219	0,990579	4,59926	-0,0188837	-0,0351149	0,0249615	-0,00173242	-0,376679
	700	0,191174	0,0936688	-0,0452253	-0,074186	1,05119	5,27263	-0,0229723	-0,0425376	0,0122817	0,00566704	-0,43344
24	350	0,252202	0,057533	0,00651594	-0,00780791	0,853251	3,25231	-0,00910156	-0,0250773	0,00499158	-0,0179525	-0,189793
	525	0,212569	0,0715458	-0,0485435	-0,0776249	0,990716	4,66982	-0,0170484	-0,0318105	0,0310603	0,00311307	-0,388303
	700	0,189782	0,0842248	-0,0547694	-0,0786467	1,04841	5,35828	-0,0214526	-0,0389092	0,0190727	0,011673	-0,449201
25	350	0,24694	0,051213	0,000417225	-0,00785969	0,857338	3,3052	-0,00803343	-0,0230366	0,00544531	-0,0141041	-0,198041
	525	0,210097	0,0628308	-0,0567436	-0,0829625	0,990382	4,7493	-0,0159647	-0,0286923	0,0380194	0,00862302	-0,403171
	700	0,188093	0,0750935	-0,0644016	-0,0830131	1,04535	5,44654	-0,0202155	-0,0351266	0,0263773	0,017174	-0,470965
26	350	0,24113	0,0447115	-0,00577471	-0,00788849	0,861441	3,36079	-0,00693751	-0,0209317	0,00593067	-0,0101699	-0,206722
	525	0,207063	0,0541269	-0,0655127	-0,0832489	0,989297	4,83623	-0,014633	-0,0250847	0,0426441	0,0138373	-0,420027
	700	0,18613	0,0652165	-0,0738546	-0,0873222	1,04156	5,53995	-0,0185885	-0,0312748	0,0343303	0,0226904	-0,490206

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	350	0,2350553	0,0380246	-0,0120514	-0,00789102	0,865547	3,41925	-0,00581385	-0,0187609	0,00645023	-0,00614998	-0,215865
	525	0,204011	0,0453115	-0,0740057	-0,0871386	0,988327	4,92091	-0,013406	-0,0219873	0,0500143	0,0190333	-0,435808
	700	0,183714	0,0558002	-0,0835473	-0,0917029	1,03803	5,64281	-0,0172941	-0,0273622	0,0408789	0,0282651	-0,508275
28	350	0,229086	0,0311491	-0,0184024	-0,00786359	0,869644	3,4808	-0,00466265	-0,0165227	0,00700681	-0,00204479	-0,225502
	525	0,200777	0,0350841	-0,0828865	-0,0885291	0,986572	5,01406	-0,011395	-0,0180271	0,0568488	0,0242915	-0,45471
	700	0,181554	0,0449039	-0,0932312	-0,0957299	1,03225	5,74675	-0,015479	-0,0232284	0,0508071	0,0340381	-0,527535
29	350	0,222204	0,0240818	-0,0248149	-0,00780198	0,873714	3,54567	-0,00348435	-0,0142157	0,00760347	0,00214478	-0,235666
	525	0,196915	0,0258839	-0,091708	-0,0891361	0,984254	5,11302	-0,0103496	-0,0145466	0,064649	0,0298171	-0,473999
	700	0,178568	0,0345757	-0,103079	-0,0970877	1,02726	5,85917	-0,0141428	-0,0190067	0,0597346	0,039979	-0,548531
30	350	0,216182	0,0168204	-0,0312735	-0,00770144	0,87774	3,61412	-0,00227965	-0,0118388	0,00824361	0,00641737	-0,246395
	525	0,192841	0,015349	-0,100598	-0,0894304	0,981949	5,21865	-0,00885522	-0,0102174	0,0737607	0,0350012	-0,492997
	700	0,175459	0,0233214	-0,112871	-0,100118	1,02047	5,98223	-0,0120828	-0,014805	0,0703244	0,0459826	-0,574744
31	350	0,209588	0,00936286	-0,0377595	-0,00755653	0,8817	3,68644	-0,00104955	-0,00939098	0,00893093	0,0107711	-0,25773
	525	0,188258	0,00457075	-0,108728	-0,0903137	0,978643	5,33052	-0,00721581	-0,00624119	0,0833733	0,0406327	-0,512363
	700	0,172027	0,0122714	-0,122695	-0,102453	1,01269	6,11243	-0,0108528	-0,0101081	0,0814776	0,0516658	-0,597917
32	350	0,20199	0,00170811	-0,0442502	-0,00736104	0,885568	3,76293	0,000204521	-0,00687144	0,00966953	0,0152035	-0,269713
	525	0,183433	-0,00616453	-0,11799	-0,0900345	0,974622	5,45381	-0,00557891	-0,00215476	0,0935564	0,0458374	-0,535193
	700	0,167943	0,000349717	-0,132104	-0,102228	1,00387	6,25078	-0,00909827	-0,00544162	0,0947866	0,0574929	-0,623725
33	350	0,19415	-0,00614403	-0,0507187	-0,00710788	0,889314	3,84395	0,0014807	-0,00427984	0,0104639	0,0197113	-0,282393
	525	0,177893	-0,017055	-0,126136	-0,0898246	0,969602	5,58161	-0,00445879	0,00207862	0,105326	0,0513927	-0,558392
	700	0,16335	-0,011676	-0,141386	-0,102278	0,994132	6,39934	-0,00764926	-0,000693044	0,109356	0,0631828	-0,649042
34	350	0,18615	-0,0141925	-0,0571326	-0,00678889	0,892904	3,9299	0,0027765	-0,00161623	0,0113192	0,0242904	-0,295823
	525	0,171714	-0,0288116	-0,134397	-0,0858667	0,963354	5,71926	-0,00232718	0,0062944	0,117118	0,056803	-0,5834
	700	0,158088	-0,0238235	-0,150639	-0,0991611	0,982658	6,56147	-0,0061637	0,00414244	0,123843	0,0690486	-0,676457
35	350	0,177350	-0,0224349	-0,0634531	-0,00639469	0,896296	4,02122	0,00408877	0,00111877	0,0122408	0,0289359	-0,310061
	525	0,165142	-0,0404041	-0,142455	-0,0850301	0,956438	5,86869	-0,0011387	0,0108789	0,13089	0,0621936	-0,608674
	700	0,15213	-0,036528	-0,159312	-0,096683	0,970281	6,73576	-0,00448877	0,00924187	0,140195	0,0740947	-0,705935

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36	350	0,167594	-0,0308584	-0,0696744	-0,00569987	0,899388	4,11931	0,00528061	0,00400595	0,0131505	0,0337823	-0,32356
	525	0,157484	-0,0528488	-0,14996	-0,0789981	0,948528	6,02826	0,000786659	0,0155364	0,145565	0,0671516	-0,637011
	700	0,145524	-0,0497863	-0,167448	-0,0926105	0,955292	6,9271	-0,0028526	0,0144592	0,159068	0,0794345	-0,738464
37	350	0,157708	-0,0390518	-0,0757596	-0,00537781	0,902018	4,22132	0,00640673	0,00680944	0,0142309	0,0386318	-0,342759
	525	0,148451	-0,0646749	-0,155957	-0,072221	0,938878	6,20505	0,00186303	0,0199596	0,161728	0,07248	-0,66505
	700	0,137914	-0,063234	-0,174929	-0,0859752	0,938371	7,13365	-0,00137407	0,0197942	0,179279	0,084498	-0,77102
38	350	0,146819	-0,048262	-0,0815461	-0,00459344	0,904987	4,33258	0,00805434	0,00982692	0,0154029	0,0433005	-0,358419
	525	0,138976	-0,077467	-0,162028	-0,0646172	0,92705	6,39729	0,00313808	0,0248734	0,180013	0,0776874	-0,696114
	700	0,129225	-0,0770173	-0,181528	-0,0769231	0,918974	7,35949	0,000189737	0,0252535	0,201574	0,0893021	-0,80539
39	350	0,135331	-0,0572216	-0,0867211	-0,00381978	0,906793	4,45138	0,0094038	0,0127334	0,016726	0,0480389	-0,376487
	525	0,128094	-0,0907004	-0,166964	-0,0531575	0,91391	6,60195	0,00473086	0,0298618	0,199141	0,0819786	-0,726018
	700	0,119275	-0,0911181	-0,187004	-0,0649602	0.8967	7,60752	0,00129409	0,0308263	0,226216	0,0937922	-0,841731
40	350	0,12274	-0,0663169	-0,0916614	-0,00284537	0,908281	4,57869	0,0107119	0,0157862	0,0180883	0,0528959	-0,395885
	525	0,115927	-0,104356	-0,170494	-0,0393843	0,89771	6,82781	0,00627003	0,0347276	0,220897	0,0870734	-0,760589
	700	0,107843	-0,105512	-0,191055	-0,0494698	0,871065	7,88127	0,00241277	0,0364981	0,253513	0,0979058	-0,880232

φ, град	E'_R, кН/м	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{44}	a_{45}	a_{55}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	350	-0,00807595	0,00497645	-0,0741239	-0,0836995	-0,000320824	0,00102886	0,0146725	-0,129447	-2,20944	-3,14956
	525	0,0242508	0,044838	-0,110619	-0,204807	-0,0784146	0,023565	0,154212	-0,210205	-3,83334	-6,2252
	700	0,0269868	0,0462734	-0,124325	-0,24764	-0,134798	0,0414778	0,143237	-0,262802	-4,88585	-8,37121
3	350	-0,00738764	0,00498443	-0,0714464	-0,0864634	-0,000291236	0,00106694	0,0144381	-0,130484	-2,22611	-3,15831
	525	0,0254095	0,046419	-0,10679	-0,208261	-0,0695641	0,0227264	0,149884	-0,210744	-3,85323	-6,26138
	700	0,0287911	0,0467989	-0,119535	-0,252626	-0,1345	0,0430434	0,140231	-0,26477	-4,90835	-8,38854
4	350	-0,0066811	0,00499201	-0,0686953	-0,089347	-0,0002611	0,00110227	0,0141859	-0,131523	-2,24323	-3,168
	525	0,0269723	0,0460154	-0,102655	-0,213446	-0,0683585	0,0237246	0,132757	-0,212491	-3,87543	-6,25499
	700	0,0303599	0,0483401	-0,115308	-0,262724	-0,125588	0,0418475	0,138357	-0,264172	-4,93237	-8,4001
5	350	-0,00595593	0,00499912	-0,0658685	-0,092357	-0,000230421	0,00113453	0,0139144	-0,132563	-2,2608	-3,17872
	525	0,0283549	0,0466969	-0,0986192	-0,221404	-0,0668809	0,0253611	0,136129	-0,212668	-3,89391	-6,29767
	700	0,031476	0,0500301	-0,11058	-0,267438	-0,122202	0,0424909	0,127075	-0,26594	-4,95756	-8,42356
6	350	-0,00521174	0,00500567	-0,0629637	-0,0955008	-0,000199206	0,00116336	0,0136223	-0,133603	-2,27883	-3,19056
	525	0,0295636	0,0478153	-0,0944276	-0,225787	-0,0557437	0,0251889	0,127003	-0,214532	-3,91749	-6,34397
	700	0,0331003	0,0508874	-0,105793	-0,275575	-0,11368	0,0447263	0,123716	-0,266901	-4,97484	-8,46869
7	350	-0,00444812	0,00501156	-0,0599787	-0,0987862	-0,000167465	0,00118839	0,013308	-0,13464	-2,29734	-3,2036
	525	0,0313068	0,0480262	-0,090107	-0,232484	-0,0551326	0,0260288	0,119901	-0,215424	-3,93906	-6,35429
	700	0,0348789	0,0518116	-0,100883	-0,281816	-0,108192	0,0454789	0,10596	-0,269265	-4,99695	-8,53146
8	350	-0,00366472	0,00501666	-0,0569111	-0,102222	-0,000135211	0,00120921	0,0129696	-0,135671	-2,31635	-3,21796
	525	0,0328297	0,0496143	-0,0855755	-0,239	-0,0495885	0,0255413	0,10707	-0,216045	-3,95955	-6,40848
	700	0,0366049	0,0527047	-0,0954041	-0,28815	-0,100894	0,0438875	0,106244	-0,268691	-5,01975	-8,59697
9	350	-0,00286117	0,00502086	-0,0537585	-0,105817	-0,000102461	0,00122536	0,0126053	-0,136694	-2,33585	-3,23374
	525	0,0339971	0,0497687	-0,0806934	-0,245053	-0,0458802	0,0243252	0,0998352	-0,217353	-3,98324	-6,42648
	700	0,0381924	0,0550476	-0,0901278	-0,298941	-0,0948066	0,0456068	0,0979594	-0,269378	-5,04142	-8,63668

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	350	-0,00203714	0,00502401	-0,0505183	-0,109581	-0,0000692332	0,00123638	0,0122131	-0,137706	-2,35588	-3,25106
	525	0,0355717	0,0515364	-0,0758791	-0,251957	-0,0404323	0,0262687	0,100097	-0,217961	-4,00668	-6,51474
	700	0,0397491	0,056404	-0,0844757	-0,30629	-0,0824803	0,0465234	0,0867275	-0,270491	-5,06326	-8,74342
11	350	-0,00119233	0,00502594	-0,0471881	-0,113525	-0,0000355521	0,00124173	0,0117907	-0,138703	-2,37643	-3,27006
	525	0,0371365	0,0517644	-0,0711074	-0,259168	-0,0387263	0,0259882	0,100142	-0,218601	-4,02972	-6,54577
	700	0,0416126	0,0572335	-0,079064	-0,315435	-0,0781592	0,046069	0,0778487	-0,271258	-5,08301	-8,81117
12	350	-0,000326475	0,00502647	-0,043765	-0,11766	-0,00000144594	0,00124084	0,0113357	-0,139682	-2,39752	-3,29088
	525	0,0388406	0,0532859	-0,0661266	-0,266771	-0,0297297	0,0254042	0,0798954	-0,219064	-4,04722	-6,59961
	700	0,0435587	0,0588744	-0,0724104	-0,32147	-0,0711135	0,0451049	0,0551337	-0,271744	-5,10542	-8,94573
13	350	0,000560655	0,00502539	-0,0402466	-0,122	0,0000330513	0,00123312	0,0108453	-0,140638	-2,41916	-3,31367
	525	0,0403967	0,0529853	-0,0610207	-0,275233	-0,021506	0,0265135	0,0730689	-0,219574	-4,0724	-6,64774
	700	0,0453376	0,0591993	-0,0665125	-0,32962	-0,0636258	0,04658	0,0533709	-0,271369	-5,12433	-8,97677
14	350	0,00146922	0,00502245	-0,0366298	-0,126557	0,0000678996	0,00121788	0,0103167	-0,141567	-2,44137	-3,33861
	525	0,0421155	0,0541878	-0,0554944	-0,283371	-0,016778	0,0252996	0,0718475	-0,220994	-4,09258	-6,72815
	700	0,0472017	0,0606723	-0,0604346	-0,339151	-0,0568061	0,0453168	0,0401254	-0,271895	-5,14415	-9,07696
15	350	0,00239934	0,00501739	-0,032912	-0,131346	0,000103052	0,00119441	0,00974668	-0,142464	-2,46416	-3,36588
	525	0,043967	0,0547546	-0,0498124	-0,28882	-0,0135143	0,0254299	0,06136	-0,221511	-4,117	-6,82511
	700	0,0492216	0,0624102	-0,0543578	-0,351157	-0,0466993	0,0449069	0,0211922	-0,272327	-5,16489	-9,19116
16	350	0,00335102	0,0050099	-0,0290901	-0,136384	0,000138455	0,00116193	0,00913171	-0,143322	-2,48754	-3,39569
	525	0,0453425	0,055238	-0,044188	-0,299777	-0,00932595	0,0250077	0,0524811	-0,221612	-4,13833	-6,89969
	700	0,0510999	0,0632048	-0,0471886	-0,359683	-0,041798	0,0442649	0,00614126	-0,271983	-5,17982	-9,36649
17	350	0,00432421	0,00499963	-0,0251612	-0,141688	0,000174044	0,0011196	0,00846794	-0,144136	-2,51152	-3,42826
	525	0,0472631	0,0563072	-0,0380742	-0,310334	-0,00562324	0,0252652	0,0341572	-0,221824	-4,1603	-6,98846
	700	0,0530486	0,0647195	-0,0403648	-0,370381	-0,0289548	0,0444849	-0,016527	-0,27163	-5,19541	-9,50262

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	350	0,00531873	0,00498618	-0,0211222	-0,147278	0,000209746	0,0010665	0,00775113	-0,144899	-2,53611	-3,46383
	525	0,0492427	0,057027	-0,0319457	-0,319798	0,00239013	0,0238837	0,0136701	-0,222125	-4,17962	-7,13614
	700	0,0551369	0,0658635	-0,0331893	-0,382065	-0,0239705	0,0425505	-0,0242912	-0,271435	-5,21342	-9,66274
19	350	0,00633427	0,00496911	-0,0169699	-0,153175	0,000245476	0,00100164	0,00697658	-0,145602	-2,56132	-3,50269
	525	0,0510059	0,0568206	-0,025656	-0,330141	0,00453898	0,022787	0,0139681	-0,222366	-4,19898	-7,24074
	700	0,0573266	0,0669657	-0,0258833	-0,394517	-0,0188446	0,0423242	-0,0571733	-0,271104	-5,22502	-9,83764
20	350	0,00737038	0,00494791	-0,0127012	-0,159401	0,000281136	0,000923964	0,00613914	-0,146236	-2,58717	-3,54512
	525	0,0528203	0,0585636	-0,0189676	-0,341109	0,0125527	0,0211049	0,0049286	-0,221661	-4,21939	-7,32517
	700	0,0593305	0,0682444	-0,0179839	-0,406885	-0,00675289	0,0413575	-0,0646334	-0,270468	-5,23855	-10,0322
21	350	0,00842641	0,00492199	-0,00831264	-0,165983	0,000316613	0,000832303	0,00523309	-0,146793	-2,61365	-3,59145
	525	0,0549561	0,0582723	-0,0122561	-0,353202	0,0172172	0,0203064	-0,0229925	-0,221282	-4,24079	-7,5029
	700	0,061453	0,0695331	-0,0101998	-0,420426	0,0045103	0,0395574	-0,0967021	-0,268601	-5,25407	-10,2565
22	350	0,00950151	0,00489068	-0,00380099	-0,172949	0,000351778	0,000725413	0,00425208	-0,147261	-2,64079	-3,64204
	525	0,0566597	0,0584499	-0,00541932	-0,364265	0,0216531	0,0191284	-0,0403883	-0,220687	-4,25949	-7,66408
	700	0,0635757	0,0703505	-0,00189882	-0,434393	0,00965021	0,0397849	-0,121478	-0,26823	-5,26001	-10,5161
23	350	0,0105946	0,00485323	0,000837219	-0,180329	0,00038648	0,000601942	0,00318909	-0,147629	-2,66858	-3,69729
	525	0,0587762	0,058822	0,00228343	-0,378226	0,0294867	0,0183203	-0,0518614	-0,220203	-4,27784	-7,84866
	700	0,0657422	0,0708874	0,00678722	-0,447465	0,0181287	0,0372923	-0,145433	-0,266057	-5,26309	-10,7585
24	350	0,0117042	0,00480877	0,00560549	-0,188159	0,000420549	0,000460436	0,00203625	-0,147882	-2,69703	-3,75763
	525	0,0607977	0,0591879	0,00968109	-0,391062	0,0330378	0,0158053	-0,077597	-0,218944	-4,29584	-8,0278
	700	0,068035	0,0719895	0,0157729	-0,465813	0,0243613	0,034601	-0,173843	-0,26414	-5,26411	-11,0723
25	350	0,0128286	0,00475631	0,0105074	-0,196477	0,000453788	0,000299321	0,000784832	-0,148006	-2,72614	-3,82355
	525	0,0627116	0,0594719	0,0174371	-0,408569	0,0417954	0,014347	-0,0991425	-0,218131	-4,31045	-8,23652
	700	0,0702637	0,072594	0,0250289	-0,481292	0,0306253	0,0336004	-0,203569	-0,262102	-5,26495	-11,3977

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26	350	0,0139656	0,00469469	0,0155466	-0,205326	0,00048597	0,000116907	-0,000574976	-0,147985	-2,75591	-3,89558
	525	0,0646845	0,0593476	0,0256399	-0,423775	0,0444653	0,0118345	-0,129841	-0,216309	-4,32088	-8,51051
	700	0,0724734	0,0723821	0,0347087	-0,500283	0,0403849	0,0312633	-0,2418	-0,259085	-5,26095	-11,7382
27	350	0,0151126	0,00462262	0,0207269	-0,214754	0,000516835	-0,0000886314	-0,00205417	-0,1478	-2,78633	-3,97432
	525	0,0666362	0,0591664	0,0339529	-0,439826	0,051436	0,0102841	-0,157639	-0,214711	-4,332	-8,7581
	700	0,07466	0,0732337	0,0446698	-0,520561	0,0510456	0,0272315	-0,280251	-0,256415	-5,2521	-12,1772
28	350	0,0162663	0,00453857	0,0260521	-0,224814	0,000546084	-0,000319251	-0,00366512	-0,147431	-2,8174	-4,06044
	525	0,0686207	0,0589926	0,042688	-0,46004	0,0545079	0,00782312	-0,181155	-0,212101	-4,34117	-9,03728
	700	0,0768457	0,0727182	0,055293	-0,541802	0,0582216	0,0254878	-0,31767	-0,252136	-5,2366	-12,6184
29	350	0,0174228	0,0044408	0,0315262	-0,235569	0,000573372	-0,000577055	-0,00542182	-0,146854	-2,84911	-4,15466
	525	0,07074	0,0572017	0,0520843	-0,478948	0,0591215	0,00542777	-0,221904	-0,209602	-4,34755	-9,34656
	700	0,0790416	0,0722261	0,0661269	-0,562714	0,0612176	0,0234693	-0,36579	-0,249244	-5,22086	-13,1029
30	350	0,0185775	0,00432729	0,0371533	-0,247086	0,000598304	-0,000864294	-0,00734012	-0,146045	-2,88144	-4,25781
	525	0,0726528	0,0558956	0,0613639	-0,499868	0,0621376	0,00137165	-0,254521	-0,206352	-4,34959	-9,70957
	700	0,0812455	0,0715256	0,0775832	-0,587925	0,0708554	0,019249	-0,418577	-0,244177	-5,19364	-13,6445
31	350	0,0197246	0,0041957	0,0429377	-0,259443	0,000620419	-0,00118337	-0,00943805	-0,144974	-2,91436	-4,37081
	525	0,0742189	0,054422	0,0713185	-0,524028	0,0666347	-0,000483052	-0,297998	-0,20292	-4,35296	-10,079
	700	0,0832156	0,070807	0,0897533	-0,613581	0,0770569	0,0169607	-0,472793	-0,23904	-5,1592	-14,2807
32	350	0,0208573	0,00404329	0,0488839	-0,272729	0,000639187	-0,00153684	-0,0117362	-0,143609	-2,94784	-4,4947
	525	0,0763487	0,0533106	0,0818094	-0,548962	0,0688644	-0,00474826	-0,339653	-0,198769	-4,34516	-10,5438
	700	0,0851737	0,0683216	0,102394	-0,642639	0,0802571	0,0130037	-0,537422	-0,233252	-5,11291	-14,9556
33	350	0,0219674	0,00386688	0,0549966	-0,287046	0,000653993	-0,00192743	-0,0142582	-0,141916	-2,98185	-4,63064
	525	0,077927	0,0509389	0,0924836	-0,575512	0,0735044	-0,00775877	-0,395858	-0,194173	-4,33196	-11,0048
	700	0,0870286	0,0661241	0,115455	-0,674923	0,0849931	0,00860061	-0,614694	-0,2264	-5,06358	-15,6592
34	350	0,0230452	0,00366276	0,0612811	-0,302512	0,000664122	-0,00235798	-0,0170313	-0,139853	-3,01633	-4,77994
	525	0,0795956	0,0479214	0,104149	-0,605162	0,0725773	-0,012674	-0,454668	-0,188168	-4,31768	-11,514
	700	0,0888058	0,063479	0,129541	-0,709456	0,0818961	0,00577913	-0,689627	-0,219423	-5,00172	-16,5102
35	350	0,024079	0,00342654	0,0677428	-0,319261	0,000668738	-0,00283149	-0,0200871	-0,137377	-3,05121	-4,94408
	525	0,0810895	0,0448616	0,116248	-0,638484	0,0764976	-0,0150614	-0,510821	-0,182605	-4,29756	-12,0981
	700	0,0903514	0,059261	0,144508	-0,748857	0,086923	0,00151188	-0,786988	-0,211941	-4,92599	-17,4053

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	350	0,0250906	0,00315641	0,0743796	-0,337649	0,000617954	-0,00333294	-0,0242603	-0,134486	-3,08602	-5,12707
	525	0,0824262	0,0401773	0,129051	-0,674089	0,0739106	-0,0201455	-0,574611	-0,17634	-4,26297	-12,7593
	700	0,0915977	0,0543325	0,160238	-0,791885	0,0865473	-0,00170367	-0,88496	-0,202856	-4,8364	-18,4417
37	350	0,0259877	0,00288942	0,081262	-0,356898	0,000660677	-0,00394402	-0,0267	-0,130932	-3,12016	-5,32429
	525	0,0831512	0,0346366	0,142151	-0,716025	0,0724499	-0,0247152	-0,660637	-0,16854	-4,22422	-13,4791
	700	0,0925906	0,048062	0,17704	-0,840091	0,0840351	-0,00496179	-1,00058	-0,1931	-4,72926	-19,585
38	350	0,0268254	0,00248309	0,088444	-0,378823	0,000639633	-0,00458989	-0,0316179	-0,127203	-3,15866	-5,53813
	525	0,0837584	0,0288447	0,156696	-0,761136	0,0691252	-0,0285021	-0,754975	-0,160153	-4,17426	-14,2976
	700	0,0932155	0,0402792	0,195017	-0,894397	0,0789783	-0,00772921	-1,13251	-0,182373	-4,60242	-20,8645
39	350	0,0274457	0,00204168	0,0955041	-0,402685	0,000609687	-0,00521796	-0,0359782	-0,122219	-3,19281	-5,78667
	525	0,0841167	0,0204485	0,172028	-0,813653	0,0630061	-0,0326829	-0,854101	-0,150875	-4,10912	-15,1907
	700	0,0933842	0,0306654	0,214346	-0,956002	0,070814	-0,00972676	-1,28397	-0,170631	-4,4526	-22,3000
40	350	0,027981	0,0015448	0,10297	-0,428854	0,000567988	-0,00595327	-0,0411516	-0,116775	-3,22801	-6,05582
	525	0,083821	0,0112103	0,188213	-0,870489	0,0531716	-0,0362503	-0,969327	-0,140282	-4,03119	-16,1996
	700	0,0929874	0,0188255	0,235242	-1,02641	0,0588217	-0,0105824	-1,45897	-0,157839	-4,27584	-23,9151

Таблица Д 5

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициентов увеличения общего модуля упругости дорожных одежд переходного и низшего типов α_5

E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{22}	a_{23}	a_{33}
350	0,410036	0,392461	0,32715	0,837741	-0,0724632	0,243104	-0,340423	-2,16618	-0,226336	-0,262463
525	0,29605	0,532388	1,15677	0,994127	-0,120644	0,132781	-0,461062	-7,56537	-0,415504	-0,33236
700	0,269527	0,577307	1,45522	1,10571	-0,137039	0,160554	-0,52458	-10,9436	-0,546724	-0,417964

Таблица Д 6

Регрессионные коэффициенты для определения коэффициентов снижения касательных напряжений в слабосвязных слоях основания дорожной одежды переходного и низшего типов при статическом воздействии нагрузки α_6

φ, град	E'_R, кН/м	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{22}	a_{23}	a_{33}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	350	0,24564	0,244522	3,03889	0,762415	-0,0557769	-0,34172	-0,106096	-4,20402	-2,35868	-0,0732168
	525	0,0942014	0,369654	4,98025	1,00821	-0,09664	-0,777692	0,15363	-11,0939	-4,24417	0,184946
	700	0,0601152	0,399458	5,67064	1,08894	-0,109101	-0,895937	0,162462	-14,8514	-5,18275	0,244362
3	350	0,247119	0,23696	3,06917	0,759267	-0,0536777	-0,353452	-0,100443	-4,21243	-2,38215	-0,0714221
	525	0,0954506	0,361591	5,02219	1,00561	-0,0943549	-0,789268	0,147536	-11,1619	-4,28211	-0,183161
	700	0,0618729	0,391202	5,70571	1,08301	-0,106849	-0,905233	-0,155802	-14,8157	-5,23011	-0,236779
4	350	0,248476	0,229055	3,1	0,756887	-0,0515871	-0,361352	-0,0947011	-4,21944	-2,40992	-0,0699569
	525	0,0970778	0,352984	5,0626	1,0013	-0,0919267	-0,802099	-0,140522	-11,1672	-4,32431	0,179531
	700	0,0636206	0,382418	5,74978	1,07757	-0,104336	-0,92033	-0,148251	-14,8144	-5,28025	0,231482

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	350	0,249876	0,220881	3,13217	0,754391	-0,0494172	-0,369672	-0,0887623	-4,22718	-2,43868	-0,0684169
	525	0,0987546	0,34409	5,10479	0,996787	-0,0894091	-0,815559	0,133269	-11,1743	-4,36783	0,175747
	700	0,0654208	0,373342	5,79581	1,0719	-0,101732	-0,936145	0,140441	-14,8155	-5,33187	0,225974
6	350	0,251324	0,212426	3,16574	0,751771	-0,0471643	-0,378441	-0,082618	-4,23569	-2,46847	-0,0667972
	525	0,100483	0,334897	5,14886	0,992073	-0,086798	-0,829692	0,125763	-11,1833	-4,41275	-0,171799
	700	0,0672751	0,363963	5,84391	1,06597	-0,0990317	-0,952727	-0,13236	-14,8191	-5,385	0,220242
7	350	0,25282	0,203679	3,20081	0,749018	-0,0448243	-0,38769	-0,0762591	-4,24506	-2,49934	-0,065092
	525	0,102264	0,325392	5,19493	0,987141	-0,084089	-0,844543	0,117995	-11,1944	-4,45911	0,167678
	700	0,0691853	0,354268	5,8942	1,05978	-0,0962315	-0,970127	0,123995	-14,8256	-5,43972	0,214274
8	350	0,254366	0,194627	3,23745	0,746125	-0,0423927	-0,397457	-0,0696754	-4,25532	-2,53134	-0,0632953
	525	0,1041	0,315563	5,24312	0,981979	-0,0812774	-0,860162	0,109952	-11,2078	-4,50699	0,163373
	700	0,0711532	0,344244	5,94683	1,05331	-0,0933264	-0,988401	0,115333	-14,8353	-5,49609	-0,208056
9	350	0,255965	0,185256	3,27578	0,743079	-0,0398649	-0,407779	-0,0628563	-4,26655	-2,56455	-0,0614003
	525	0,105992	0,305395	5,29356	0,97657	-0,0783585	-0,876606	0,101621	-11,2237	-4,55645	0,158872
	700	0,0731807	0,333878	6,00193	1,04654	-0,0903115	-1,00761	0,106359	-14,8483	-5,55417	-0,201572
10	350	0,257618	0,175551	3,31589	0,739871	-0,0372359	-0,418699	-0,0557907	-4,27881	-2,59901	-0,0593998
	525	0,107944	0,294874	5,3464	0,970898	-0,0753268	-0,893934	0,0929875	-11,2422	-4,60757	-0,154162
	700	0,0752696	0,323155	6,05968	1,03945	-0,0871816	-1,02783	0,0970601	-14,8652	-5,61402	-0,194808
11	350	0,25933	0,165498	3,3579	0,736489	-0,0345004	-0,430264	-0,0484662	-4,29219	-2,63479	-0,0572856
	525	0,109956	0,283986	5,40179	0,964946	-0,0721768	-0,912212	0,0840369	-11,2637	-4,66042	-0,14923
	700	0,0774219	0,312061	6,12024	1,03201	-0,0839312	-1,04912	0,0874183	-14,8861	-5,67573	-0,187744
12	350	0,261101	0,155081	3,40193	0,73292	-0,0316528	-0,442524	-0,04087	-4,30675	-2,67198	-0,0550491
	525	0,11203	0,272714	5,45991	0,958694	-0,0689028	-0,931514	0,0747532	-11,2883	-4,71509	-0,144061
	700	0,0796396	0,300579	6,1838	1,02421	-0,0805544	-1,07157	0,0774165	-14,9114	-5,73938	-0,180363

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	350	0,262935	0,144282	3,44812	0,729148	-0,0286869	-0,455537	-0,0329882	-4,32258	-2,71065	-0,0526803
	525	0,11417	0,261042	5,52093	0,95212	-0,0654984	-0,951919	0,0651192	-11,3164	-4,77167	-0,138637
	700	0,0819246	0,288694	6,25056	1,01602	-0,0770449	-1,09527	0,0670362	-14,9417	-5,80506	-0,172643
14	350	0,264834	0,133083	3,49662	0,725159	-0,0255962	-0,469364	-0,0248058	-4,33977	-2,75089	-0,0501686
	525	0,116376	0,248951	5,58506	0,945202	-0,0619569	-0,973516	0,0551162	-11,3483	-4,83026	-0,13294
	700	0,0842791	0,276387	6,32076	1,00742	-0,0733963	-1,12031	0,0562572	-14,9772	-5,87285	-0,16456
15	350	0,266803	0,121466	3,54758	0,720934	-0,0223738	-0,484075	-0,0163067	-4,3584	-2,79279	-0,0475021
	525	0,118652	0,236424	5,65252	0,937913	-0,0582712	-0,996403	0,0447245	-11,3842	-4,89097	-0,126951
	700	0,0867051	0,263641	6,39462	0,998368	-0,0696015	-1,14681	0,0450577	-15,0185	-5,94287	-0,156091
16	350	0,268843	0,10941	3,60119	0,716453	-0,0190121	-0,499747	-0,00747355	-4,37856	-2,83646	-0,0446676
	525	0,121	0,22344	5,72355	0,930225	-0,0544339	-1,02069	0,0339224	-11,4244	-4,95392	-0,120648
	700	0,0892047	0,250436	6,47243	0,988836	-0,0656532	-1,17489	0,0334143	-15,0661	-6,01522	-0,147207
17	350	0,27096	0,0968924	3,65763	0,711697	-0,0155031	-0,516463	0,00171246	-4,40036	-2,882	0,0416504
	525	0,123421	0,209978	5,79842	0,922107	-0,0504368	-1,04649	0,0226865	-11,4694	-5,01924	-0,114005
	700	0,09178	0,236751	6,55448	0,978787	-0,0615433	-1,20468	0,0213016	-15,1206	-6,09003	-0,137877
18	350	0,273156	0,0838904	3,71712	0,706639	-0,011838	-0,53432	0,0112717	-4,4239	-2,92956	0,0384342
	525	0,125919	0,196017	5,87741	0,913524	-0,0462713	-1,07394	0,0109914	-11,5195	-5,08707	-0,106996
	700	0,0944331	0,222567	6,64108	0,96818	-0,0572636	-1,23633	0,00869186	-15,1825	-6,16743	-0,128069
19	350	0,274799	0,0709979	3,7923	0,701938	-0,00820046	-0,553565	0,0205204	-4,54235	-2,97673	-0,035125
	525	0,128445	0,181593	5,96329	0,904654	-0,0420447	-1,09968	0,00124443	-11,6396	-5,15556	-0,100442
	700	0,0968873	0,208044	6,73495	0,958906	-0,0528248	-1,27214	0,00435992	-15,2875	-6,2468	-0,121478
20	350	0,277982	0,0561332	3,84926	0,693978	-0,00398122	-0,573174	0,0318944	-4,4982	-3,0329	0,0296504
	525	0,131269	0,166522	6,04906	0,894151	-0,0375154	-1,13394	0,0144553	-11,6253	-5,23677	-0,0910451
	700	0,100178	0,192313	6,82658	0,944615	-0,0480691	-1,30487	0,0187594	-15,3332	-6,32705	-0,106651

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	350	0,28045	0,0413933	3,9205	0,68829	0,000390219	-0,594436	0,0419331	-4,5234	-3,08819	0,0257219
	525	0,133659	0,150944	6,15019	0,884683	-0,0326304	-1,16884	0,0269819	-11,7554	-5,3137	0,0827429
	700	0,103314	0,176625	6,91602	0,931498	-0,0433592	-1,34081	0,0328602	-15,2654	-6,41599	-0,0946706
22	350	0,282856	0,0262033	3,99361	0,68269	0,00466061	-0,617981	0,054117	-4,54479	-3,14936	0,0229368
	525	0,136833	0,134674	6,23876	0,872911	-0,0277348	-1,20454	0,0412046	-11,7429	-5,38618	-0,0736575
	700	0,105851	0,160337	7,03856	0,920043	-0,0381762	-1,3841	0,0467993	-15,5117	-6,50522	-0,0844229
23	350	0,285536	0,0106204	4,06889	0,675651	0,00912986	-0,643563	0,0656518	-4,57136	-3,20183	-0,0185582
	525	0,139546	0,117764	6,3458	0,863149	-0,0225194	-1,24054	0,0555162	-11,8948	-5,46163	-0,067167
	700	0,109146	0,143061	7,14901	0,904808	-0,0329673	-1,42746	0,0636667	-15,5258	-6,61089	-0,0700912
24	350	0,288323	-0,00569828	4,1595	0,666897	0,0138527	-0,670441	0,0781109	-4,67348	-3,26504	-0,0126404
	525	0,142516	0,100557	6,45478	0,850689	-0,0172207	-1,28506	0,0706558	-11,9223	-5,54914	-0,0573195
	700	0,11202	0,125882	7,27794	0,889934	-0,0276032	-1,4755	0,0792957	-15,7098	-6,70937	-0,0557037
25	350	0,291063	-0,0231397	4,24417	0,660817	0,0192486	-0,704759	0,0906374	-4,64742	-3,33017	-0,00946061
	525	0,146005	0,0817492	6,57955	0,836235	-0,0114513	-1,32536	0,0870254	-12,0943	-5,64576	-0,0456821
	700	0,115517	0,10699	7,41319	0,87265	-0,0217419	-1,52595	0,0975969	-15,9098	-6,80591	-0,0412057
26	350	0,294241	-0,0414981	4,33711	0,651845	0,0247704	-0,736203	0,104184	-4,66713	-3,40364	0,00329069
	525	0,148566	0,0634212	6,70571	0,824869	-0,00567742	-1,37552	0,102871	-12,1475	-5,75281	0,0362423
	700	0,11874	0,0882494	7,55408	0,855578	-0,0157391	-1,58441	0,114478	-16,0407	-6,90258	0,0253583
27	350	0,297344	-0,0601432	4,44678	0,641355	0,0302568	-0,771798	0,118944	-4,75189	-3,4836	0,00401697
	525	0,152553	0,0432665	6,83465	0,807066	0,000676794	-1,42661	0,120538	-12,2251	-5,84772	0,0205882
	700	0,121939	0,068755	7,69163	0,839169	-0,00960724	-1,64051	0,132738	-16,0916	-7,01722	0,0107523
28	350	0,300119	-0,0789915	4,54404	0,633977	0,0358184	-0,808045	0,133609	-4,75198	-3,55697	0,00742987
	525	0,15578	0,0233484	6,97356	0,791067	0,00691001	-1,48185	0,138595	-12,3106	-5,94808	0,00787868
	700	0,125329	0,0480101	7,86067	0,820148	-0,00303967	-1,70215	0,152966	-16,4226	-7,13024	0,00458591

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29	350	0,304175	-0,100093	4,66538	0,620108	0,0423899	-0,850776	0,149262	-4,82405	-3,63854	0,0178021
	525	0,159187	0,00185036	7,13499	0.773591	0.0138097	-1,54537	0,158125	-12,4702	-6,06322	0.00668454
	700	0,12929	0,0263274	8,03252	0.796856	0,00392514	-1,77649	0,17458	-16,5564	-7,25058	0,0261382
30	350	0,30802	-0,121784	4,79022	0,607053	0,0490457	-0,893936	0,166078	-4,90078	-3,72512	0.0265131
	525	0,162589	-0,0205069	7,31514	0,755374	0,0210677	-1,61276	0,178391	-12,74	-6,18222	0,0198305
	700	0,133152	0,00373606	8,21149	0,774219	0,0113249	-1,85115	0,196332	-16,7385	-7,37022	0,0456945
31	350	0,311394	-0,14395	4,92522	0,59579	0,0559224	-0,944808	0,183383	-4,9377	-3,82793	0,0337646
	525	0,166745	-0,043958	7,48446	0,733692	0,0285785	-1,68364	0,200744	-12,8048	-6,3054	0,0373567
	700	0,136698	-0,0194014	8,42871	0,749452	0,0188257	-1,9343	0,219707	-17,1456	-7,52365	0,0690469
32	350	0,315626	-0,167126	5,06688	0,580317	0,0628984	-0,998339	0,202417	-4,99423	-3,92518	0,0437627
	525	0,170703	-0,068429	7,68936	0,709684	0,0366541	-1,76401	0,223493	-13,0939	-6,43405	0,0577076
	700	0,140949	-0,0438525	8,63506	0,721232	0,0267804	-2,0233	0,245298	-17,2902	-7,66533	0,0938205
33	350	0,320293	-0,192536	5,22556	0,562833	0,071145	-1,06172	0,221858	-5,03812	-4,03438	0,0560605
	525	0,17483	-0,0933565	7,89445	0,684806	0,0445838	-1,85268	0,248909	-13,1895	-6,5826	0,0768113
	700	0,144928	-0,0691556	8,86525	0,693179	0,0353304	-2,12437	0,270871	-17,5263	-7,82024	0,118566
34	350	0,324563	-0,218286	5,39254	0.546233	0,0792207	-1,12699	0,243151	-5,08104	-4,15353	0,0665768
	525	0,178739	-0,119833	8,12627	0,65937	0,0535149	-1,95055	0,273942	-13,3965	-6.74146	0,0978321
	700	0,149013	-0,0952844	9.11736	0,661086	0,0439428	-2,23289	0,299306	-17,8231	-7,98054	0,146367
35	350	0,329442	-0,245838	5,5779	0,526393	0,0880921	-1,20211	0,265752	-5,13086	-4,28243	0,079842
	525	0,183068	-0,147531	8,37686	0,629638	0,0627881	-2,05897	0,301879	-13,5989	-6,90994	0,121781
	700	0,153267	-0,122748	9,3941	0,62589	0,0531807	-2,35513	0,329592	-18,1321	-8,15981	0,177338

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	350	0,334096	-0,274439	5,78355	0,506059	0,0974158	-1,28728	0,289657	-5,19922	-4,42081	0,0929313
	525	0,187571	-0,176556	8,65113	0,596722	0,0726004	-2,17995	0,331919	-13,8087	-7,09365	0,148343
	700	0,153636	-0,151427	9,69709	0,587074	0,062916	-2,49136	0,362175	-18,4588	-8,35485	0,211498
37	350	0,340309	-0,30574	6,00336	0,479141	0,107764	-1,38046	0,315836	-5,22169	-4,58003	0,112174
	525	0,192273	-0,207021	8,95256	0,560084	0,0830048	-2,31562	0,364374	-14,0227	-7,29546	0,177981
	700	0,157129	-0,181407	10,0302	0,544039	0,0731912	-2,64399	0,397395	-18,8000	-8,56881	0,249403
38	350	0,34596	-0,33758	6,24351	0,452516	0,118211	-1,48878	0,344265	-5,1966	-4,74926	0,129294
	525	0,197207	-0,23906	9,28537	0,519049	0,0940646	-2,46865	0,399629	-14,2359	-7,51903	0,211278
	700	0,157563	-0,212789	10,398	0,496042	0,084057	-2,81595	0,435674	-19,1513	-8,80569	0,29175
39	350	0,352886	-0,373476	6,52684	0,419281	0,13053	-1,61141	0,375364	-5,28227	-4,94021	0,152593
	525	0,202421	-0,27284	9,65477	0,472767	0,105858	-2,64237	0,438171	-14,4407	-7,76914	0,248979
	700	0,153563	-0,245699	10,8064	0,442146	0,0955745	-3,01095	0,477541	-19,5045	-9,07085	0,33943
40	350	0,361301	-0,411832	6,81793	0,381548	0,14363	-1,75007	0,409505	-5,18805	-5,14776	0,177682
	525	0,207986	-0,308573	10,0672	0,420146	0,118482	-2,84102	0,480624	-14,6255	-8,05213	0,292046
	700	0,151568	-0,280295	11,2623	0,381161	0,107821	-3,23369	0,523677	-19,8476	-9,37139	0,393588

Таблица Д 7

Расчетные значения условного модуля упругости композитного слоя «зернистый материал + георешетка» E_4 (к расчету по п. 6.2.3) и E_3 (к расчету по п. 6.2.6)

E'_R, кН/м	E_4, E_3, МПа
350	1100
525	1550
700	1800

Приложение Е

Примеры расчета дорожных одежд временных дорог (к приложению А)

Пример №1. Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с покрытием из щебня для технологической дороги горно-обогатительного комбината, возводимой во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные: местность по условиям увлажнения относится к 3-му типу; грунт земляного полотна – песок пылеватый $E_{гр} = 8$ МПа, $C = 0{,}007$ МПа, $\varphi = 33°$; материал покрытия – гранитный щебень, укладываемый по принципу заклинки, $E_{од} = 130$ МПа, $\gamma_{од} = 0{,}018$ МН/м^3.

Расчетная интенсивность движения $N_c = 1500$ автомобилей за расчетный период. Марка автомобиля – БелАЗ-7513 со следующими параметрами: давление на покрытие $P = 0{,}6$ МПа, расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля $D = 1{,}38$ м.

1.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Требуемый модуль деформации одежды назначается по зависимости (А.2).

$$E_{тр} = 1{,}57 \cdot \frac{P \cdot D}{S} \cdot k = 1{,}57 \cdot \frac{0{,}6 \cdot 1{,}38}{0{,}083} \cdot 2{,}56 \approx 40{,}09 \text{ МПа},$$

где S – допускаемая вертикальная осадка поверхности покрытия, $S = 0{,}06 \cdot D = 0{,}06 \cdot 1{,}38 \approx 0{,}083$ м (допускаемая вертикальная деформация покрытия после 1500 проходов транспортного средства);

k – коэффициент, отражающий агрессивность повторных нагрузок, вызывающих нарастание колеи:

$$k = [0{,}5 + 0{,}65 \cdot \lg N_c] = [0{,}5 + 0{,}65 \cdot \lg 1500] \approx 2{,}56.$$

Значение требуемого модуля деформации выше минимально допустимого значения модуля деформации $E_{min} = 30$ МПа.

Принимается $E_{тр} = 40$ МПа.

В первом приближении намечается однослойное покрытие из щебня толщиной, равной величине диаметра отпечатка задних колес (пневматиков) транспортного средства – $h_{од} = 1{,}38$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации неармированной слоистой конструкции производится по зависимости (А.4).

$$E_{экв} = \frac{8}{1-0,64\cdot(1-\frac{1}{(\frac{130}{8})^{1,4}})\cdot\frac{\pi}{180}\cdot arctg(\frac{1,38}{1,38}(\frac{130}{8})^{0,4})} \approx 38 \text{ МПа}.$$

Примечание. Множитель $\frac{\pi}{180}$ введен с целью перевода градусов в радианы.

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} = 38 < E_{тр} = 40 \text{ МПа}.$$

Полученный модуль $E_{экв} = 38$ МПа ниже требуемого значения $E_{тр} = 40$ МПа, поэтому необходимо изменить толщину покрытия, в данном случае увеличить ее.

Принимаем толщину дорожной одежды $h_{од} = 1,60$ м.

$$E_{экв} = \frac{8}{1-0,64\cdot(1-\frac{1}{(\frac{130}{8})^{1,4}})\cdot\frac{\pi}{180}\cdot arctg(\frac{1,60}{1,38}(\frac{130}{8})^{0,4})} \approx 42 \text{ МПа},$$

$$E_{экв} \approx 42 > E_{тр} = 40 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

1.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10):

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

$$\sigma = \frac{0,6}{13,50} \approx 0,044 \text{ МПа},$$

где P – давление на покрытие от колеса, МПа;

ω – коэффициент, характеризующий убывание вертикальных напряжений в покрытии и определяемый по зависимости (А.11).

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0.8} = 1 + 1,0 \cdot \left(\frac{1,60}{1,38}\right)^2 \left(\frac{130}{8}\right)^{0.8} \approx 13,50,$$

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

Допускаемые напряжения на поверхности грунтового основания для неармированной дорожной одежды определяются по зависимости (А.12).

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 1,60 + \dfrac{3,14 \cdot 0,007}{0,649}}{1,54 + 0,0174 \cdot 33 - \dfrac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 1,60 \approx 0,26 \text{ МПа}.$$

Действующие вертикальные напряжения на поверхности грунтового основания меньше допускаемых напряжений.

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,044 < \sigma_{доп} \approx 0,26 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Таким образом, требуемая толщина щебеночного покрытия $h_{од}$ составляет 1,60 м.

Пример №2. Исходные данные те же, что в примере №1. Требуется определить толщину дорожной одежды, если применить в конструкции в качестве материала армирования полипропиленовые двухосноориентированные георешетки СД-40 (прочность на разрыв не менее 40 кН/м).

2.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Как и в примере №1 принимается $E_{тр} = 40$ МПа.

Предварительно принимаем толщину армированной дорожной одежды из щебня $h_{од} = 0,80$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации армированной дорожной одежды производится по зависимости (А.5).

$$E_{экв} = 2,21 \cdot \frac{8}{1 - 0,64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{130}{8})^{1,4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0,8}{1,38}(\frac{130}{8})^{0,4})} \approx 52,35 \text{ МПа}.$$

Коэффициент упрочнения определен по зависимости (А.8).

$$K_a = 2,30 - 1,08 \cdot \frac{8}{130} + 0,077 \cdot \frac{0,8}{1,38} + 0,693 \cdot \left(\frac{8}{130}\right)^2 - 0,09 \cdot \frac{8}{130} \cdot \frac{0,8}{1,38} -$$

$$-0,201 \cdot \left(\frac{0,8}{1,38}\right)^2 \approx 2,21.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 52,35 > E_{тр} = 40 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Таким образом, по итогам расчета дорожной одежды по величине деформации применение георешетки СД-40 позволяет снизить толщину щебеночного покрытия с 1,60 м до 0,80 м.

2.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания (при армировании георешеткой)

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10).

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{6,94} \approx 0,086 \text{ МПа},$$

где $$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 \left((\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,4} \right)^2 = 1 + 1,9 \cdot \left(\frac{0,8}{1,38}\right)^2 \left((\frac{130}{8})^{0,4} \right)^2 \approx 6,94,$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,8 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,649}}{1,54 + \frac{\pi}{180} \cdot 33 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,8 \approx 0,16 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,086 < \sigma_{доп} \approx 0,16 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Таким образом, действующие напряжения на поверхности грунта не превышают допускаемых напряжений.

2.3 Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации георешетки

Значение относительной деформации георешеток ε в конструкции определяется по формуле (А.14).

$$\varepsilon = 0,015 + 0,06 \cdot 2,68 \cdot \frac{0,8}{1,38} \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \cdot arctg^2 \frac{1,38}{0,8 \cdot \left(\frac{130}{8}\right)^{0,4}} \approx 0,04.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\varepsilon = 0,04 < \varepsilon_{пр} = 0,10.$$

Относительная деформация георешетки СД-40 менее допустимого значения.

Условие прочности выполнено.

Выводы: определяющим критерием для выбора толщины дорожной одежды в данном примере явилась величина допускаемой деформации. Таким образом, принимается толщина покрытия из щебня 1,60 м и 0,80 м – без армирования и с армированием георешеткой СД-40 соответственно.

Пример №3. Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с покрытием из щебня для временной автомобильной дороги, возводимой во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные: местность по условиям увлажнения относится к 3-му типу; грунт земляного полотна – суглинки тяжелые пылеватые $E_{гр} = 9$ МПа, $c = 0,007$ МПа, $\varphi = 15°$; материал покрытия – гранитный щебень, укладываемый по принципу заклинки, $E_{од} = 130$ МПа, $\gamma_{од} = 0,018$ МН/м^3.

Расчетная интенсивность движения 1000 авт. за расчетный период. Марка автомобиля МАЗ 500 со следующими параметрами:

давление на покрытие $P = 0,6$ МПа, расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля $D = 0,37$ м.

3.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Требуемый модуль деформации одежды назначается по зависимости (А.2).

$$E_{тр} = 1,57 \cdot \frac{PD}{S} \cdot k = 1,57 \frac{0,6 \cdot 0,37}{0,02} \cdot 2,45 \approx 42,69 \text{ МПа},$$

где S – допускаемая вертикальная осадка поверхности покрытия, $S=0,054 \cdot D$ (допускаемая вертикальная деформация покрытия после 1000 проходов транспортного средства – $S \approx 0,02$ м);

k – коэффициент, отражающий агрессивность повторных нагрузок, вызывающих нарастание колеи.

$$k = [0,5 + 0,65 \lg N_c] = [0,5 + 0,65 \lg 1000] = 2,45.$$

Значение требуемого модуля деформации выше минимально допустимого значения модуля деформации $E_{min} = 30$ МПа.

Принимается $E_{тр} \approx 43$ МПа.

В первом приближении намечается однослойное покрытие из щебня гранитного $h_{од} = 0,42$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации неармированной слоистой конструкции производится по зависимости (А.4).

$$E_{экв} = \frac{9}{1 - 0,64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{130}{9})^{1,4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0,42}{0,37}(\frac{130}{9})^{0,4})} \approx 43,59 \text{ МПа}.$$

Примечание. Множитель $\frac{\pi}{180}$ введен с целью перевода градусов в радианы.

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 43,59 \approx E_{тр} \approx 43 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Принимаем толщину дорожной одежды $h_{од} = 0,42$ м.

3.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10):

$$\sigma = \frac{0,6}{11,91} \approx 0,0504 \text{ МПа},$$

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,8} = 1 + 1,0 \cdot \left(\frac{0,42}{0,37}\right)^2 \left(\frac{130}{9}\right)^{0,8} \approx 11,91,$$

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

Допускаемые напряжения на поверхность грунтового основания для неармированной дорожной одежды определяются по зависимости (А.12):

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,42 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + 0,0174 \cdot 15 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,42 \approx 0,0512 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,0504 \approx \sigma_{доп} \approx 0,0512 \text{ МПа}.$$

Действующие вертикальные напряжения на поверхности грунтового основания и допускаемые напряжения практически равны между собой.

Условие прочности выполнено.

Таким образом, толщина дорожной одежды $h_{од} = 0,42$ м удовлетворяет всем критериям прочности.

Пример № 4. Исходные данные те же, что в примере №3. Требуется определить толщину дорожной одежды, если применить в конструкции в качестве материала армирования полипропиленовые двухосноориентированные георешетки СД-30 (прочность на разрыв не менее 30 кН/м).

4.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Как и в примере №3 принимается $E_{тр} = 43$ МПа.

Принимаем толщину армированной дорожной одежды $h_{од} = 0,20$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации армированной дорожной одежды производится по зависимости (А.5).

$$E_{экв} = 1,85 \cdot \frac{9}{1 - 0,64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{130}{9})^{1,4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0,20}{0,37}(\frac{130}{9})^{0,4})} \approx 45 \text{ МПа}.$$

Коэффициент упрочнения определен по зависимости (А.7).

$$K_a = 1,94 - 1,08 \cdot \frac{9}{130} + 0,077 \cdot \frac{0,20}{0,37} + 0,693 \cdot \left(\frac{9}{130}\right)^2 - 0,09 \cdot \frac{9}{130} \cdot \frac{0,20}{0,37} -$$

$$-0,201 \cdot \left(\frac{0,2}{0,37}\right)^2 \approx 1,85.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 45 > E_{тр} \approx 43 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Таким образом, по итогам расчета дорожной одежды по величине деформации применение георешетки СД-30 позволяет снизить толщину щебеночного покрытия с 0,42 м до 0,20 м.

4.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10).

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{5,45} \approx 0,11 \text{ МПа},$$

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,8} = 1 + 1,8 \cdot \left(\frac{0,2}{0,37}\right)^2 \left(\frac{130}{9}\right)^{0,8} \approx 5,45,$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,2 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + \frac{\pi}{180} \cdot 15 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,2 \approx 0,042 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,110 > \sigma_{доп} \approx 0,042 \text{ МПа}.$$

Условие прочности не выполнено.

Увеличиваем толщину щебеночного слоя до 0,32 м и применяем в конструкции дорожной одежды георешетку СД-40.

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{13,034} \approx 0,046 \text{ МПа};$$

$$\omega = 1 + a (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,8} = 1 + 1,9 \left(\frac{0,32}{0,37}\right)^2 \left(\frac{130}{9}\right)^{0,8} \approx 13,034;$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,32 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + \frac{\pi}{180} \cdot 15 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,32 \approx 0,0471 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,0460 < \sigma_{доп} \approx 0,0471 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

4.3 Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации георешетки

Значение относительной деформации георешеток ε в конструкции определяется по формуле (А.14).

$$\varepsilon = 0,015 + 0,054 \cdot 2,68 \cdot \frac{0,32}{0,37} \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \cdot arctg^2 \frac{0,37}{0,32 \cdot \left(\frac{130}{9}\right)^{0,4}} \approx 0,033.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\varepsilon = 0,033 < \varepsilon_{пр} = 0,10.$$

Относительная деформация СД-40 менее допустимого значения, равного 0,1.

Условие прочности выполнено.

Выводы по примеру 4: определяющим критерием для выбора толщины дорожной одежды в данном примере явилась величина допускаемых напряжений в грунте. Таким образом, принимается покрытие из щебня толщиной 0,32 м с армированием георешеткой СД-40 (георешетка укладывается между щебеночным слоем и подстилающим грунтом).

Пример №5. Исходные данные те же, что в примере №1, за исключением расчетной интенсивности движения, которая равна 500 авт. за расчетный период. Требуется определить толщину дорожной одежды, если применить в конструкции в качестве материала армирования полипропиленовые двухосноориентированные георешетки СД-40 (прочность на разрыв не менее 40 кН/м).

5.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

$$E_{тр} = 1,57 \cdot \frac{PD}{S} \cdot k = 1,57 \cdot \frac{0,6}{0,06} \cdot 2,25 \approx 35,48 \text{ МПа},$$

$$k = \left[0,5 + 0,65 \lg N_c\right] = \left[0,5 + 0,65 \lg 500\right] \approx 2,25.$$

Принимаем $E_{тр} = 36$ МПа.

Рассмотрим двухслойную конструкцию дорожной одежды. Верхний слой покрытия – ПГС ($E_1 = 90$ МПа, $\gamma_1 = 0,018$МН/м^3); нижний слой – щебень ($E_2 = 130$ МПа, $\gamma_2 = 0,018$МН/м^3), армированный георешеткой СД-40 (георешетка укладывается между слоем щебня и подстилающим грунтом). С целью экономии гранитного щебня назначаем толщину щебеночного слоя $h_2 = 0,15$ м, а толщину слоя из ПГС – $h_1 = 0,40$ м.

В первую очередь определим модуль деформации дорожной одежды как средневзвешенный модуль деформации двухслойной системы:

$$E_{од} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} = \frac{90 \cdot 0,40 + 130 \cdot 0,15}{0,40 + 0,15} \approx 101 \text{ МПа}.$$

Определение эквивалентного модуля деформации армированной дорожной одежды производится по зависимости (А.5).

$$E_{экв} = 2,21 \cdot \frac{8}{1 - 0,64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{101}{8})^{1,4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0,55}{1,38}(\frac{101}{8})^{0,4})} \approx 36,5 \text{ МПа}.$$

Коэффициент упрочнения определяем по зависимости (А.8).

$$K_a = 2,30 - 1,08 \cdot \frac{8}{101} + 0,077 \cdot \frac{0,55}{1,38} + 0,693 \cdot \left(\frac{8}{101}\right)^2 - 0,09 \cdot \frac{8}{101} \cdot \frac{0,55}{1,38} -$$

$$-0,201 \cdot \left(\frac{0,55}{1,38}\right)^2 \approx 2,21.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 36,5 > E_{тр} \approx 36 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

5.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10).

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{3,278} \approx 0,183$$

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{экв}}{D})^2 = 1 + 1,9 \cdot \left[\frac{\left(0,40\,(\frac{90}{8})^{0,4} + 0,15(\frac{130}{8})^{0,4}\right)^2}{1,38^2}\right] \approx 3,278$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot (0,40 + 0,15) + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,649}}{1,54 + \frac{\pi}{180} \cdot 33 - \frac{3,14}{2}} +$$

$$+0,018 \cdot (0,40 + 0,15) \approx 0,13 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,183 > \sigma_{доп} \approx 0,13 \text{ МПа}.$$

Таким образом, действующие напряжения на поверхности грунта превышают допускаемые напряжения. Условие прочности не выполнено.

Увеличим толщину ПГС – $h_1 = 0,51$ м и произведем перерасчет.

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{4,234} \approx 0,1417 \text{ МПа}.$$

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{экв}}{D})^2 = 1 + 1,9 \cdot \left[\frac{\left(0,51 \, (\frac{90}{8})^{0,4} + 0,15 (\frac{130}{8})^{0,4} \right)^2}{1,38^2} \right] \approx 4,234.$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot (0,51 + 0,15) + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,649}}{1,54 + \frac{\pi}{180} \cdot 33 - \frac{3,14}{2}} +$$

$$+0,018 \cdot (0,51 + 0,15) \approx 0,1425 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,1417 = \sigma_{доп} \approx 0,1425 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Следовательно, общая толщина дорожной одежды должна быть не менее 0,66 м, исходя из выполнения условий двух критериев прочности.

5.3 Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации георешетки

Значение относительной деформации георешеток ε в конструкции определяется по формуле (А.14).

$$\varepsilon = 0,015 + 0,06 \cdot 2,68 \cdot \frac{0,66}{1,38} \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \cdot$$

$$\cdot arctg^2 \frac{1,38}{\left(0,51\left(\frac{90}{8}\right)^{0,4} + 0,15\left(\frac{130}{8}\right)^{0,4}\right)} \approx 0,048.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\varepsilon = 0,048 < \varepsilon_{пр} = 0,10.$$

Относительная деформация менее допустимого значения, равного 0,1.

Условие прочности выполнено.

Выводы по примеру 5: определяющим критерием для выбора толщины дорожной одежды в данном примере явилась величина допускаемых напряжений в грунте. Таким образом, принимается двухслойная дорожная одежда (верхний слой ПГС – 0,51 м, нижний слой щебень – 0,15 м, георешетка СД-40).

Пример №6. Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с покрытием из карьерного гравия без подбора состава для технологической (временной) дороги.

Исходные данные: местность по условиям увлажнения относится к 3-му типу; грунт земляного полотна – суглинки тяжелые пылеватые $E_{гр} = 8$ МПа, $c = 0,007$ МПа, $\varphi = 15°$, материал покрытия – карьерный гравий без подбора состава, $E_{од} = 80$ МПа, $\gamma_{од} = 0,018$ МН/м^3.

Расчетная интенсивность движения – 500 авт. за расчетный период. Марка автомобиля – МАЗ 500 – со следующими параметрами: давление на покрытие $P = 0,6$ МПа, расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля $D = 0,37$ м.

6.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Требуемый модуль деформации одежды назначается по зависимости (А.2).

$$E_{тр} = 1,57 \cdot \frac{0,6}{0,06} \cdot 2,26 \approx 35,48 \text{ МПа},$$

где S – допускаемая вертикальная осадка поверхности покрытия, $\frac{S}{D} = 0,06$ (допускается вертикальная деформация покрытия после 500 проходов транспортного средства $\approx 2,2$ см);

k – коэффициент, отражающий агрессивность повторных нагрузок, вызывающих нарастание колеи:

$$k = [0,5 + 0,65 \lg N_c] = [0,5 + 0,65 \lg 500] = 2,26.$$

Значение требуемого модуля деформации выше минимально допустимого значения модуля деформации $E_{min} = 30$ МПа.

Принимается $E_{тр} = 36$ МПа.

В первом приближении намечается однослойное покрытие $h_{од} = 0,50$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации неармированной конструкции производится по зависимости (А.4).

$$E_{экв} = \frac{8}{1 - 0,64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{80}{8})^{1,4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0,50}{0,37}(\frac{80}{8})^{0,4})} \approx 38 \text{ МПа}.$$

Примечание. Множитель $\frac{\pi}{180}$ введен с целью перевода градусов в радианы.

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 38 > E_{тр} = 36 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

6.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10).

$$\sigma = \frac{0,6}{12,52} \approx 0,048 \text{ МПа}.$$

Коэффициент ω, характеризующий убывание вертикальных напряжений в покрытии, определяется по зависимости (А.11).

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,8} = 1 + 1,0 \cdot \left(\frac{0,50}{0,37}\right)^2 \left(\frac{80}{8}\right)^{0,8} \approx 12,52,$$

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

Допускаемые напряжения на поверхности грунтового основания для неармированной дорожной одежды определяются по зависимости (А.12).

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,50 + \dfrac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + 0,0174 \cdot 15 - \dfrac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,50 \approx 0,055 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,048 < \sigma_{доп} \approx 0,055 \text{ МПа}.$$

Действующие вертикальные напряжения на поверхности грунтового основания меньше допускаемых напряжений.

Условие прочности выполнено.

Таким образом, требуемая толщина покрытия $h_{од}$ составляет 0,50 м.

Пример №7. Исходные данные те же, что в примере №6. Требуется определить толщину дорожной одежды, если применить в конструкции в качестве армирующего материала полипропиленовые двуосноориентированные георешетки СД-30 (прочность на разрыв не менее 30 кН/м). Так как в качестве материала покрытия выбран

карьерный гравий без подбора состава, то необходимо в конструкции дорожной одежды под георешеткой расположить полотнища геотекстиля плотностью не менее 200 г/м^2 (на подстилающий грунт укладывается сначала геотекстиль, а далее – георешетка).

7.1 Расчет дорожной одежды по величине деформации

Как и в примере №6 принимается $E_{тр} = 36$ МПа.

Принимаем толщину армированной дорожной одежды $h_{од} = 0{,}30$ м.

Определение эквивалентного модуля деформации армированной дорожной одежды производится по зависимости (А.5).

$$E_{экв} = 1{,}59 \cdot \frac{8}{1 - 0{,}64 \cdot (1 - \frac{1}{(\frac{80}{8})^{1{,}4}}) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot arctg(\frac{0{,}30}{0{,}37}(\frac{80}{8})^{0{,}4})} \approx 40{,}25 \text{ МПа}.$$

Коэффициент упрочнения следует определять по зависимости (А.7), уменьшив его значение на 10%.

$$K_o = \left[1{,}94 - 1{,}08 \cdot \frac{8}{80} + 0{,}077 \cdot \frac{0{,}30}{0{,}37} + 0{,}693 \cdot (\frac{8}{80})^2 - \right.$$

$$\left. - 0{,}09 \cdot \frac{8}{80} \cdot \frac{0{,}30}{0{,}37} - 0{,}201 \cdot (\frac{0{,}30}{0{,}37})^2 \right] \cdot 0{,}9 \approx 1{,}59.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$E_{экв} \approx 40{,}25 > E_{тр} = 36 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Таким образом, по итогам расчета дорожной одежды по величине деформации применение георешетки СД-30 позволяет снизить толщину щебеночного покрытия с 0,50 м до 0,30 м.

7.2 Расчет дорожной одежды по величине вертикального давления на поверхность грунтового основания

Напряжения, действующие на грунт основания, определяются по зависимости (А.10).

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{8,47} \approx 0,07 \text{ МПа},$$

$$\omega = 1 + a \cdot (\frac{h_{од}}{D})^2 (\frac{E_{од}}{E_{гр}})^{0,8} = 1 + 1,8 \cdot \left(\frac{0,30}{0,37}\right)^2 \left(\frac{80}{8}\right)^{0,8} \approx 8,47,$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,30 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + \frac{\pi}{180} \cdot 15 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,30 \approx 0,046 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,07 > \sigma_{доп} \approx 0,046 \text{ МПа}.$$

Условие прочности не выполнено.

Увеличиваем толщину щебеночного слоя до 0,365 м и применяем в конструкции дорожной одежды георешетку СД-40.

$$\sigma = \frac{P}{\omega} = \frac{0,6}{12,34} \approx 0,0486 \text{ МПа}.$$

$$\omega = 1 + 1,9 \cdot \left(\frac{0,36}{0,37}\right)^2 \left(\frac{80}{8}\right)^{0,8} \approx 12,34.$$

$$\sigma_{доп} = \frac{3,14 \cdot 0,018 \cdot 0,36 + \frac{3,14 \cdot 0,007}{0,268}}{3,73 + \frac{\pi}{180} \cdot 15 - \frac{3,14}{2}} + 0,018 \cdot 0,36 \approx 0,0488 \text{ МПа}.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\sigma \approx 0,0486 \approx \sigma_{доп} \approx 0,00488 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

7.3 Расчет армированной дорожной одежды по величине относительной деформации георешетки

Значение относительной деформации георешеток ε в конструкции определяется по формуле (А.14).

$$\varepsilon = 0,015 + 0,06 \cdot 2,68 \cdot \frac{0,36}{0,37} \cdot \left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \cdot arctg^2 \frac{0,37}{0,36 \cdot \left(\frac{80}{8}\right)^{0,4}} \approx 0,039.$$

Проверка выполнения условия прочности:

$$\varepsilon = 0,039 < \varepsilon_{пр} = 0,10.$$

Относительная деформация СД-40 менее допустимого значения, равного 0,1.

Условие прочности выполнено.

Выводы по примеру 7: определяющим критерием для выбора толщины дорожной одежды в данном примере явилась величина допускаемых напряжений в грунте.

Таким образом, принимается толщина покрытия 0,36 м, георешетка СД-40 и геотекстиль плотностью не менее 200 г/м².

Содержание

1 Область применения 3
2 Нормативные ссылки 3
3 Определения 5
4 Общие положения 7
5 Требования к материалам 9
6 Методика проектирования 13
6.1 Конструктивные решения 13
6.2 Методика расчета 13
7 Особенности технологии производства работ 24

Приложения

А Особенности применения полимерных георешеток при строительстве временных дорог 29
Б Основные положения методов оценки механических свойств георешеток (геосеток), применяемых для армирования зернистых материалов 35
В Примеры расчета армированных дорожных одежд 41
Г Характеристики разновидностей двухосных георешеток 63
Д Значения регрессионных коэффициентов к расчету по п. 6.2 65
Е Примеры расчета дорожных одежд временных дорог (к Приложению А) 94

gost.e-ecolog.ru